

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет



**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
НА ТРАНСПОРТІ ТА У ВИРОБНИЦТВІ**

**МАТЕРІАЛИ
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ
УЧЕНИХ**

25 листопада 2025 р.

Харків 2025

УДК 004:629:656:658

Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Харків, ХНАДУ, 2025. – 552с.

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова

Богомолов В.О., проф., Україна, Харків

Заступники голови

Дмитрієв І. А., проф., Україна, Харків

Ефименко О.В., проф., Україна, Харків

Гурко О.Г. проф., Україна, Харків

ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ

Vera Tyrsa, PhD, Autonomous University of Baja California, Mexico

Безкоровайний В.В., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ

Бушуєв С.Д., проф., Україна, Київ, КНУБА

Гавриленко В.В, проф., Україна, Київ, НТУ

Годлевський М.Д., проф., Україна, Харків, НТУ «ХПІ»

Лобур М.В., проф., Україна, Львів, НУ «Львівська політехніка»

Невлюдов І.Ш., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ

Нефьодов Л.І. проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Петренко Ю.А., проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Тимчук С. О., проф., Україна, Суми, СумДУ

Харченко В.С., проф., Україна, Харків, НАУ «ХАІ»

Чернов С.К., проф., Україна, Миколаїв, НУК

© ХНАДУ, 2025

ЗМІСТ

стор.

СЕКЦІЯ 1

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ**

ПРОЕКТУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО РАДІАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ	15
Мельник В.І. , Зеленський О. П.	
ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО РАДІАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СХЕМИ АЛГОРИТМУ	19
Мельник В.І. , Зеленський А. П.	
МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТРАФІКУ	23
Кононихін О.С., Білик Г.В	
ГРАФОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	27
Авсітідійський М. М.	
ЧИСЕЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ІНТЕРЛІНАЦІЇ ДЛЯ 3D РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЯЖКИХ МЕТАЛІВ: МОДЕЛЬ, ВАЛІДАЦІЯ ТА ПОРІВНЯННЯ З МЕТОДАМИ ШЕПАРДА	30
Першина Ю.І., Ковтун А.В.	
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПІД КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТЕПЛОВОГО ПОШИРЕННЯ В НЕОДНОРІДНОМУ ДВОВИМІРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	35
Кожин А.Ю.	
ДІАГРАМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТЮ ПАРКІНГІВ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	39
Кононихін О.С., Кривко В.С.	
РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БДМ	43
Крохмаль Я.	

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО ЗНАХОДЖЕННЯ АКсіАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ЕЛІПТИЧНОГО РІВНЯННЯ З МОНОТОННОЮ СТЕПЕНЕВОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ Пархоменко В.Г., Сидоров М.В.	47
МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО У ЗАДАЧІ ПЕРКОЛЯЦІЇ Фармагей С.К.	52
DESIGN OF A PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEM IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX Adilbekov Mamyrbek, Turkpenbay Bekzat, Karatayeva Zhanbubi	56
DESIGN OF A NEW RADIAL SHEAR MILL BASED ON SIMULATION AND IMITATION MODELING Angarbekov Ulan, Kerimberdi Ulbala	61
ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A DATA TRANSMISSION SYSTEM USING LOW-LEVEL PROGRAMMING LANGUAGES: CONCEPTUAL AND EXPERIMENTAL FOUNDATIONS M. R. Satanov	68
ORGANIZATION OF MACHINE-BUILDING PROCESSES Mukay Zangar	73

СЕКЦІЯ 2

КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ Бебко М.С., Марленкүл Ализа	79
СЕРЕДОВИЩА ВІРТУАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТІВ Бекар Д.Р.	83
АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТВОРЕННЯ ПІДЙОМНОЇ СИЛИ АПАРАТІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ Гречуха М.І.	86
АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧЕМ Гурко В.О., Аксьонова Л.А.	91

РОБОТОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РОЗМІНУВАННЯ «DEMINEGUARD» Гурко О.Г., Білецька П.Є.	95
АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ АВТОГРЕЙДЕРІВ Божко І.О.	98
АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗГОРТАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО БАЧЕННЯ АМАНІТА Герасименко Р.Ю., Мамчич О.О., Саваневич В.Є.	103
АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМИ МАШИНАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ Гнатенко О.О.	107
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА РЕЖИМАХ СТАБІЛІЗАЦІЇ БАРОМЕТРИЧНОЇ ВИСОТИ Збризький В.В.	112
АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ АПАРАТУ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ Іванов О.О.	115
ЗАДАЧІ, ЦІЛІ І КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЯ Кіченко О.О.	120
СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДЕОВІДСТЕЖУВАННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТРИЛАНКОВИМ МАНІПУЛЯТОРОМ Коваленко Д.О. Коваленко Ю.В.	124
АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДІАГНОСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ Криветченко Ю.І.	127
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНО- ДОРОЖНІХ МАШИН НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ Кудінов Є.О.	133
СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА Гурко О.Г., Кузьменко Д.О., Амантаев Бакжан	138
АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ Лазарєв Б.А., Әлмағанбетов Абилай	142

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕМИКАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ В СИСТЕМАХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ	146
Гурко О.Г., Левчунь М.М.	
ВИБІР МІНІ-НАВАНТАЖУВАЧА ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ	150
Марков Д.А., Ільге І.Г.	
АРХІТЕКТУРА ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	155
Норик А.О.	
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ	159
Сокоlecь А. А., Кудайбергенов Нурбол	
АВТОНОМНИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ З СИСТЕМОЮ НАВІГАЦІЇ SLAM ДЛЯ СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ	164
Токар Є.П.	
АЛГОРИТМ ВИБОРУ СЕНСОРІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПАРКУВАЛЬНИХ ЗОН	168
Кононихін О.С., Малік Д.О., Циганков І.О.	
АНАЛІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЗАДАЧАХ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ БДМ	172
Хоменко Є.	
НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ БПЛА	175
Яворський Д. К.	
MODELING OF A DRONE CONTROL SYSTEM BASED ON VR TECHNOLOGY	182
Beldiyarova A. E., V.Zh. Kerimbayeva, R.B. Aitbayeva	
EFFICIENCY OF USING A LOOSENER-MOLE PLOW FOR REGULATING THE SOIL WATER REGIME	187
Doszhanov O.M., Ormanbekova A.A., Doszhanov E.O., Tuseev T.T.	
COMPUTER DIAGNOSTICS OF MACHINES	190
Eleusiz A.M.	
MOBILE ROBOT FOR AGRICULTURAL RESEARCH USING SENSORS AND COMPUTER VISION SYSTEMS	194
Arkatov Yerikzhan, Angarbekov Ulan	

AUTOMATION OF SOLAR DRYER FOR FRUITS AND VEGETABLES	198
Beisembayeva A., Ormanbekova A. A., Butabaev M. Kh.	
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE VISION IN UAV-BASED MONITORING OF AGRICULTURAL CROPS	200
Ormanbekova A., Nurgali N., Dzumabekova Z., Karataeva Zh.	
AUTOMATION OF IRRIGATION AND VENTILATION PROCESSES IN GREENHOUSES BASED ON SMART SENSOR SYSTEMS	206
Zholdasbai Tomiris , Sultanbay Aknur, Dzhulaeva Zhazira	
INTELLIGENT GREENHOUSE AUTOMATION AS A TRANSITION TO SUSTAINABLE AGRICULTURE	210
Jamanbayev Muratkali, Zholdasbai Tomiris, Iskakova Tolkynai, Masaeva Aigerim	

СЕКЦІЯ 3 ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

СМАРТ-ПАРКУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПОТОКОМ У МІСТАХ	216
Журавльов В. А.	
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ LPWAN ЗА КРИТЕРІЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОКАНАЛУ	221
Бондаренко Н.В., Турген Нурлибек	
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМІНАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМИ НА БАЗІ IoT	225
Бречка В.	
IoT-ОРІЄНТОВАНА АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УЗЕ НА NODE-RED З УРАХУВАННЯМ РДН, SOC І ГРАФІКІВ ВІДКЛЮЧЕНЬ	229
Дорошенко А.М, Коломієць Д.П.	
IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN AUTOMATED PRODUCTION	236
Berlissugirov Ilyas, Ylemes Yermakhan, Kerimberdi Ulbala	

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT ANALYTICAL WATER CONSUMPTION ACCOUNTING SYSTEM FOR RESIDENTIAL BUILDINGS	239
Jamanbayev Muratkali, Zhubanov Aibek, Jumabekova Zulfia	
ENHANCING INFORMATION RETRIEVAL WITH DJANGO-BERT INTEGRATION: A PATH TO QUESTION-ANSWER SYSTEMS	244
Kazangapova B.A., Zhappas Z.A., Suleimenov D.M., Suienaly A.A.	
ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR OBJECT RECOGNITION AND DESCRIPTION IN IMAGES FOR MOBILE DEVICES	250
R. Z. Urazalin	
ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATED ECG DATA PROCESSING USING MACHINE LEARNING METHODS	256
Y. Zhexenkadyr	

СЕКЦІЯ 4 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА В ОСВІТІ

РОЗРОБКА ВЕБ-СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАМОВЛЕННЯМИ В РЕСТОРАНІ З ПЕРСОНАЛЬНИМИ РЕКОМЕНДАЦІЯМИ ХАРЧУВАННЯ	264
Ахтирський О.Ю., Саваневич В.Є.	
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ЗА ПІДСУМКАМИ СКЛАДАННЯ НМТ З МАТЕМАТИКИ	268
Гибкіна Н.В., Шарай К.В.	
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ ЧЕРЕЗ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ	272
Губарь А.Ю., Сезонова І.К.	
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИБОРУ ДАТЧИКА ПАЛИВА В СИСТЕМІ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ	275
Д'яков О.Д., Бондаренко Н.В.	
ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО СТВОРЕННЯ СТРУКТУР БАЗ ДАНИХ	279
Запорожцев Д.С.	

ВПЛИВ МІКРОІНТЕРАКЦІЙ НА UI/UX ДИЗАЙН У СУЧАСНОМУ ЦИФРОВОМУ СВІТІ	283
Запорожцев М.С.	
ВИБІР ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКЛАДАННЯ КУРСУ «ЧИСЛОВІ МЕТОДИ І МОДЕЛЮВАННЯ НА ЕОМ»	286
Ільге І.Г., Ільге О.І.	
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЄКТНОМУ НАВЧАННІ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ SOFT SKILLS	291
Кисельова О.Б., Ковальов Д. О.	
РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДЖЕННЯ РОБОТИ МАРШРУТНО-КВАЛІФІКАЦІЙНИХ КОМІСІЙ З ПЛАНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ТУРИСТИЧНИХ МАРШРУТІВ	295
Кравченко В. Д., Решетнік В. М.	
ІНФОРМАЦІЙНА ПОШУКОВА СИСТЕМА ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ	301
Купцова А.В.	
СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ	305
М.А. Мичко, Ільге І.Г., Ільге О.І.	
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВАГОВОГО ОБЛІКУ ТА УПРАВЛІННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ НА ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	310
Кононихін О.С., Мірошніченко Д.В.	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ПРОДАЖУ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН: СУЧАСНИЙ ПІДХІД НА БАЗІ ЗАСТОСУНКУ «ТЕТРАДКА»	315
Нечитайло Ю.А., Гавран Б.К.	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	321
Олейников О. Ю., Безкоровайний В. В.	
РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ БАЗИ ДАНИХ ЗАХИСТУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ В АСУ З НАУКОВИХ ВІДКРИТТІВ	326
Осінній Р.М.	
ОПТИМІЗАЦІЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ В ОФІСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОФІСНОГО ОБЛАДНАННЯ	333
Піх Д.М.	

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ Сезонова І.К.	337
ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВІ ОСВІТНІ ПЛАТФОРМИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ НАВЧАННЯ Ситникова Ю.В.	340
ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ Скорін Юрій	345
ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ МЕТОДІВ ШИФРУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У БЛОКЧЕЙН- МЕРЕЖАХ Скорін Юрій, Лактіонов Артем	350
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ФІНАНСОВИМИ РИЗИКАМИ Скорін Юрій, Лукіяничук Софія	355
ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ КОРИСТУВАЧІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ Скорін Юрій, Петренко Богдан	360
ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБСЯГОМ WORDPRESS З МЕТОЮ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ Скорін Юрій, Симонович Станіслав	365
ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОГРАМУВАННЯ: ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ, ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ Філь Н.Ю., Борисов Д.С., Бархан Балнур	371
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ПРОТОКОЛІВ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ Філь Н.Ю., Веприцький К.А.	375
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ - МАЙБУТНЄ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ Філь Н.Ю., Коломієць І.О., Мажит Мирас	378
ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЗЕЛЕНОЇ ЛОГІСТИКИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАЧАНЬ Філь Н.Ю., Юрченко Б.В.	383

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ДІЛЯНОК ГАЗОПРОВОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА Філь Н.Ю., Бардаков В.Р.	387
АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ ПАТЕРНІВ ДЛЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ВЕБ-СИСТЕМ Халтурін А.Д.	392
ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИФУЗІЙНИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАВДАННЯХ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ Цепочко М. Г., Безкоровайний В. В.	395
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВЕБ-ДОДАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ JAVASCRIPT ТА АРІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Черкашина Г.І., Морозова А.І.	401
ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ЕКСТРАКЦІЇ ДАНИХ У ДИНАМІЧНОМУ ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ Шатило І. Ю., Безкоровайний В. В., Чала Л. Е.	405
ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ І ШІ-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕСТІВ (LLM, ЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ, RL) Шкурко В.В., Поляков А.О.	410
STUDY OF THE IMPACT OF DIFFERENT QUERY OPTIMIZATION METHODS ON DATABASE PERFORMANCE AND SECURITY Abdurakhman N., Togzhanova K.	416
DEVELOPMENT OF AN INTELLECTUAL TOOL FOR SUPPORTING WEB DESIGNERS Bukenov G.S., Bukenova I.N., Neronov S.N., Abdumanapov K.M.	427
CHESS USING COMBINED AI Bukenova I. N., Bukenov G. S., Neronov S. M., Suleimenov B. B.	437
CREATING A WEB APPLICATION FOR LEARNING ABOUT PROFESSIONS Bukenova I. N., Bukenov G. S., Neronov S. N., Turgynbaeva A.A., Vokhmyanin V.S.	444
THE AI ARMS RACE IN CYBERSECURITY: COMBATING DEEPFAKES AND AUTONOMOUS ATTACKS Baktygulova Laula	448
FRAUD AND DATA BREACHES IN THE FINANCIAL SECTOR OF KAZAKHSTAN: STATISTICS, ANALYSIS, AND THREAT MODELING Otegenov Z.B	454

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF CLOUD TECHNOLOGIES	459
Raikhan Algozhaeva, Merkhai Diana	
NEW INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOME FEATURES OF THEIR PRACTICAL IMPLEMENTATION	462
Togzhanova K.O, Kozbakova A.K, Barkhan B.M.	
SPAM DETECTION IN INSTANT MESSENGERS AND SOCIAL NETWORKS: PROBLEMS AND APPROACHES	466
Toleugaliuly N1, Togzhanova K	

СЕКЦІЯ 5
УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЕКТАМИ, ПРОБЛЕМНІ
ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

МЕТОД ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСОБИСТОСТІ ПО ОБЛИЧЧЮ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ	476
Кононихін О.С., Андрющенко В.Т.	
РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПЛАНУВАННЯ ПОДІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПІДКАЗОК	480
Єнбаєв Д. О, Безкоровайний В. В.	
ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ МАКРОЛОГІСТИКИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	484
Жабський Д. С., Безкоровайний В. В.	
СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ АНТИВІРУСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	488
Жданюк М.С., Ільге І.Г.	
РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ У БУДІВНИЦТВІ ДОРІГ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ	494
Іваненко Д. А.	
МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ВИГОРАННЯ В ПРОЄКТНИХ КОМАНДАХ	499
Іванова С.І.	
УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЄКТАМИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ: ПРАВОВІ АСПЕКТИ ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	503
М.М. Іващенко., Ю.В. Ратнакар	

ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЛОГІСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА Ксенофонов Є.Р., Моїсєєнко Р.С.	508
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОСВІТНІХ ЗАКЛАДІВ Купцова А.В.	513
МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПРОЕКТОРА ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ Купцова А. В., Ільге І.Г., Ільге О.І.	517
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ІР-КАМЕРИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП Ільге І.Г., Норик А.О.	522
ПЕРСОНАЛІЗОВАНА ГЕНЕРАЦІЯ РЕЦЕПТІВ НА ОСНОВІ RAG ТА SUPABASE PGVECTOR Петренко В.С.	526
СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ БЮДЖЕТУВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТРАНСПОРТУ Ткалич Д. В., Безкоровайний В. В.	529
КОМБІНОВАНА ПРОЦЕДУРА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ Шевченко І. В., Безкоровайний В. В.	535
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ АТП НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗАХИСТУ Шуєв В.І.	539
DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PERSONNEL SELECTION BASED ON FUZZY SETS Kononykhin O.S., Strelets M.Yu., Iskakova Moldir	544
DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT RISK MANAGEMENT SYSTEM IN BANK LENDING Turgynbayeva A.A., Aituganova Zh.T., Bukenovs I.N., Neronov S.N.	547

СЕКЦІЯ 1

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

ПРОЕКТУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО РАДІАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Мельник В.І. , Зеленський О. П.

Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Розглядаючи сучасний агротехнічний сектор, на ряду з класичними технологіями більш частіше починають використовувати змішане землеробство, полікультурне Міх-Сгоор, що передбачає вирощування двох або більше культур на одній ділянці поля одночасно, таке поєднання створює синергію та покращує процес росту та як наслідок підвищення врожайності. Такий розвиток технологій в землеробстві вимагає більш якісної роботи пневматичної системи сівалок, підіймає питання до розширення діапазону стабільної роботи висівної системи, що тісно пов'язана з якісною роботою відцентрового радіального вентилятора (ВРВ) так і всієї пневматичної системи в цілому. Зосередившись на пошуку рішень по удосконаленню пневматичної системи, дослідженню особливостей технологічного процесу посіву насіння просапних культур, вивченню поведінки повітряного потоку в системі, та роботі ВРВ було приділено увагу використанню таких програмних комплексів: ANSYS, SolidWorks та Mathcad [1,2]. Увага приділялась якості посіву, фізико – механічним, аеродинамічним властивостям насіннєвого матеріалу (швидкості вітання), аналізу впливу тиску, що створюється відцентровим радіальним вентилятором (ВРВ), геометричним властивостям культури, що висівається. Принцип роботи ВРВ та вплив конструктивних особливостей трубопроводів, а також відбувається знайомство з дослідженням робочого процесу, що протікає у проточній частині пневматичної системи сівалки. Розглянуто особливості конструкції ВРВ, запропоновано вид проточної системи з контрольними перерізами на

основі, якого проводився аналіз стиснутого повітряного потоку. Використовуючи власний програмний продукт CRV PSS 1.0. на C++ був проведений аналіз та розрахунок конструкції ВРВ з подальшою побудовою в SolidWorks 3D моделі (рис.1) Для дослідження та моделювання течій повітряного потоку у ВРВ використовували програмний комплекс ANSYS (рис.2).

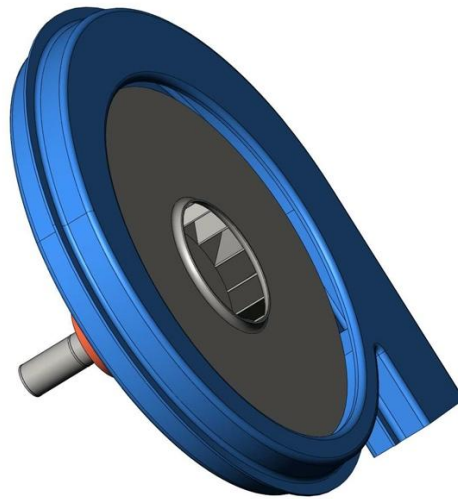


Рисунок 1 – Геометрія ВРВ виконана у SolidWorks

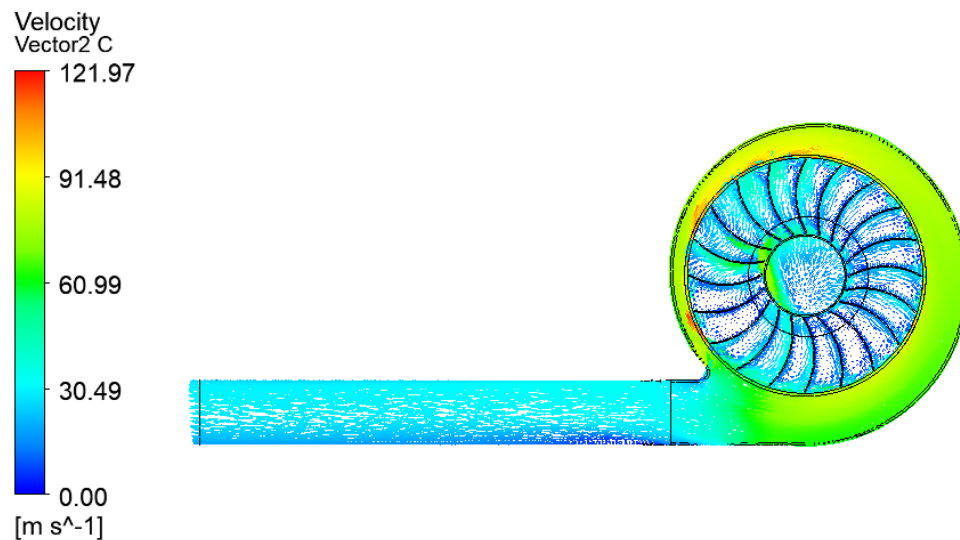


Рисунок 2 – Зміна параметрів абсолютної швидкості у проточній частині ВРВ

В результаті розрахунків змодельовано складний фізичний процес, визначено поведінку розподілу швидкостей та тисків у різних елементах ВРВ, при різних значеннях масової витрати повітря та постійної частоти

обертання робочого колеса (РК). Такий підхід до проектування дає можливість отримати картину просторового перебігу повітряного потоку в характерних перерізах проточної частини ВРВ. Чисельне моделювання повітряного потоку, що проведено за різних значень масової витрати повітря дає можливість оцінити енергетичну характеристику ВРВ і більш оперативна підійти до визначення нової конструкції пневматичної системи. Сучасні програмні комплекси ANSYS та SolidWorks допомагають вирішувати складні диференціальні рівняння, основні рівняння робочого процесу, що застосовуються для ретельного опису руху повітряного потоку в проточній частині ВРВ [3]. Рух повітряного потоку, може бути описаний фізичними законами за допомогою точних математичних рівнянь, що становить основу аналізу процесу. Методами вирішення рівняння Нав'є–Стокса, у програмному пакеті ANSYS CFD, є метод кінцевих різниць (FDM), метод кінцевих об'ємів (FVM) та метод кінцевих елементів (FEM) [3,4]. Такий підхід дає можливість моделювати рух повітряного потоку, що важко відтворити у експериментальній моделі ВРВ, отримати повну інформацію про рух повітряного потоку у пневматичній системі та знизити вартість проекту, оскільки відпадає необхідність створення натурального вентилятора, а отже скоротити час дослідження.

Завдяки використанню сучасних програмних пакетів та інформаційних технологій й комплексному підходу по вивченню процесів, що протікають у пневматичній системі сівалок, науковцям та інженерам конструкторам суттєво вдається зменшити час потрібний для удосконалення чи розробки нової конструкції продукту.

Література:

1. Калінін Є.І. Основи роботи в скінченно-елементному програмному комплексі ANSYS. Конспект лекцій. Частина 2 – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2013. 135 с.

2. Мельник В.І., Зеленський О.П., Зеленський А.П. Обґрунтування вибору конфігурації відцентрового радіального вентилятора з використанням програмних комплексів Solidworks та ANSYS CFX. // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». — Суми, 2023. — Вип. 4(54). — с. 29 - 35.
3. Грищенко В. М., Свіргун О. А., Калінін Є. І., Савченко В. Б. Будівельна механіка. Структура ПК ANSYS WORKBENCH та порядок створення розрахункової моделі. Методичні вказівки до проведення практичних занять. Харків, 2019. 32 с.
4. ANSYS CFX – Solver theory guide. Release 15.0. (2013). Canonsburg: ANSYS Inc. 258 p.

УДК 631.331

**ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО
РАДІАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СХЕМИ
АЛГОРИТМУ**

Мельник В.І., Зеленський А. П.

Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Сучасне проектування нових конструкцій відцентрового радіального вентилятора (ВРВ) є одною з важких етапів побудови перспективних конструкцій сівалок. Використання сучасних технологій проектування дає можливість характеризувати науково-технічний та виробничий потенціал держави. Наряду з висівними апаратами (ВА), пневматичними трубопроводами, ВРВ є важливою складовою пневматичної системи сівалки та служить для зміни параметру повітряного потоку, за допомогою якого проводиться подача та дозування висівного матеріалу, що суттєво впливає на якість висіву. Розглядаючи роботу пневматичної системи сівалки, де працює різна кількість ВА на різних режимах, підбір та проектування вентилятора є складною процедурою. Беручи до уваги технологічний процес висіву насіння, що поєднує ряд складних технологічних операцій та факторів дає можливість більш якісно підійти до проектуванню ВРВ, бо данні щодо підвищення тиску та необхідного об'ємного потоку повітря буде визначати конструкцію вентилятора. Дослідження газодинамічних процесів в системі, передача та спрацювання вакууму в сівалці дають можливість отримати уявлення про процеси, що протікають у проточній частині вентилятора. Використання сучасних методів, алгоритмів, математичних моделей, що описують робочий процес та програмних комплексів допомагає підійти більш ретельно до побудови конструкції ВРВ [1]. В рамках нашого дослідження, по підвищенню енергоефективності відомих конструкцій пневматичних систем сівалки та скориставшись методами оптимізації по

розширенню діапазону роботи пневматичної системи, дало можливість запропонувати альтернативну схему пневматичної системи сівалки основаної на блочному типі (ПССБТ) з індивідуальним відцентровим радіальним вентилятором (ІВРВ). Метод розрахунку проточної частини пневматичної системи сівалки та основних її елементів на основі оптимізаційних алгоритмів повинен враховувати тип проточної частини, формулювання та кількість критеріїв оптимізації, що легко, в мінімальний термін має трансформуватися при введенні на розгляд додаткових умов, та повинен давати гарантований результат [2]. Отже, запропоновано систематизувати процес розрахунку проточної частини ІВРВ та представити у вигляді схеми алгоритму (рис. 1) та використовувати програму на С++ під назвою ICRV PSS 1.0. Пропонується вводити вхідні дані такі, як тиск p^* , масова витрата повітря G_m та частота обертання робочого колеса (РК) n . На основі введених даних робиться розрахунок кінематичних та геометричних параметрів РК. Далі, проводиться аналіз втрат енергії та вихрові втрати в колесі, якщо вони відповідають нормам, то наступний кроком, визначаються геометричні та кінематичні параметри равлика, якщо ні, то процедура повторюється заново, повертаємося до розрахунку геометричних та кінематичних параметрів РК. Розраховуємо втрати енергії та вихрові втрати, які виникають у спіральному корпусі равлика, подальша дія відповідає алгоритму розрахунку РК [3]. За аналогічною схемою відбувається розрахунок і для втрат для вхідних й вихідних трубопроводів. Отримуємо попередні геометричні та кінетичні параметри ІВРВ для ПССБТ. Наступним етапом, проводимо розрахунок енергетичних та вихрових втрат для всієї системи ІВРВ, за отриманими результатами приймаємо рішення, щодо наступної дії: якщо значення втрат не відповідають нормам, то повертаємося на початковий етап, розрахунку геометричних та кінематичних параметрів РК і далі по схемі, уточнюємо параметри відповідно РАВ та трубопроводів. Якщо в ході розрахунків втрати є прийнятними, то отримуємо кінцеві геометричні та кінематичні параметри ІВРВ ПССБТ.

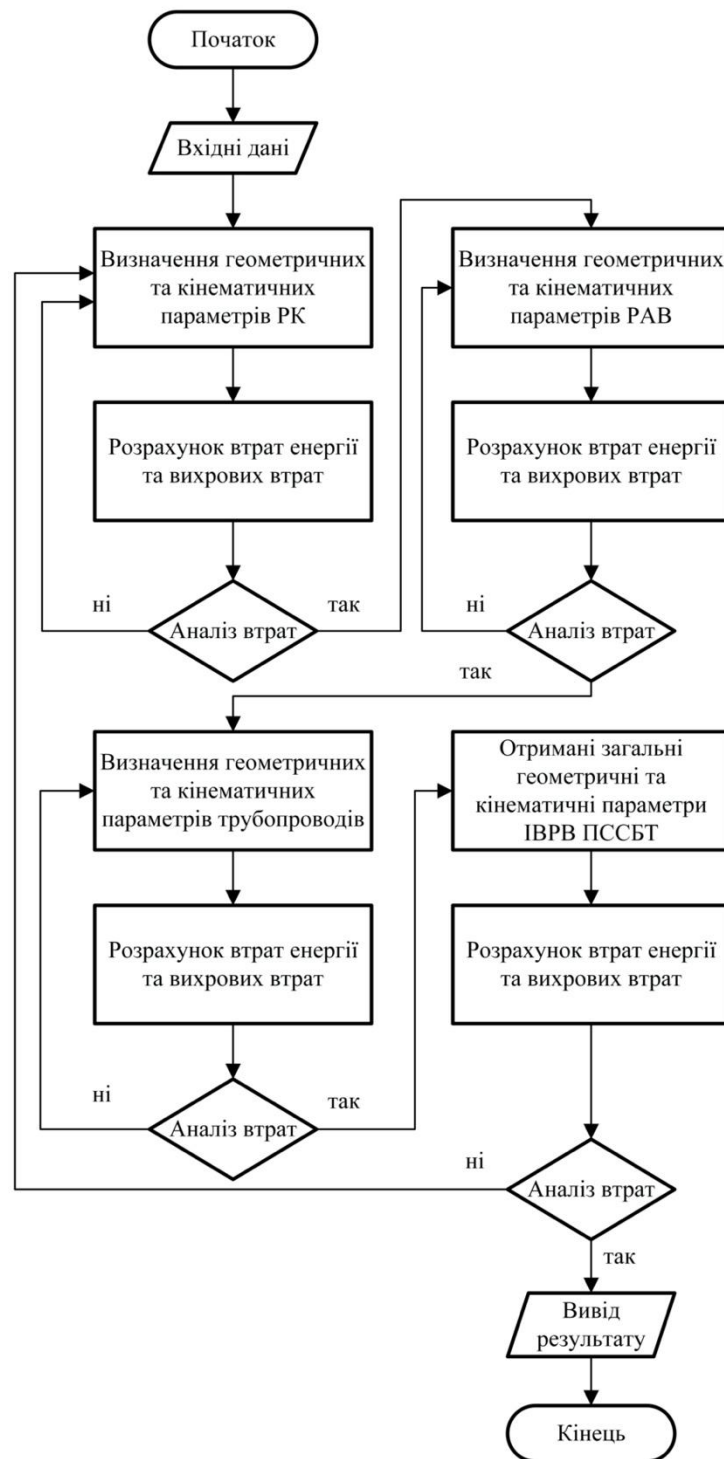


Рисунок 1 – Схема алгоритму розрахунку параметрів проточної частини ІВРВ ПССБТ

Отже, завдяки розробленій схемі алгоритму розрахунку основних геометричних параметрів ПССБТ та програми ICRV PSS 1.0., спираючись на

режими роботи, дало можливість оптимізувати процес створення та розрахунок ІВРВ для пневматичних систем сівалок.

Література:

1. Anderson, J. D. Jr. (1995). Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. New York: McGraw-Hill. 563 p.
2. Солодов В.Г., Застосування пакета прикладних програм ANSYS для вирішення завдань гідрогазодинаміки. Харків: ХНАДУ, 2017. 100 с.
3. V. I. Melnyk, O.P. Zelensky, A.P. Zelensky Numerical simulation of gas-dynamic processes in the centrifugal radial fan of seeding machines. // Machinery & Energetics, 2022. 13(3). pp. 62-72.

УДК 004

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТРАФІКУ

Кононихін О.С., Білик Г.В

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Сучасні транспортні системи у великих мегаполісах стикаються з гострою проблемою заторів. Значна частина цієї проблеми, відома як не рекурентні затори, спричинена непередбачуваними подіями, такими як дорожньо-транспортні пригоди, поломки транспортних засобів або наявність сторонніх предметів на дорозі. Оперативне автоматизоване виявлення таких інцидентів має вирішальне значення, оскільки дозволяє швидше реагувати екстреним службам, скорочує час затримки для водіїв та знижує ризик вторинних аварій.[2]

Традиційні системи виявлення інцидентів здебільшого покладаються на стаціонарні датчики (наприклад, індукційні петлі), які вимірюють макроскопічні параметри потоку, такі як інтенсивність, заповненість та середня швидкість. Основним недоліком цього підходу є те, що він фіксує наслідки інциденту (тобто затор), а не саму подію, що призводить до значної затримки у виявленні. Дослідження показали, що моделі, відкалібровані лише за цими агрегованими показниками, можуть не точно відображати реальну мікроскопічну поведінку водіїв. Крім того, розгортання та обслуговування такої сенсорної інфраструктури є дорогим і забезпечує лише обмежене покриття мережі[3].

Мета статті – підвищити ефективність управління транспортними потоками за рахунок розробки методу оперативного виявлення аномалій трафіку.

Метод базується на аналізі мікроскопічних динамічних параметрів, отриманих з обладнаних GPS транспортних засобів-зондів, та враховує високий рівень "шуму" даних, притаманний реальним міським умовам.

Запропонований метод для виявлення аномалій складається з трьох основних етапів.

Етап 1. Отримання та фільтрація траєкторій. Система використовує дані про траєкторію, отримані від транспортних засобів-зондів, оснащених GPS. Найбільшою проблемою при використанні GPS у міських умовах є деградація та втрата сигналу в умовах щільної забудови[2].

Для вирішення цієї проблеми ми застосовуємо дворівневий підхід:

- використання приймачів HSGPS забезпечує кращу доступність сигналу в складних умовах порівняно зі стандартними приймачами;

- обробка "шумних" даних та заповнення прогалин у траєкторії за допомогою фільтра Калмана. Цей фільтр є частиною модуля динаміки транспортного засобу, який прогнозує та коригує стан автомобіля. Крім того, застосовується алгоритм "Map-Matching", який використовує цифрову карту доріг як потужне доповнення для корекції помилок позиціонування[2].

Етап 2. Визначення динамічних параметрів. Після отримання очищеної траєкторії (послідовності координат та часу) обчислюємо динамічні параметри, які слугуватимуть ознаками для моделі виявлення аномалій. Замість того, щоб покладатися лише на швидкість, фокусується на її похідних, які є більш чутливими до раптових змін[1]:

- "шум прискорення" (Acceleration Noise), що визначається як стандартне відхилення прискорення автомобіля за певний часовий проміжок. Цей параметр є надійним індикатором нестабільного руху, наприклад, частих гальмувань та прискорень, що є характерним для заторів, спричинених інцидентом;

- "ривок" (Jerk) кількісно оцінює раптовість зміни прискорення. Миттєві піки ривка є потужними індикаторами механічних ударів (ДТП) або екстрених гальмувань. Аналіз цього параметру дозволяє зафіксувати безпосередньо саму подію інциденту, а не його наслідок у вигляді затору, що забезпечує максимальну оперативність виявлення.

Етап 3. Класифікація аномалій. На основі часових рядів вищевказаних параметрів класифікуємо поточний стан руху як "нормальний" або "аномальний" за допомогою моделі машинного навчання. Для цього використовуємо алгоритм Isolation Forest ("Ізоляційний ліс")[1].

Цей алгоритм належить до класу некерованого навчання і є особливо ефективним для виявлення аномалій. На відміну від інших алгоритмів, які намагаються змодельовати "нормальність", Isolation Forest безпосередньо "ізолює" рідкісні події у наборі даних. Оскільки інциденти є рідкісними та значно відрізняються від типових патернів водіння, вони швидко ізолюються алгоритмом. Використання Isolation Forest як ключового компонента дозволяє ефективно ізолювати саме такі рідкісні, але критичні події від загального "шуму" нормального водіння[1].

Запропонований метод поєднує переваги аналізу мікроскопічних параметрів руху з ефективністю некерованого машинного навчання. Завдяки фокусу на високочутливих індикаторах, таких як "ривок", стає можливим оперативне виявлення причини інциденту, а не лише його наслідків. Це, у свою чергу, відкриває шлях до створення проактивних систем управління рухом, здатних реагувати на ДТП чи поломки до того, як вони спричинять масштабні рекурентні затори. Впровадження такого підходу здатне суттєво підвищити безпеку та ефективність міських транспортних мереж.

Література:

1. Lane-Wise Highway Anomaly Detection [Електронний ресурс] / arXiv. URL: <https://arxiv.org/html/2505.02613v1> (дата звернення: 09.11.2025).
2. Automated Traffic Incident Detection Using GPS-Based Transit Probe Vehicles [Електронний ресурс] / University of Calgary. URL: https://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/GL/04.20196.CBasnayake.pdf (дата звернення: 09.11.2025).
3. FHWA-HRT-21-071: Trajectory Investigation for Enhanced Calibration of Microsimulation Models [Електронний ресурс]. URL:

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/21071/21071.pdf>

(дата звернення: 09.11.2025).

4. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. № 13(27) 2023. С. 774-783

УДК 004

ГРАФОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Авсітідійський М. М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У сучасних технологічних процесах – від виробництва й транспорту до енергетики та авіації – ключовим завданням є своєчасне прогнозування параметрів, що характеризують стан обладнання. Системи технічного обслуговування за станом (Condition-Based Maintenance) вимагають точного передбачення таких величин, як залишковий ресурс роботи вузлів, рівень зношення компонентів або ймовірність відмови у найближчому майбутньому.

Сенсорні дані у таких задачах мають складну природу: вони є багатовимірними, корельованими, нелінійними та змінюються у часі. У зв'язку з цим традиційні методи регресійного аналізу часто демонструють низьку ефективність, оскільки не здатні повноцінно врахувати часову структуру даних та нелінійні залежності між параметрами. Тому на зміну класичним статистичним моделям приходять методи глибинного навчання, зокрема рекурентні нейронні мережі (LSTM, GRU) та сучасні графові моделі (Graph Neural Networks, GNN).

Рекурентні нейронні мережі (RNN) стали фундаментом сучасних методів прогнозування часових сигналів. Їхні найпопулярніші модифікації – LSTM (Long Short-Term Memory) та GRU (Gated Recurrent Unit) – спеціально розроблені для подолання проблеми зникання градієнта та здатні запам'ятовувати залежності на довгих часових проміжках.

LSTM використовує три «входи»: вхідний, вихідний та вхід забування, що дозволяють моделі контролювати, які дані запам'ятовувати, а які вилучати зі стану мережі. Завдяки цьому LSTM ефективно моделює довгі послідовності, згладжує шум у сенсорних вимірюваннях, адаптивно зберігає релевантну інформацію про стан системи.

GRU — спрощена версія LSTM, яка має лише два гейти (update та reset). За рахунок меншої кількості параметрів GRU тренується швидше, менш схильна до перенавчання, часто показує результати, близькі до LSTM.

Рекурентні моделі, такі як LSTM і GRU, добре працюють із послідовними даними, однак мають низку обмежень: вони бачать процес лише як лінійну часову послідовність і не враховують структурну подібність між станами, можуть уповільнюватися на довгих серіях та є чутливими до шуму, що характерно для промислових сенсорних даних. Через це зростає інтерес до графових моделей, які дозволяють представити технологічний процес у вигляді мережі взаємопов'язаних станів і враховувати як часові, так і структурні залежності.

Графові нейронні мережі (GNN), натомість, моделюють технологічний процес як граф, де кожна вершина відповідає окремому стану системи (наприклад, циклу роботи двигуна), а ребра відображають зв'язки між подібними або сусідніми станами [1]. У Graph Attention Networks (GAT) інформація від сусідніх вершин агрегується з вагами, що визначаються механізмом уваги. Для кожної вершини $h'_v = \sigma(\sum_{u \in N(v)} \alpha_{vu} W h_u)$, де h_u — ознаки сусідньої вершини, W — матриця перетворення, а коефіцієнти уваги $\alpha_{vu} = \text{softmax}(a(Wh_v, Wh_u))$, визначають важливість кожного сусіда. Такий підхід дозволяє моделі вибірково підсилювати найінформативніші зв'язки, враховувати структурну подібність між станами та будувати більш гнучку модель деградації, ніж традиційні послідовні методи [2].

У дослідженні було порівняно ефективність рекурентних моделей (LSTM, GRU) та графової мережі GAT на реальних промислових даних NASA C-MAPSS [3]. Рекурентні архітектури продемонстрували високу точність: покращена конфігурація LSTM досягла похибок MAE на рівні 7–9 циклів та RMSE — 10–12, тоді як GRU забезпечила близькі результати з незначним відставанням. Водночас графова нейронна мережа GAT, побудована на основі комбінованого графа подібності та часових зв'язків, показала цілком конкурентні результати, досягнувши MAE — 13–16 циклів та

RMSE – 17–19 циклів, що підтверджує її здатність ефективно вловлювати закономірності деградації. Важливо, що GAT не поступилася рекурентним моделям у стабільності навчання: на поданих графіках Loss-функцій добре видно рівномірну та монотонну збіжність GNN без різких стрибків або розходжень, що свідчить про стійкість графового підходу навіть за відсутності глибокої оптимізації гіперпараметрів. Урахування не лише часових, а й структурних зв'язків між циклами роботи двигуна дозволило GAT будувати більш гнучке представлення станів, у деяких сценаріях демонструючи поведінку, близьку до LSTM, а за ускладнення структури даних (багаторежимні підмножини FD002–FD004) потенційно може і перевершувати рекурентні мережі. Отримані результати доводять, що графові нейронні мережі є не гіршою, а часто більш універсальною альтернативою традиційним RNN-моделям у задачах прогнозування параметрів технологічних процесів.

Література:

1. Zhou J., Cui G., Hu S., Zhang Z., Yang C., Liu Z., Wang L., Li C., Sun M. Graph neural networks: A review of methods and applications // AI Open. 2020. Vol. 1. С. 1–26.
2. Klinke N., Buchkremer S., Elend L., Kalaidov M., von Tschammer T. AI-based performance prediction and its application on the design and simulation of cooling plates for battery electric vehicles // Future Automotive Production Conference (FAPC). Wolfsburg, Germany, 17–18 May 2022. С. 1–10.
3. NASA Turbofan Jet Engine Data Set. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/behrad3d/nasa-cmaps> (дата звернення: 19.09.2025).

УДК 004

**ЧИСЕЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ІНТЕРЛІНАЦІЇ ДЛЯ 3D
РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЯЖКИХ МЕТАЛІВ:
МОДЕЛЬ, ВАЛІДАЦІЯ ТА ПОРІВНЯННЯ З МЕТОДАМИ ШЕПАРДА**

Першина Ю.І., Ковтун А.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У роботі наведено чисельну реалізацію методу інтерлінації функцій трьох змінних за відомими слідами на заданій системі вертикальних прямих. Проведено моделювання просторового розподілу концентрацій важких металів у ґрунті за обмеженими вимірюваннями та порівняння з методами Шепарда. Оцінено точність наближення за різними підходами, наведено табличні результати. Особливу увагу приділено варіаціям інтерлінації та їх застосуванню до профілів з розривами. Чисельна реалізація алгоритмів виконана у середовищі комп'ютерної математики MATLAB з використанням мови програмування MATLAB (R2023a). Отримані результати демонструють ефективність підходу в умовах обмеженості даних.

Важкі метали накопичуються у ґрунті та навіть у малих концентраціях є токсичними для живих організмів [1]. Це призводить до їх надходження в рослини, харчові продукти і зрештою в організм людини, спричиняючи хронічні захворювання [1][2]. Забруднення ґрунтів важкими металами також погіршує родючість і порушує екосистеми [3]. Основними джерелами такого забруднення є металургія, хімічна промисловість, транспорт, агрохімікати, відходи тощо [4]. Додатково, військові дії спричиняють значні викиди важких металів на полях бою [5], що ускладнює ситуацію. Отже, актуальною задачею є математичне моделювання розподілу забруднення ґрунту за обмеженими, безконтактно отриманими даними [6]. Для цієї мети доцільно застосувати методи інтерлінації, які використовують дані вздовж ліній та забезпечують вищу точність відновлення [7].

Нехай невідома функція $f(x, y, z)$ описує просторовий розподіл концентрації забруднення важкими металами. Відомі її значення лише на множині вертикальних свердловин (ліній) в дискретних точках: на i -й свердловині задано профіль $g_i(z) = f(x_i, y_i, z)$ [6,7]. Інтерлінація дозволяє відновити $f(x, y, z)$ у всьому об'ємі за цими слідами. Для кожної внутрішньої точки (x, y, z) обчислюються ваги, об'єднуючи вплив усіх свердловин, і формується наближене значення $f^*(x, y, z)$ як зважена сума профілів [6,7]. Крім стандартної інтерлінації, розглядається “часткова” інтерлінація – окреме інтерполювання профілів вище та нижче глибини $z = 0.5$ для урахування стрибка в середині шару [6,7]. Також для порівняння використано класичну 3D інтерполяцію Шепарда (обернені ваги на основі повної відстані) та її модифікацію з анізотропним масштабуванням відстаней [6,7].

$$w_i(x, y) = \frac{1}{\left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + \lambda_{2D}\right)^{\beta_{2D}}} \quad (1)$$

У формулі (1) параметри обрано рівними $\lambda_{2D} = 0.1, \beta_{2D} = 2$ – ці значення забезпечують оптимальну точність інтерполяції за результатами чисельних експериментів [8]. Невелике додатне λ_{2D} усуває особливість при нульовій відстані та обмежує вплив найближчих свердловин. Показник $\beta_{2D} = 2$ (обернений квадрат відстані) обрано як базовий, оскільки він дав найменшу похибку наближення. Обчислені ваги нормуються (приводяться до суми 1), після чого вздовж кожної свердловини інтерполюються значення профілів $g_i(z)$ на висоту z та усереднюються з цими ваговими коефіцієнтами [6,7].

У дослідженні застосовано варіант інтерлінації — методику, за якою значення тривимірної функції $f(x, y, z)$ відомі лише на вертикальних прямих (свердловинах) у точках $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^m$. Вздовж кожної з m свердловин

вимірюється вертикальний профіль $g_i(z) = f(x_i, y_i, z)$, $z \in [0,1], i = 1, \dots, m$, після чого значення функції у внутрішніх точках домену $\Omega = [0,1]^3$, $f : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ наближуються як зважена сума таких профілів із вагами, що залежать від горизонтальної відстані до свердловин.

Для чисельної валідації побудовано синтетичну модель розподілу забруднення:

$$f(x, y, z) = \sin(\pi x) \cos(\pi y) e^{-z} + 0.5 \cdot \mathbf{1}_{\{z > 0.5\}}$$

яка поєднує гладку коливальну частину та стрибок на рівні $z = 0.5$, що моделює зміну концентрації між шарами ґрунту.

Для перевірки методики використано синтетичний розподіл концентрації, що містить гладку коливальну складову та стрибок на рівні $z = 0.5$ [6,7]. Розглянуто $m = 9$ свердловин, на яких задано різні типи вертикальних профілів $g_i(z)$. Зокрема, використано функції:

$$g_1(z) = e^{-4z} + 0.1 \sin(3\pi z)$$

$$g_2(z) = 0.8 \cos(2\pi z) + 0.2z$$

$$g_3(z) = 0.5 + 0.4 \sin(5z) e^{-z}$$

$$g_4(z) = 1.2 e^{-3z} - 0.1 z^2$$

$$g_5(z) = 0.6 + 0.3 \cos(4\pi z)$$

$$g_6(z) = e^{-2.5z} + 0.05 \sin(8z)$$

Наведені вище профілі охоплюють типові форми розподілу забруднення з глибиною: експоненційне згасання, синусоїдальні коливання навколо базового рівня, наявність квадратичного тренду тощо. Цей набір дозволяє перевірити роботу методів як на гладких, так і на розривних ділянках (стрибок на рівні $z = 0.5$ імітує різку зміну концентрації між двома шарами ґрунту).

Для кожного з методів обчислено максимальну (**max err**) і середню (**mean err**) абсолютні похибки, а також ці похибки окремо для верхнього

шару $z < 0.5$ та нижнього шару ($z \geq 0.5$). Результати наведено в табл. 1 [8]. Інтерлінація демонструє меншу середню похибку (0.161 проти 0.232 у Шепарда) [8], хоча класична інтерполяція Шепарда має трохи нижчу максимальну похибку у верхньому шарі. У нижньому шарі інтерлінація забезпечує суттєво менший максимум похибки (0.519 проти 0.757), ніж Шепард [6,7]. Модифікований метод Шепарда дає найменшу середню похибку (0.156) завдяки анізотропному масштабу, але його максимальна похибка в глибокому шарі перевищує показник інтерлінації. Часткова інтерлінація майже не відрізняється від стандартної, оскільки врахування стрибка не вплинуло на точність у цьому випадку.

Таблиця 1. Максимальні та середні похибки методів № test = 10 .

Метод	max err	mean err	max err ($z < 0.5$)	mean err ($z < 0.5$)	max err ($z \geq 0.5$)	mean err ($z \geq 0.5$)
Інтерлінація	0.9044	0.1610	0.9044	0.2046	0.5189	0.1174
Покращена інтерлінація (часткова)	0.9044	0.1610	0.9044	0.2046	0.5189	0.1174
Шепард 3D	0.7924	0.2316	0.7924	0.2362	0.7567	0.2270
Модифікований Шепард	0.8526	0.1563	0.8526	0.1879	0.6230	0.1247

Висновки. Розроблений метод інтерлінації функцій трьох змінних ефективно відновлює просторовий розподіл концентрації важких металів за даними вимірів на обмеженій кількості свердловин. Показано, що запропонований підхід забезпечує точність наближення на рівні сучасних 3D методів інтерполяції та є стійким до впливу помірного шуму. Отримані результати можуть бути використані для побудови карт забруднення ґрунтів; у подальшому планується апробація моделі на реальних експериментальних даних з урахуванням неоднорідності розподілу забруднення [6,7]. Повний опис математичного апарату, алгоритмів реалізації, а також додаткових

експериментів з аналізом точності методів інтерлінації та Шепарда наведено в статті [8].

Література:

1. С. А. Балюк, В. В. Медведєв, М. М. Мірошніченко, Є. В. Скрилик, Д. О. Тимченко, А. І. Фатєєв, А. О. Христенко, Ю. Л. Цапко, «Екологічний стан ґрунтів України», Український географічний журнал, № 2, с. 38–42, 2012.
2. Л. О. Жеребна, Вплив високих рівнів забруднення свинцем і кадмієм підзолистих і типових чорноземів на надходження цих елементів у рослини ячменю та кукурудзи. Автореф. дис. ... канд. біол. наук, Харків, Україна, 2003.
3. В. Г. Рошко, О. В. Грабовський, «Оцінка забруднення важкими металами агроценозів, що межують з автомобільними шляхами», Вісник УжНУ. Серія: Біологія, № 6, с. 259–262, 1999.
4. Н. Є. Твердохлебова, Н. С. Євтушенко, «Регіональна екологічна безпека в умовах воєнного стану», у Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали Х Всеукр. наук.-техн. конф., Суми, Україна, 18–21 квіт. 2023, с. 177–178. Суми: СумДУ, 2023.
5. М. М. Гічка, «Дистанційне зондування в системі моніторингу ґрунтів України», Вісник аграрної науки, № 12, с. 72–75, 2005.
6. I.I. Pershyna, Restoration of discontinuous functions by discontinuous interlination splines / I.I.Pershyna // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя, 2022. – № 4. С. 29 – 39.
7. I. Sergienko, V. Zadiraka, and O. M. Lytvyn, “Interlineation of Functions,” in Elements of the General Theory of Optimal Algorithms. Cham: Springer, 2021, pp. 75–176.
8. Ю. І. Першина, А. В. Ковтун, «Математичне моделювання розподілу забруднення важкими металами методами неруйнівного контролю за допомогою інтерлінації функцій трьох змінних», Прикладні проблеми комп’ютерних наук, безпеки та математики, № 5, с. 24–31, 2025.

УДК 004

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПІД КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТЕПЛОВОГО ПОШИРЕННЯ В НЕОДНОРІДНОМУ ДВОВИМІРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Кожин А.Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У даній роботі представлено результати чисельного моделювання процесу поширення тепла у двовимірній пластині з неоднорідними теплофізичними властивостями. Розглянуто задачу керування температурою в заданій точці шляхом регулювання потужності джерела тепла. Для реалізації системи керування зі зворотним зв'язком було застосовано пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор. Проаналізовано динаміку системи, продемонстровано ефективність ПІД-регулятора для досягнення та підтримки заданої температури (уставки) в умовах значної просторової неоднорідності коефіцієнта теплопровідності. Робота демонструє застосування класичних методів теорії керування до складних розподілених параболічних систем, що є актуальною задачею в інженерії та матеріалознавстві.

Задачі оптимального керування для систем, що описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних, зокрема параболічного типу, є фундаментальними в багатьох галузях науки та техніки [1]. Керування температурними полями є ключовим для оптимізації виробничих процесів, забезпечення стабільності матеріалів та підвищення енергоефективності. У реальних умовах матеріали часто мають неоднорідну структуру, що суттєво ускладнює як моделювання, так і керування такими системами.

Процес поширення тепла в двовимірній області $\Omega = [0, L_x] \times [0, L_u]$ описується нестационарним рівнянням теплопровідності:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right),$$

де u – температура у точці (x, y) у момент часу t ;

k – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

x, y – координати на поверхні.

У даній моделі пластина має розміри 2×2 . Коефіцієнт теплопровідності $k(x, y)$ є неоднорідним: у центрі пластини знаходиться кругла область радіусом 0.5 м з аномально низьким коефіцієнтом ($k = 0,0005$), тоді як для решти пластини він становить $k = 0.1$. Границі пластини вважаються ізольованими.

Задача керування полягає у підтримці температури $u(x_m, y_m, t)$ в точці вимірювання (x_m, y_m) на заданому рівні $T_{sp} = 30^\circ\text{C}$. Параметром керування є потужність джерела тепла Q , яке розташоване в точці (x_s, y_s) і здійснюється за допомогою дискретної форми пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора [2]. Керуючий сигнал формується відповідно до закону:

$$Q_t = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

де $e(t) = T_{sp} - u(x_m, y_m, t)$ – помилка регулювання;

K_p, K_i, K_d – коефіцієнти підсилення (пропорційна, інтегральна та диференціальна складові). Для симуляції було обрано наступні значення коефіцієнтів: ($K_p = 30, K_i = 15, K_d = 1$).

Чисельне розв'язання рівняння теплопровідності було виконано за допомогою методу скінченних різниць [3]:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \frac{k\Delta t}{\Delta x^2} (T_{i+1,j}^n + T_{i-1,j}^n + T_{i,j+1}^n - 4T_{i,j}^n)$$

Результати моделювання представлені на рисунках 1 та 2. Лівий графік на рисунку 1 демонструє, як тепло нерівномірно поширюється від джерела, розташованого у верхньому лівому куті

Центральна область з низькою теплопровідністю ($k = 0,0005$) діє як тепловий ізолятор, змушуючи тепло "обтікати" цю холодну зону. Внаслідок цього точка вимірювання, хоч і нагрівається, але робить це з суттєвою затримкою.

.

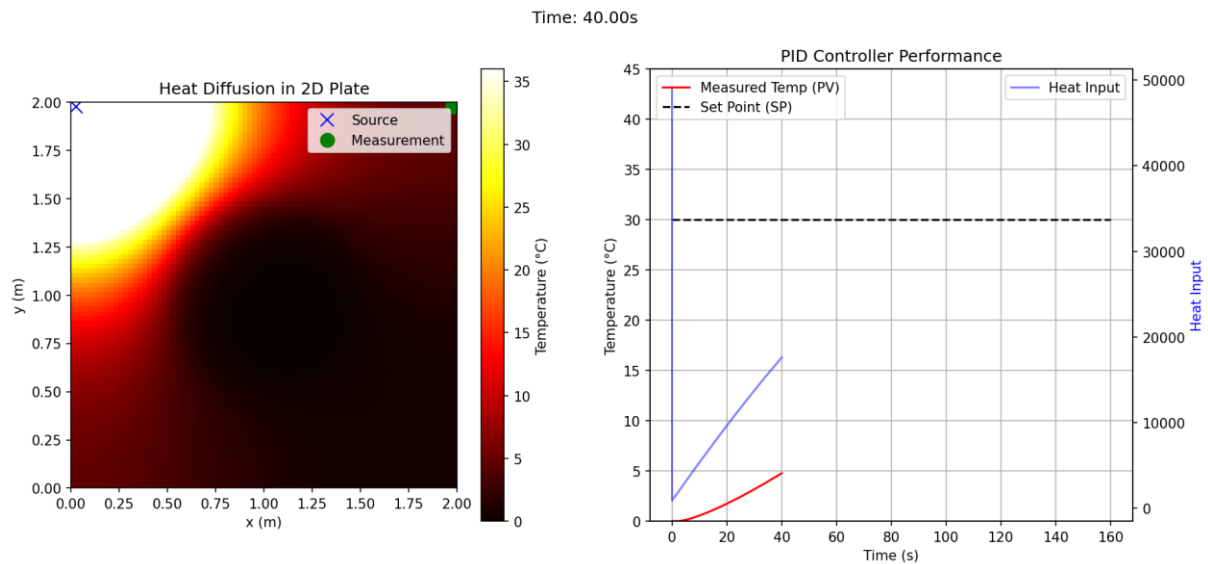


Рисунок 1. Розподіл тепла у момент часу $t = 40$ с

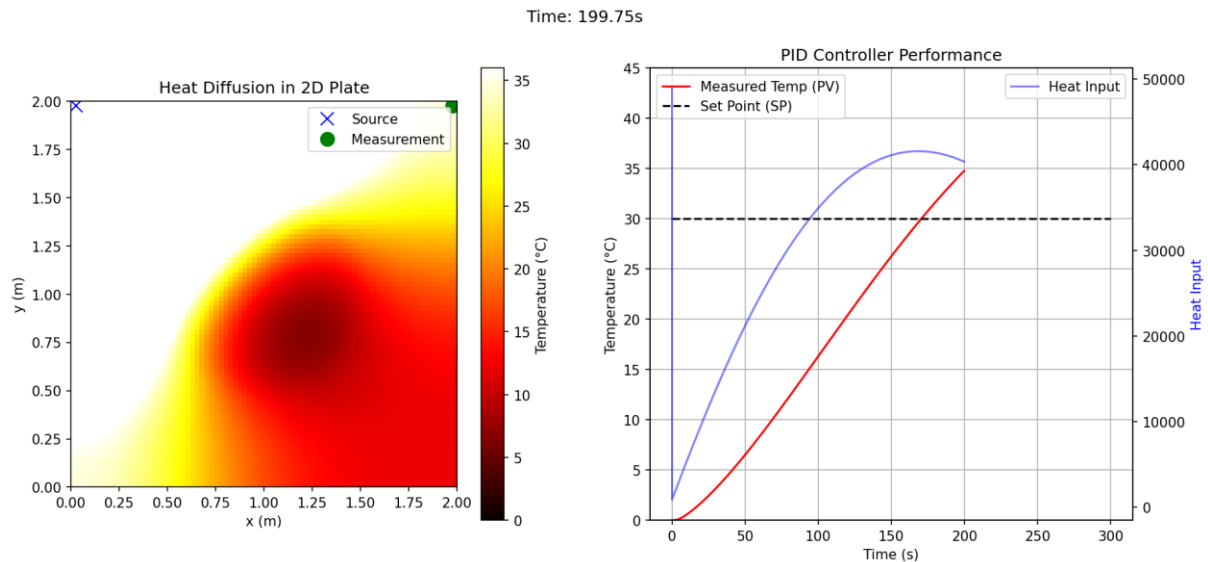


Рисунок 2. Стан системи на $t = 200$ с.

На 200 секунді симуляції можна побачити, що кількість тепла, що подає нагрівач, зменшується, оскільки температура в точці вимірювання стала вищою за необхідну. Спостережуваний перегрів є очікуваною характеристикою для ПД-керованої системи з розподіленими параметрами, що пояснюється значною тепловою інерцією між джерелом та точкою вимірювання. Одночасно, алгоритмічний ефект "накопичення інтеграла", що виник під час тривалої фази нагріву, продовжував вимагати високої потужності, навіть коли пропорційна помилка наближалася до нуля. Корекція

(зниження потужності) була ініційована лише після того, як вимірювана температура перевищила цільову, оскільки тільки від’ємна помилка могла почати зменшувати накопичене інтегральне значення.

Розроблена математична модель системи слугуватиме фундаментальною основою для подальших досліджень. Вона буде застосована для проведення аналізу ефективності різних типів керування та пошуку оптимальної стратегії. Це передбачає розв’язання задачі оптимального керування, що базується на мінімізації відповідного функціоналу вартості. Подальше вдосконалення моделі також включатиме інтеграцію компонентів, що описують втрату тепла, для забезпечення вищого рівня адекватності моделі реальним фізичним процесам.

Література:

1. Tagiev R. K. Optimal coefficient control in parabolic systems. *Differential Equations*. Вип. 45, № 10. С. 1526–1535. DOI: 10.1134/S0012266109100164.
2. Seborg D. E., Edgar T. F., Mellichamp D. A. та ін. Process dynamics and control. Fourth edition. Hoboken, N.J: Wiley, 2017. 502 с. ISBN 978-1-119-28591-5.
3. LeVeque R. J. Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: steady-state and time-dependent problems. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007. 341 с. ISBN 978-0-89871-629-0.

УДК 004.932.74:519.816

ДІАГРАМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТЮ ПАРКІНГІВ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Кононихін О.С., Кривко В.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Проблема неефективного управління паркувальним простором у сучасних мегаполісах призводить до значних економічних та екологічних втрат, включаючи збільшення часу пошуку паркомісця, надмірні викиди CO₂ та незбалансоване навантаження на інфраструктуру. Більшість існуючих рішень обмежуються пасивним моніторингом завантаженості. Ця робота описує комп'ютерну технологію, що реалізує проактивний підхід, заснований на прогнозуванні попиту та автоматизованому прийнятті рішень [1-2].

Мета роботи – зниження економічних втрат за рахунок розробки діаграми комп'ютерної технології управління завантаженістю паркінгів на основі прогнозного моделювання.

Розроблена комп'ютерна технологія являє собою п'ятикомпонентну інтегровану систему, що охоплює повний цикл обробки даних: від збору до надання кінцевих сервісів [3-4].

Компонент 1 - Конвеєр даних. На цьому рівні відбувається агрегація даних з різноманітних джерел.

Джерела даних включають фізичні сенсори (ультразвукові, магнітні), системи комп'ютерного зору (детекція завантаженості з відеокамер) та зовнішні API (погодні умови, календарні події, міські заходи).

Дані надходять через відмовостійкі протоколи (MQTT/HTTPS) до стрімінгового модуля для обробки в реальному часі. Очищені та агреговані дані зберігаються у спеціалізованій базі даних часових рядів для подальшого аналізу та тренування моделей.

Компонент 2 - Прогнозна модель. Це ядро аналітичної підсистеми, відповідальне за прогнозування стохастичного попиту.

Агреговані часові ряди збагачуються контекстуальними даними (час доби, день тижня, погода, події).

Використовується архітектура рекурентної нейронної мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory), яка здатна ефективно виявляти складні часові залежності. Модель навчається на історичних даних і генерує прогнози завантаженості для кожної паркувальної зони на визначені часові горизонти (наприклад, T+15, T+30, T+60 хвилин).

Компонент 3 - Ядро оптимізації. На основі отриманих прогнозів, система розв'язує дві ключові задачі оптимізації:

- динамічне ціноутворення - модель розраховує оптимальні тарифи, базуючись на прогнозованому попиті та заданій цільовій завантаженості (наприклад, 85%). Це дозволяє економічно регулювати попит, запобігаючи перевантаженню одних зон та стимулюючи використання інших;

- оптимальна навігація - система розраховує для користувача не просто найближче, а оптимальне паркомісце. Критерій оптимальності враховує комбінацію факторів: прогнозований час прибуття, прогнозована наявність місця на момент прибуття, вартість паркування (отримана з моделі ціноутворення) та час пішого переходу до кінцевої точки призначення.

Компонент 4 - Рівень надання сервісів. Система надає результати своєї роботи зовнішнім споживачам через стандартизований REST API. Ці API можуть бути інтегровані у мобільні додатки для водіїв, бортові комп'ютери автомобілів або міські інформаційні табло.

Компонент 5 - Модуль валідації. Для оцінки ефективності розробленої технології та калібрування моделей використовується платформа імітаційного мікромоделювання транспортних потоків. Модуль дозволяє симулювати поведінку тисяч агентів (водіїв), які реагують на динамічні ціни та навігаційні підказки системи.

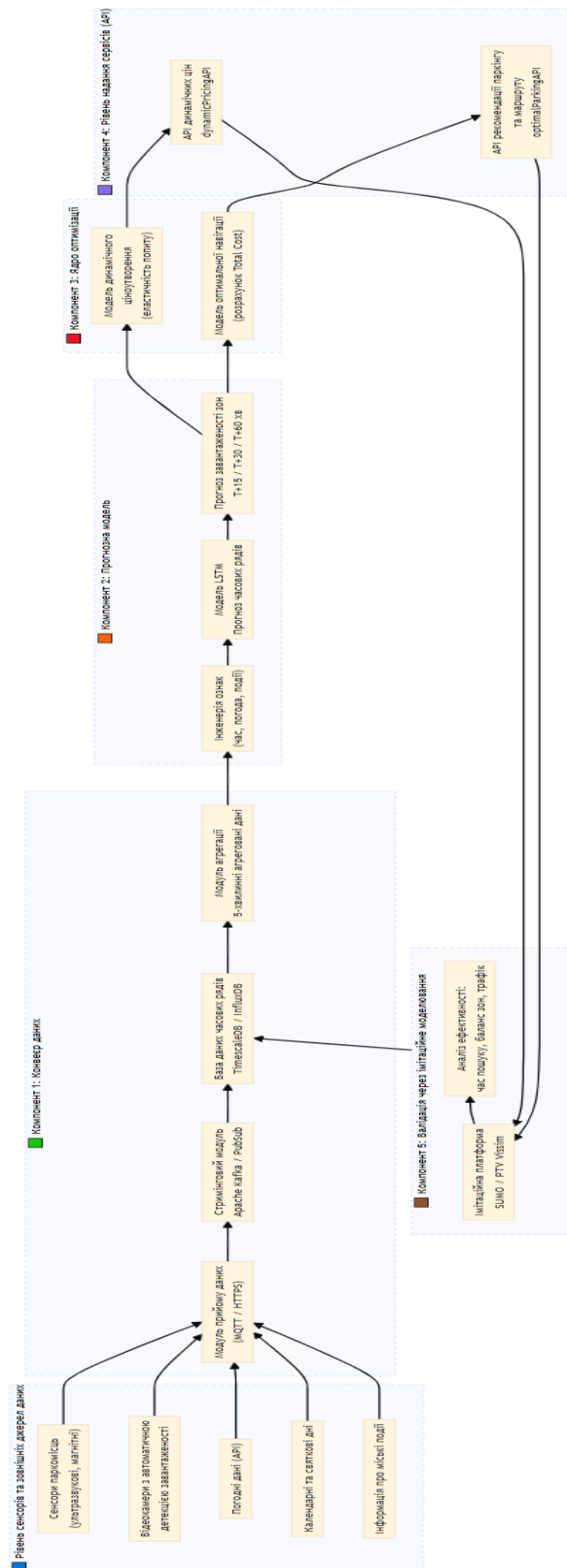


Рисунок 1- Діаграма комп'ютерної технології управління завантаженістю паркінгів на основі прогнозного моделювання

Це дає змогу оцінити сукупний вплив системи на ключові метрики: середній час пошуку паркомісця, збалансованість завантаження зон та

загальну завантаженість дорожньої мережі. Дані симуляції також використовуються для зворотного зв'язку та донавчання прогнозних моделей.

Запропонована комп'ютерна технологія створює комплексну екосистему для інтелектуального управління паркінгом. На відміну від реактивних систем, вона використовує прогнозні моделі для проактивного впливу на попит та пропозицію. Інтеграція LSTM-прогнозування з подвійним ядром оптимізації (ціни та навігація) дозволяє не лише інформувати водіїв, але й активно керувати транспортною поведінкою, що відкриває перспективи для значного покращення міської мобільності.

Література:

1. Smart Parking Systems: Reviewing the Literature, Architecture, and Ways Forward / M. A. Al-Absi, A. A. Al-Absi, J. Lee // *Sensors* [Електронний ресурс]. – 2022. – Vol. 22, № 21. – Art. 8115. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/21/8115> (дата звернення: 10.11.2025).
2. Smart Parking System with Dynamic Pricing using IoT / S. Kumar, R. Singh, A. Sharma [et al.] // 2024 5th International Conference on Signal Processing and Communication (ICC) [Електронний ресурс] : proceedings. – IEEE, 2024. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10714686> (дата звернення: 16.11.2025).
3. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783
4. Кононихін О.С., Прачик В.А., Щепетільников С.Ю. Модель вибору мережевого обладнання логістичного підприємства в умовах інтервальної інформації // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. No 1(29) 2024. С. 718-726

УДК 656.07.33

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БДМ

Крохмаль Я.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Провідні технології керування БДМ стало впроваджуються в реальні робочі процеси за рахунок сучасних інструментів розробки як програмного так і апаратного забезпечення [1].

Мета роботи - підвищити ефективність управління виконавчими механізмами БДМ за рахунок розробки математичних моделей вибору компонентів інтелектуальної системи управління.

Методи вимірювань вимагають побудови адекватних математичних моделей, а також комп'ютерної реалізації в режимі реального часу. Моделі формують алгоритми обробки вимірювань та цифрового кодування інформації [2]. Тому раціональний комплект обраних компонентів (інтелектуальних сенсорів, високошвидкісних бортових контролерів, засобів обробки просторових даних геоінформаційних підсистем, тощо) робить методи керування перспективними для інтелектуальних модулів БДМ.

Завдання вибору компонентів можна вирішити методом багатокритеріальної оцінки варіантів та оптимізації їх параметрів [3]. Розглянемо вибір компонентів на прикладі інтелектуального сенсору перешкод для роботизованого екскаватору [4]. Постановка задачі наступна. Відомо: множина перешкод, їх параметри та характеристики; множина типів сенсорів, їх параметри та характеристики. Необхідно обрати інтелектуальний сенсор, що параметрами та характеристиками найкраще підходить до проектованої систему управління.

Моделі вибору сенсору перешкод СУ наведено на рисунку 1. Наведені математичні моделі сенсорів відносяться до класу завдань багатокритеріальної оптимізації дискретного програмування з булевими

змінними.

Показник	критерії	обмеження
Дальність	$A = \max \sum_{i=1}^{i'} A_i^M \cdot x_i;$	$\max \sum_{i=1}^{i'} A_i^M \cdot x_i \geq A_{заб};$
Оглядовість	$O = \max \sum_{i=1}^{i'} O_i^M \cdot x_i;$	$\max \sum_{i=1}^{i'} O_i^M \cdot x_i \geq O_{заб};$
Потужність	$P = \min \sum_{i=1}^{i'} P_i^M \cdot x_i.$	$\min \sum_{i=1}^{i'} P_i^M \cdot x_i \leq P_{заб}.$
Безпека	$OP = \max \sum_{i=1}^{i'} OP_i^M \cdot x_i;$	$\max \sum_{i=1}^{i'} OP_i^M \cdot x_i \geq OP_{заб};$
Вага	$B\Gamma = \min \sum_{i=1}^{i'} B\Gamma_i^M \cdot x_i.$	$\min \sum_{i=1}^{i'} B\Gamma_i^M \cdot x_i \leq B\Gamma_{заб}.$
Вартість	$B = \min \sum_{i=1}^{i'} B_i^M \cdot x_i.$	$\min \sum_{i=1}^{i'} B_i^M \cdot x_i \leq B_{заб}.$

Рисунок 1 – Показники, критерії та обмеження вибору сенсорів

Моделі вибору приймача GPS геоінформаційної системи обробки просторових даних розробляємо аналогічно. Постановка задачі, відомо: множина типів приймачів GPS, їх параметри та характеристики; множина типів БДМ, їх параметри та характеристики робочих процесів. Необхідно визначити вид приймача GPS для СУ БДМ (екскаватор). Визначаємо критерії вибору: час ініціалізації приймача GPS; кількість каналів; точність позиціонування; вага та вартість.

Постановка задачі вибору контролеру керування. Відомо: множина типів контролерів, їх параметри та характеристики; множина робочих операцій. Необхідно підібрати контролер, що функціонально реалізує робочі операції. Основними показниками вибору є: тактова частота контролеру; пам'ять; продуктивність; вартість.

Запропоновані моделі вибору комплексу СУ БДМ є універсальними. При розширенні функціональних можливостей БДМ можуть бути адаптовані під нові вимоги експлуатації (рис. 2). Системи «технічного зору» через сенсори отримують зображення та формують 3D-просторові дані.

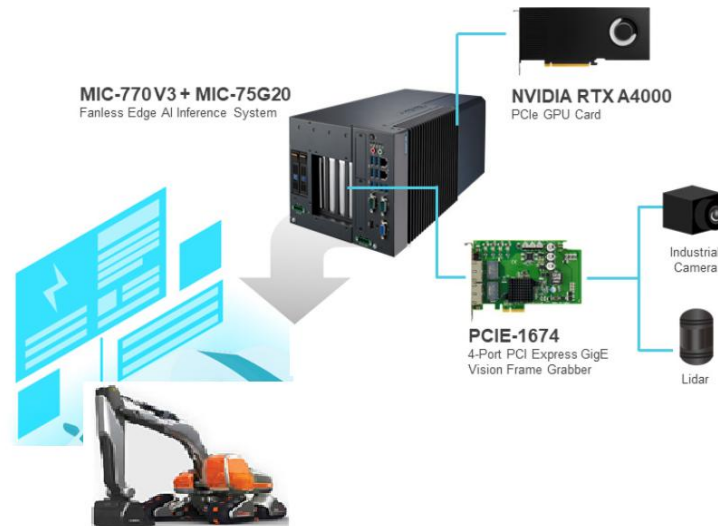


Рисунок 2 – Компоненти інтелектуальної системи для БДМ

Дані обробляються графічним процесором, що дозволяє машині «бачити» та розуміти навколишній стан, відстежувати перешкоди, картографувати, обирати навігацію.

Поєднання цих компонентів гарантує системі управління БДМ обробку даних величезних обсягів для ефективного інтелектуального функціонування.

Література:

1. Медиковський М. О. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління: монографія. – Львів. - 2015. 280 с.
2. Войцицький А.П. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник (видання друге, виправлене) / А.П. Войцицький, М.А. Войцицький. – Гельветика, 2018. - 300 с.
3. Методи сучасної теорії управління: підручник / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцьк, В.Д. Кишенько та ін. – Київ: видавництво Ліра – К, 2018. – 368 с.
4. Frank B., Kleinert J., Filla R. Optimal control of wheel loader actuators in gravel applications //Automation in Construction. 2018. V. 91. P. 1-14.

5. Cao B. et al. Intelligent operation of wheel loader based on electrohydraulic proportional control // Mathematical Problems in Engineering. 2020. Article ID 1730946, 11 p. <https://doi.org/10.1155/2020/1730946>.

УДК 519.6

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО ЗНАХОДЖЕННЯ АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ЕЛІПТИЧНОГО РІВНЯННЯ З МОНОТОННОЮ СТЕПЕНЕВОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ

*Пархоменко В.Г., Сидоров М.В.**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

При математичному моделюванні різних фізико-механічних процесів, зокрема, процесів нелінійної теплопровідності [1], виникає необхідність у розв'язанні крайових задач для напівлінійного еліптичного рівняння:

$$-\Delta u = u^p, \quad \mathbf{x} \in \Omega, \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}} + \gamma u \right|_{\partial \Omega} = 0, \quad (2)$$

де $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, Ω – обмежена область з $\mathbb{R}^2$, $p > 0$, $\gamma > 0$.

Особливий інтерес представляє випадок, коли область Ω є кругом радіуса R . Тоді ставиться задача знаходження аксіально-симетричного розв'язку задачі (1), (2). Перейдемо у (1), (2) до полярних координат за формулами:

$$x_1 = \rho \cos \varphi,$$

$$x_2 = \rho \sin \varphi.$$

Якщо врахувати, що розв'язок рівняння є залежним тільки від відстані $\rho = |\mathbf{x}| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$ до центру круга, перейдемо до напівлінійного звичайного диференціального рівняння вигляду

$$-\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{du}{d\rho} \right) = u^p. \quad (3)$$

Крайову умову (2), яку задано на межі області Ω , тобто для $|\mathbf{x}| = R$, буде зведено до вигляду $u'(R) + \gamma u(R) = 0$. Точка $\rho = 0$ є особливою точкою

рівняння (3), отже, постає необхідність поставити умову обмеженості розв'язку в цій точці: $|u(0)| < +\infty$.

Таким чином, крайову задачу (1), (2) звели до наступної крайової задачі:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{du}{d\rho} \right) = u^p, \quad 0 < \rho < R, \quad (4)$$

$$|u(0)| < +\infty, \quad u'(R) + \gamma u(R) = 0. \quad (5)$$

Далі, від крайової задачі (4), (5) переходимо до нелінійного інтегрального рівняння Гаммерштейна [2]:

$$u(\rho) = \int_0^R K(\rho, s) u^p(s) ds,$$

де $K(\rho, s) = sG(\rho, s)$, а $G(\rho, s)$ – функція Гріна задачі (4), (5).

Нелінійний інтегральний оператор $T(u) = \int_0^R K(\rho, s) u^p(s) ds$, визначений у банаховому просторі $C[0, R]$ неперервних на $[0, R]$ функцій, напівопорядкованому конусом K_+ невід'ємних функцій, має ряд властивостей, а саме:

а) є додатним оператором;

б) є u_0 -додатним оператором, де $u_0(\rho) = \frac{1}{4\gamma}(2R + R^2\gamma - \gamma\rho^2)$;

в) є монотонним (ізотонним) оператором;

г) є увігнутим і навіть u_0 -увігнутим оператором за умови $p \in (0, 1)$, де $u_0(\rho) = \frac{1}{4\gamma}(2R + R^2\gamma - \gamma\rho^2)$.

Для оператора T умовами $T(v_0) \leq v_0$, $T(w_0) \geq w_0$ виділимо інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$, де $v_0(\rho) = \alpha u_0(\rho)$, $w_0(\rho) = \beta u_0(\rho)$, $0 < \alpha < \beta$, і побудуємо два паралельні ітераційні процеси [2, 3]

$$v^{(n+1)}(\rho) = \int_0^R K(\rho, s) [v^{(n)}(s)]^p ds, \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

$$w^{(n+1)}(\rho) = \int_0^R K(\rho, s)[w^{(n)}(s)]^p ds, \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(\rho) = v_0(\rho), \quad w^{(0)}(\rho) = w_0(\rho).$$

Послідовність $\{v^{(n)}(\rho)\}$ не спадає за конусом K_+ , а послідовність $\{w^{(n)}(\rho)\}$, у свою чергу, не зростає за конусом K_+ . Конус K_+ є нормальним, а оператор T є цілком неперервним. Таким чином, для обох побудованих ітераційних послідовностей має місце збіжність у нормі простору $C[0, R]$ до єдиного додатного розв'язку u^* крайової задачі (4), (5) і справджуються нерівності

$$v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(n)} \leq \dots \leq u^* \leq \dots \leq w^{(n)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0.$$

За наближений розв'язок крайової задачі (4), (5) на n -му кроці обирається функція $u^{(n)}(\rho) = \frac{1}{2}(v^{(n)}(\rho) + w^{(n)}(\rho))$. При цьому оцінка похибки

$$\text{наближення визначається нерівністю } \|u^{(n)} - u^*\|_{C[0, R]} \leq \frac{1}{2} \max_{\rho \in [0, R]} (w^{(n)}(\rho) - v^{(n)}(\rho)).$$

Чисельний експеримент проведено для різних значень параметрів p , $0 < p < 1$, $\lambda = 1, 2, 3$, $\gamma = 5$. На рисунку 1 зображено графік наближеного розв'язку при $p = 0,5$, $\lambda = 1$, на рисунку 2 – його лінії рівня. Точність 10^{-4} було досягнуто за 7 ітерацій з оцінкою похибки $\varepsilon = 6,68 \cdot 10^{-5}$. Рисунок 3 відображає залежність норм наближених розв'язків від значень параметрів p і λ . Як видно з графіків, чим більшим є параметр λ , тим більшими є норми розв'язків. Водночас при наближенні показника p до 1 норма розв'язку прямує до 0.

Проведені дослідження є продовженням роботи, яку було розпочато в [3, 4], де було застосовано метод двобічних наближень до знаходження додатного аксіально-симетричного розв'язку першої крайової задачі для нелінійного еліптичного диференціального рівняння. У подальшому планується дослідити застосування даного методу для інших типів крайових

умов та задач у просторах більшої розмірності.

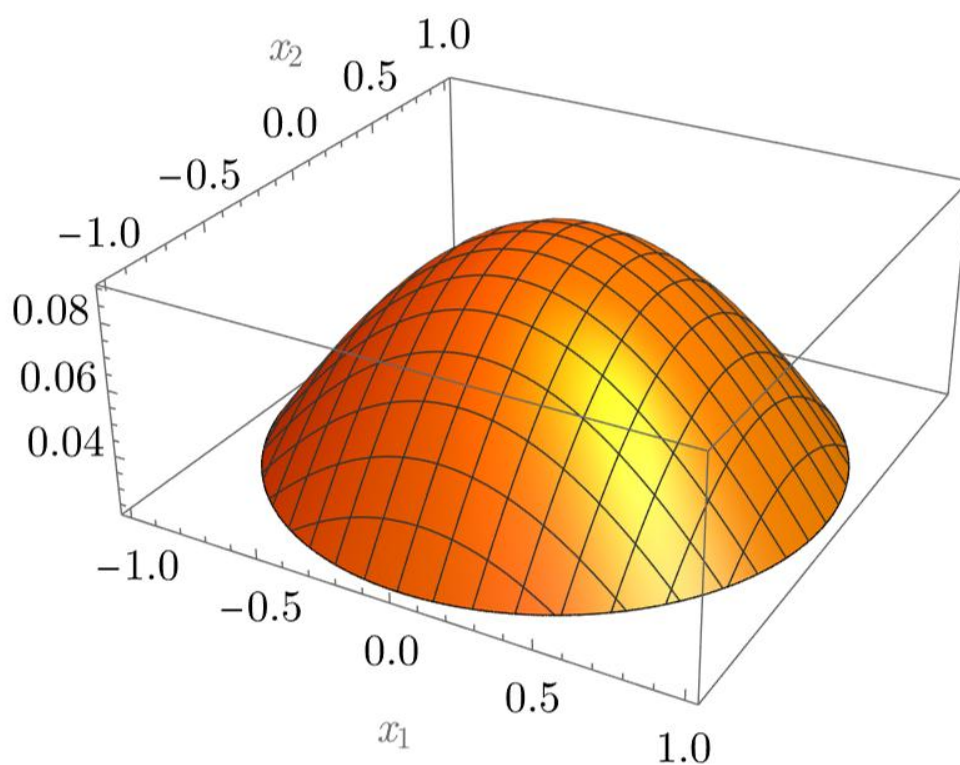


Рисунок 1 – Графік наближеного розв'язку $u^{(7)}(x_1, x_2)$

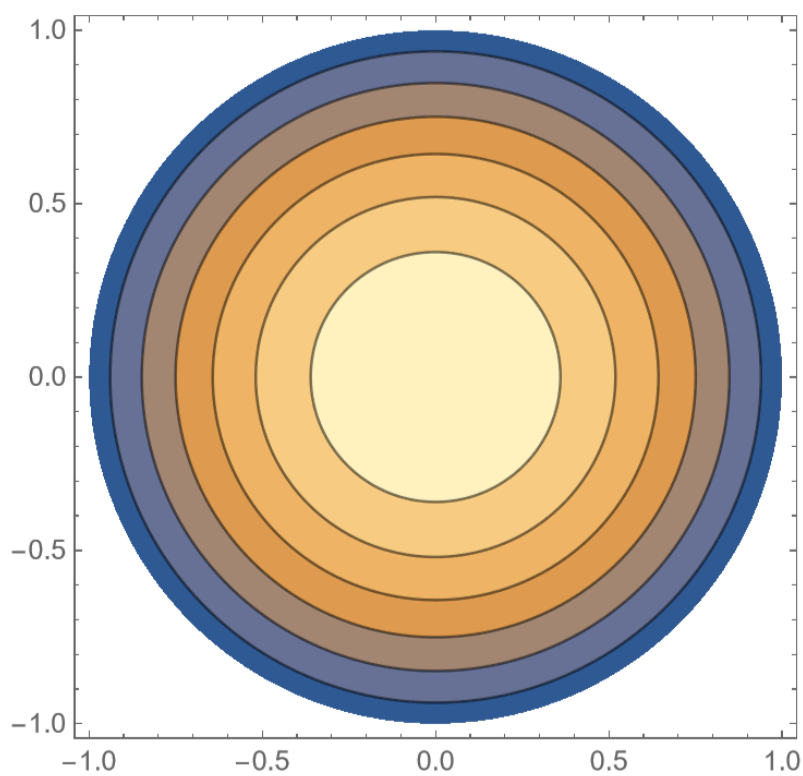


Рисунок 2 – Лінії рівня наближеного розв'язку $u^{(7)}(x_1, x_2)$

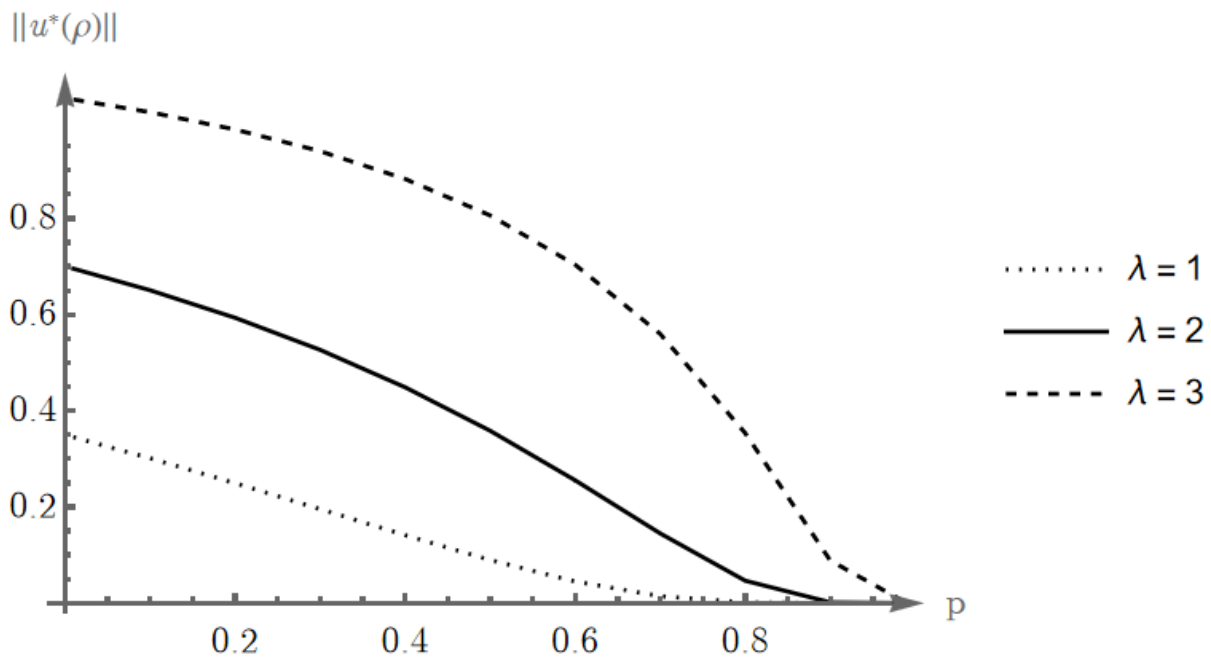


Рисунок 3 – Графік залежності норм наближеного розв'язку від значень параметрів p та λ

Література:

1. Oliva F., Petitta F. Singular elliptic PDEs: an extensive overview. *Partial Differential Equations and Applications*. 2025. Vol. 6, Article No. 6. <https://doi.org/10.1007/s42985-024-00308-9>
2. Опойцев В. И., Хуродзе Т. А. Нелинейные операторы в пространствах с конусом. Тбилиси : Изд-во Тбилис. ун-та, 1984. 246 с.
3. Пархоменко В. Г., Сидоров М. В. Застосування методу двобічних наближень до знаходження додатних аксіально-симетричних розв'язків крайових задач з монотонними нелінійностями. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки*. 2024. Вип. 25. С. 121–133. <https://doi.org/10.32626/2308-5878.2024-25.121-133>
4. Пархоменко В. Г., Сидоров М. В. Застосування методу двобічних наближень до знаходження додатних аксіально-симетричних розв'язків крайових задач із сингулярними нелінійностями. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки*. 2025. Вип. 27. С. 39-52. <https://doi.org/10.32626/2308-5878.2025-27.39-52>

УДК 519.245

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО У ЗАДАЧІ ПЕРКОЛЯЦІЇ

Фармагей С.К.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У роботі проводиться аналіз ефективності застосування методу Монте-Карло до моделювання складних систем. У якості прикладу розглядається застосування методу до задачі перколяції.

Актуальність роботи зумовлена широкими можливостями методу Монте-Карло для дослідження складних систем і процесів, які неможливо розв'язати аналітичними або класичними чисельними методами. Він забезпечує ефективне чисельне інтегрування у багатовимірних просторах, відтворює випадкову природу багатьох явищ і відзначається універсальністю застосування у фізиці, біології, економіці та інженерії. У ряді задач саме метод Монте-Карло виступає єдиним дієвим засобом аналізу та прогнозування поведінки складних систем.

Сучасні методи Монте-Карло беруть свій початок у 1940-х роках, коли Енріко Фермі, Станіслав Улам, Джон фон Нейман, Ніколас Метрополіс та інші дослідники почали застосовувати випадкові числа для вивчення різноманітних фізичних задач із позиції стохастичного підходу. Біографічні матеріали, присвячені С. Уламу, дають захопливе уявлення про зародження і розвиток методу Монте-Карло ще до появи сучасних електронних обчислювальних машин.

Перші варіанти методу були надзвичайно простими – їх створювали як інструмент для наближеної оцінки розв'язків аналітично складних проблем. Значна частина тієї ранньої роботи не була опублікована, тому найповніше уявлення про походження методу Монте-Карло можна отримати, звернувшись до збереженого листування та історичних описів його розвитку.

Основною суттю методу є статистична оцінка результатів великої кількості випробувань.

Метод Монте-Карло можна використовувати для великої кількості різноманітних задач, наприклад: задачі перколяції, задача самоуникаючого блукання, задача радіоактивного розпаду, задача розрахунку ціни опціонів та багато інших.

Алгоритм застосування методу виглядає наступним чином:

а) формулювання задачі у стохастичній формі – переведення вихідної задачі до задачі знаходження математичного сподівання випадкової величини;

б) генерація випадкових чисел – створення незалежної послідовності рівномірно розподілених випадкових величин (за допомогою генераторів псевдовипадкових чисел);

в) побудова вибірки – перетворення рівномірно розподілених чисел у випадкові величини з потрібними законами розподілу;

г) обчислення результатів – для кожної згенерованої випадкової точки обчислюється значення функції;

д) статистична обробка – обчислення середнього значення по всій вибірці, яке й буде наближенням шуканої величини.

Як приклад застосування, розглянемо задачу перколяції.

Процеси перколяції – це явища, в яких шляхом випадкового додавання окремих елементів (частинок або зв'язків) формується суцільна структура, що пронизує всю систему.

Загалом частинки можуть бути розподілені безперервно у просторі, і їх перекриття створює зв'язані області – кластери, які поступово з'єднуються, утворюючи єдиний зв'язний кластер, що охоплює всю решітку або систему.

Розберемо, як приклад, перколяцію сайтів: ґратка складається з періодичного масиву потенційних сайтів, які можуть бути зайняті. Найменший кластер утворюється тоді, коли зайнятий лише один сайт, а жоден із його найближчих сусідів не зайнятий. У системі можна визначити дві важливі характеристики:

а) ймовірність утворення охоплюючого (нескінченного) кластера;

б) параметр порядку, який відповідає частці зайнятих сайтів, що належать до нескінченного кластера.

Ці величини визначаються шляхом числового експерименту: для кожного значення ймовірності заповнення p генерується велика кількість реалізацій решітки, і підраховується частка тих, у яких формується охоплюючий кластер. У міру збільшення розміру решітки ймовірність появи нескінченного кластера прямує до нуля для $p < p_c$ та до одиниці для $p > p_c$. Таким чином, при деякому критичному значенні $p = p_c$ відбувається перехід перколяції, інша назва якого поріг перколяції.

Ще однією важливою величиною є параметр порядку M , який відповідає частці зайнятих сайтів у гратці, що належать до нескінченного кластера. Найпростіший спосіб визначити M за допомогою моделювання, це згенерувати багато різних конфігурацій, для яких зайнята частка p сайтів, і підрахувати частку станів, для яких з'являється нескінченний кластер. Для відносно рідко зайнятих ґраток M буде нульовим, але зі збільшенням p ми зрештою досягаємо критичного значення $p = p_c$, яке називається порогом перколяції, для якого $M > 0$. З подальшим збільшенням p , значення параметра M також буде зростати.

Поведінка параметра порядку поблизу порогу перколяції описується співвідношенням, подібним до того, яке застосовується для критичної поведінки параметра порядку при температурних переходах. У скінченних ґратках ситуація дещо складніша: острівний кластер може утворитися навіть за невеликого p , коли система ще не досягла критичного стану. Отже, навіть при малих значеннях p ймовірність перколяції може бути ненульовою.

При випадковому розміщенні вузлів на решітці утворюються кластери різних розмірів, і перколяційні кластери, якщо вони виникають, мають фрактальну структуру. Характерна поведінка ймовірності перколяції при збільшенні p показує поступове зростання від нуля до одиниці, а для великих розмірів ґратки перехід стає різкішим.

Для кількісного опису системи використовується розподіл за розмірами кластерів – $n(s)$, який показує, скільки кластерів має розмір s . На порозі перколяції цей розподіл підкоряється степеневому закону:

$$n(s) \sim s^{-\tau}$$

де τ – критичний показник. Також визначається аналог «сприйнятливості» системи:

$$\chi = \sum_s s^2 n(s),$$

яка розходиться при $p = p_c$.

Для реалізації методу Монте-Карло в задачі перколяції застосовується наступна процедура: починають із порожньої решітки, випадковим чином заповнюють її сайти з імовірністю p , після чого знаходять усі зв'язані кластери. Якщо цікавий діапазон p знаходиться поблизу критичного значення, необхідно перевіряти, щоб одна і та сама точка не вибиралася двічі, інакше метод стає неефективним. Після досягнення бажаного заповнення p визначаються властивості системи: ймовірність перколяції, розмір найбільшого кластера, середній розмір кластера тощо.

Література:

1. D. P. Landau and K. Binder, Monte Carlo Simulations in Statistical Physics: study guide Cambridge. New York: Cambridge University Press, 2000.
2. W. Krauth, Statistical Mechanics: Algorithms and Computations. Oxford: Oxford University Press, 2006.
3. І. Є. Байда, Метод Монте-Карло. Харків, Україна: ХПІ, 2024.
4. І. А. Прокопишин, Розрахунок ціни опціонів методом Монте-Карло. Львів, Україна: ЛНУ ім. Ів. Франка, 2022.

UDC 681.5:631.1

**DESIGN OF A PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEM IN
THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Adilbekov Mamyrbek, Turkpenbay Bekzat, Karatayeva Zhanbubi

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Modern agro-industrial production requires the implementation of automated control systems to ensure stability, efficiency, and adaptability of technological processes. This paper presents the design and development of a production process control system for the agro-industrial complex (AIC), focusing on the integration of modern automation tools such as programmable logic controllers (PLC), industrial sensors, and SCADA systems. The proposed system enables continuous monitoring, data collection, and adaptive control of key technological parameters such as temperature, humidity, pressure, and energy consumption. The results of experimental implementation demonstrate significant improvements in process reliability, production efficiency, and energy savings.

The agro-industrial complex (AIC) plays a key role in ensuring food security and sustainable economic development. However, many enterprises still rely on manual or semi-automatic control, which often leads to inefficiencies, increased costs, and reduced product quality. Recent advances in automation and digital technologies have made it possible to develop integrated systems capable of managing complex production processes in real time.

Automation in the agro-industrial sector contributes not only to higher productivity but also to resource conservation, environmental protection, and improved product consistency. The introduction of intelligent control systems allows enterprises to optimize material and energy flows, reduce the human factor, and ensure continuous monitoring of equipment and technological parameters.

In this context, the design of a production process control system for AIC is an important step toward digital transformation and sustainable industrial development.

The main objective of this study is to design and implement a control system for the production process in the agro-industrial complex, ensuring stability, efficiency, and adaptability of technological operations. The following tasks were defined:

To analyze the structure and parameters of the selected production process within the AIC.

To design an automated control system based on a PLC and SCADA platform.

To integrate data acquisition, visualization, and control functions.

To test and evaluate system performance under real operating conditions.

The design approach follows the IEC 61131-3 standard for PLC programming and employs the TIA Portal environment for logic development, communication setup, and visualization through WinCC. Sensors and actuators are connected through industrial communication protocols such as Modbus or Profibus.

The system architecture consists of three primary layers:

1. Field Level – includes sensors, transmitters, and actuators that measure and influence process variables such as temperature, pressure, flow rate, and humidity.
2. Control Level – represented by a PLC that processes sensor signals, executes control algorithms, and generates commands for actuators.
3. Supervisory Level – implemented via a SCADA system that provides visualization, data logging, and operator interaction.

The designed system can be applied to various production operations, such as grain drying, feed mixing, or milk pasteurization — all of which require precise control of temperature, humidity, and energy consumption.

Control Algorithm: The control algorithm was developed using a modular structure. The main modules include data acquisition, control, safety and alarm, and HMI. The PLC program was written using Ladder Diagram (LD) and Function Block Diagram (FBD) languages. The SCADA interface provides an overview of system components, parameter trends, alarm logs, and energy consumption statistics.

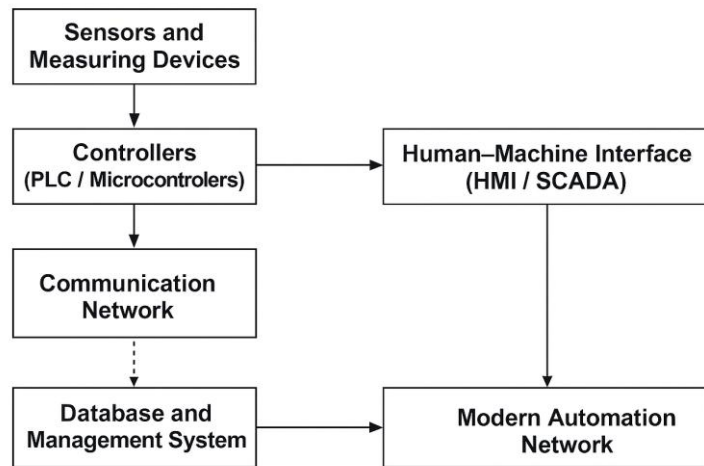


Figure 1 – General structure of the production process control system

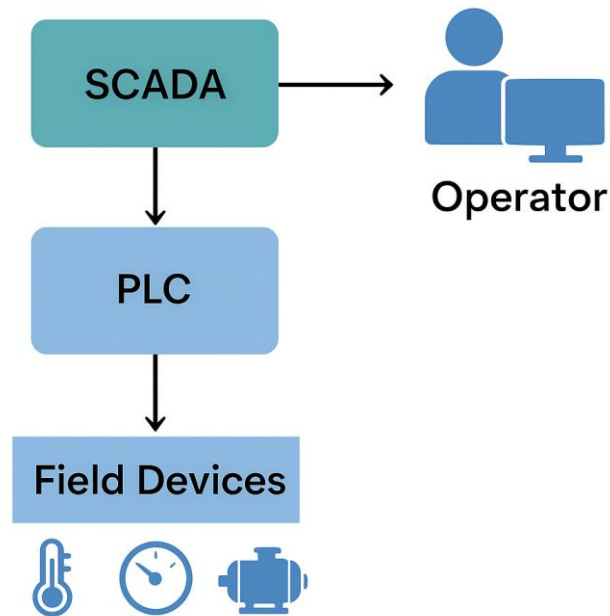


Figure 2 – PLC and SCADA integration scheme

An experimental test of the designed system was conducted at a pilot agro-industrial facility equipped with temperature and pressure control subsystems for product processing. The PLC used in the experiment was Siemens S7-1200, connected to a SCADA workstation via Ethernet. The test process simulated a temperature control operation with feedback from PT100 sensors and controlled heaters.

During a 60-day observation period, the automated system was compared to manual control under identical production conditions. The following results were obtained:

Energy consumption reduced by 24%, temperature deviation improved from $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ to $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, downtime decreased by 75%, and operator intervention was minimized.

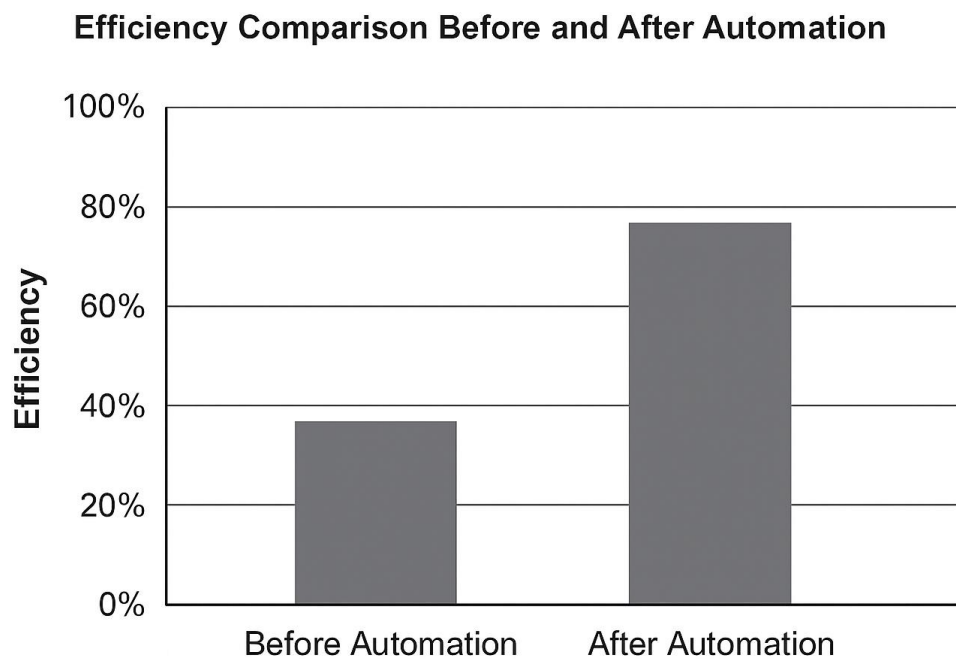


Figure 3 – Efficiency comparison before and after automation

The experiment demonstrated that even partial automation of technological processes leads to measurable benefits. The use of PLCs and SCADA systems increases the precision of control and minimizes equipment wear caused by parameter fluctuations. Additionally, the availability of data analytics tools allows managers to predict maintenance needs, optimize production schedules, and enhance decision-making.

Conclusion

1. A production process control system for the agro-industrial complex was designed and implemented using PLC and SCADA technologies.

2. The system provides continuous monitoring, adaptive control, and fault detection, improving process efficiency and reliability.

3. Experimental validation confirmed a reduction in energy consumption, downtime, and manual intervention.

4. Integration with digital platforms enables remote monitoring and data analysis, laying the foundation for smart agro-industrial management.

5. Future work will focus on expanding the system's functionality through AI-driven predictive analytics and cloud integration.

References:

1. Burov, N. A. (2019). "Technologies and Automation Systems for Agribusiness." *Journal of Automation and Technology*, 45(1), 123–134.
2. E.Ä. Duysenbekov, N.E. Baizakov. "Automated Systems for Precision Agriculture and Water Resource Management." *Kazakhstan Agrarian Journal*, 16(2), 114–123.
3. Yerkebulan, D. A. (2020). "Automation of Industrial Processes and Their Environmental Efficiency." *Kazakh Agricultural Science*, 22(3), 101–110.
4. Petrov, I. G., & Smirnov, A. Yu. (2018). "Development of Automation in Agro-Industrial Systems." *Scientific and Practical Agronomy*, 12(2), 85–92.
5. Popov, V. S., & Ivanov, A. V. (2016). "Modern Automation Technologies in Agriculture." *Agro-Industrial Bulletin of Russia*, 23(4), 57–68.

UDC 621.771

DESIGN OF A NEW RADIAL SHEAR MILL BASED ON SIMULATION AND IMITATION MODELING

Angarbekov Ulan, Kerimberdi Ulbala

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

At present time, the spectrum of virtual modeling and engineering analysis software systems has significantly expanded [1]. Developers improve these systems to solve more complicated problems, for example, nonlinear, multifactorial and multi-criteria dynamic processes of metal forming.

To solve these tasks, the universal CAE-systems of the so-called “heavy” class (MSC Marc, ANSYS, etc.) have been used, with the help of which equipment designs and technological equipment for various purposes are designed for strength and deformation calculations [2]. At the same time, the use of “heavy” CAE systems for solving various technological tasks is problematic due to the high resource requirements to the software and hardware complex, the need of highly qualified and specialized user knowledge, the complexity and duration of setting up of such systems for a specific task.

At the present work, a radial-shear mill (RSM) of a new design is proposed [3]. This mill is a complex of rolling and heating equipment, where by combining of hot screw rolling on RSM and pressing, rods of small diameters or wires of ferrous or non-ferrous metals with a fine-grained structure are obtained. RSM for continuous pressing of rods and wires contains a main drive, a working cage, a roll knot and a press matrix. The three-rolled working cage RSM consists of a stand, in the boring of which the working rolls units through 120° are mounted. Working rolls are mounted on pillows, torque, which is transmitted through spindles from electric motors. The cages of the new mill are designed with the possibility of the rolls location with different angles to the axel of rolling and tangential displacement relative to it for 18 mm. The rolls of this RSM have smooth and screw-shaped gripping and crimping areas, respectively, and calibrating cylindrical

areas.

The working cage of the proposed rolling mill is a multi-component machine, including rotating rolling rolls, bearings, stand, mounting mechanisms of the rolls, fastening devices and other units and details. Designing of such a machine is a very complicated and labour-consuming process, requiring a large amount of calculation and graphic work. It should be noted that the existing methods for calculating of the elastic deformation of the stands driving working rolls do not allow to take into account all the constructional and technological features of the hot-pressing process of bars [1]. In this regard, we, by the imitating modeling investigated the strength and vibration of heavily loaded elements of the new mill. The initial data for the calculation is the solid-state geometric form of RSM, the forces applied to them and the conditions of fixing.

To calculate the elastic deformation and vibration of heavily loaded elements of the mill cages, we selected the Patran Nastran [4] finite element analysis program and developed the RSM dynamic computer model. Patran Nastran computer modeling system allows to explore the kinematics, dynamics of mechanisms with the ability to calculate the deflection, vibration, stress-strain state (VAT) and thermal state, as individual links, and the mill as a whole.

During the construction of RSM in the Patran Nastran environment, we performed the following operations [1]: created geometric models of each detail and assembly of the mill units; selected the type of finite element analysis; created a grid of the finite elements of the new RSM cage details; chose the material of parts, according to their mechanical and physical properties; set the rheological properties of the material; formed kinematic and static boundary conditions; set the conditions to the coefficient of friction; depending on the technical characteristics of the RSM and the condition of constancy of the second volumes, set the law of rolls rotation of the investigated mill; on the basis of the finite-element method, volumetric VAT calculated the components of the stress tensor, Mises equivalent stresses, and also the elastic deformation and vibration of the heavy-loaded elements of the mill; in the form of distribution fields of the corresponding

parameters according to the volume of detail, presented the results of the calculation; made an assessment of the level of received displacements, vibration, elastic deformations and stresses in the volume of each part of the mills relative to the required criteria of hardness and strength and introduced appropriate changes to the design of the mill.

By the simulation modeling in the MSC Nastran environment, the above given indicators were calculated according to the following algorithm. In the KOMPAS program, according to the working drawings, three-dimensional geometric model of each part was created and the units of the working cage were assembled. The model was imported into the Nastran Patran preprocessor with accepted kinematic links. Selected the materials of details, their mechanical and physical properties. Formed kinematic and static boundary conditions, modeled the calculated mechanical scheme, including the load distribution over the surface of the rolled billet. We made a supply of torque to the rolls (torque was modeled using MPC elements of RBE2 type). Using the options Mesh Seed applied 6 and 8 knot volumetric finite element grid and determined the vibration and VAT. When developing a design scheme, condensed grids of finite element were used in places of expected stress concentration. Elastic bonds between the units of the cage were modeled by the spring-damping element CBUSH.

The stress state in heavily loaded mill parts was calculated by applying rolling force and impact of thermal stresses. The MSC.SuperForge software complex was used to calculate the energy-and-power parameters of bars pressing. The distributed force acting in the contact zone on the roll was taken according to the series of modeling results of copper alloy M1 pressing and taken equal to the maximum 320 kN for each roll 280 kN per matrix.

For the calculation of the working rolls put a load in the form of moment and force with which the billet affects to the rolls. After all the operations for setting the initial conditions of simulation modeling, the VAT of the mill design was calculated.

As a result of computer modeling, data were obtained using which one can

make a correction to the mill design on the stage of project. It was found that the maximum equivalent stress occurs in the necks of the roll and make up 499.5 MPa. The calculated maximum values of equivalent stresses in a heavily loaded roll and matrix do not exceed the maximum allowable value of the strength limit of steel 9X1 (880 MPa). The stresses in the stand of cage made up 45.412 MPa, which is also significantly less than the strength limit for the stand material (981 MPa for steel St40HS).

The greatest displacement under the action of load is equal to 0.000434 mm and occurs on the necks of rolls. This value is within the tolerance for the diametrical dimensions of bars with a diameter of up to 20 mm. For the stand, the greatest displacement is under the load of 0.000315 mm and occurs in its upper part, and for the RSM matrix this displacement is equal to 0.000093 mm.

The calculation of stress tensor components showed that when rolling on a new mill, stretching main stresses arise mainly in the necks of rolls. The magnitude of the main maximum, medium and minimum stresses in the necks of working rolls do not exceed 631.9, 263.8 and 69.95 MPa, respectively. The main maximum stresses in the stand of the cage are stretching and do not exceed 26.84 MPa. It should be noted that the main medium and minimum stresses arising in the stand of cage, in most cases, are compressive and do not exceed respectively 7.12 and -43.97 MPa.

The results of computer modeling evidence that the RSM cage has a sufficient safety margin. Estimated hardness of the mill design provides rods and wires with diametrical dimensions of high accuracy.

It should be noted that the determination of the maximum strength of heavily loaded parts of the RSM cage was carried out by pressing rods at room temperature. According to the project RSM is intended for hot pressing of rods and wires. We believe that during hot pressing all heavy duty parts with a 5-10 divisible coefficient margin of safety will withstand the applied load.

The calculation results showed that the projected RSM roll knots have low hardness in the horizontal plane. This is due to the lack of supports in the stand

cages, excluding the displacement of working rolls in the horizontal plane, as well as with non-horizontal location of the mill drive spindles. As a result, even small gaps between the bearings, pads and casement of stands, caused by the landing tolerances and wear, lead to horizontal displacements of the vertical axial plane of the working rolls, i.e. the working rolls occur in an unstable position, and their axes can be warped. This leads to negative consequences: increased axial forces occur in the roller unit, and the size of the roll gap undergoes to unpredictable vibrations, which reduces the accuracy of rolling.

By the calculation it was found that the pillows are elastically deformed in the vertical and horizontal planes and rotate at a small angle relative to the axis of rolling. Elastic displacement in the direction of the load action for pillows located on the drive side of the roll for 1.41 times greater than for pillows located on the opposite side of the roll.

The calculation results showed that the use of hydraulic cylinders to reduce gaps leads to the decrease in both the size and area of elastic deformation of rolling bearings. In this case, the elastic deformation of the bearings vary from 0.0008 to 0.0009 mm. The outer rings of the bearing have the maximum deformation, while with a decrease in the diameter of the rolls, the region of the greatest elastic deformation of the bearing shifts to the inner sides of the roll neck. This is due to the change in the scheme of load application in the RSM roll knot.

In accordance with the conducted research, were developed measures for the modernization of the RSM cage. Showed, that it is necessary to install a hydraulic pressure device in the cage to regulate the inter-roll gap of the working rolls. To ensure uniform distribution of the load and increase the service life, we suggested to replace the bearings. In the pillows of the cage, instead of a double row spherical roller bearing, we suggested to use a radial-resistant conical double-row roller bearing with a greater carrying capacity. The proposed project solutions will reduce the level of deformation of the cages.

It is known that during the RSM operation, resonant oscillations occurring when the own frequency of structure and the frequency of external forces coincide

are especially dangerous. That is why, it is important to determine the frequency of external forces. One of the main exciter of resonant frequencies in the construction of rolling mills is the working rotation frequency of working rolls drive, which distribute vibrations to the mill.

Researches established that with an increase in rolling speed, a slight increase in dynamic loads occurs at the main knots of the cages and in the drive line on the mill of a new design. The mechanical vibrations of the cage knots and drive lines become a cause of a small vibration occurrence. Researches have shown that, relatively small in size, forced oscillations appear in the cages of the new mill, which are excited by external periodically varying forces and speed of rolling.

It should be noted that although dangerous resonant vibrations do not occur in the matrix, stand and roller knots of the RSM, we attempted to change the design of this mill in such a way as to bring its natural frequencies beyond the working range and estimate the resonant vibrations and get a large margin before appearance above marked vibrations. Therefore, in the design of the new mill we introduced a hydraulic dampers for clamping the matrix and roller knot.

It should be noted that during the pressing of rods or wires in the proposed RSM, the change in metal form occurs under alternating shear deformation conditions. In this case, the billet is twisted around its axis, which leads to the movement of each metal particle in the deformation zone along a helical (helicoidal) trajectory. Such a turbulent movement of the metal leads to an intensive study of the structure in the peripheral and central zone of the billet. All this leads to an increase in the quality of bars or wires.

Conclusions:

1. It is shown that the application of the program of finite element analysis Patran Nastran is an effective tool for studying the influence of the stress-deformation state and vibration of various rollers on the mill strength and the geometric dimensions of the rolled billet.

2. On the base of modeling results, it was proved that the stress values occurring in the details of cage structure of the radial-shear mill in the process of

pressing rods and wires do not exceed the maximum allowable stress.

3. It is proved that when pressing rods and wires on the RSM, dangerous vibrations do not fall to the operating range of the external loads, so the structure of the new mill is quite good from the point of view of vibration strength.

References:

1. Mashekov S.A., Nurtazaev A.E., Nugman E.Z., Absadykov B.N., Mashekova A.S. 2018. "Simulation of Bending of Heavy-duty Components of Stands in a Five-stand Longitudinal-wedge mill". Metallurgist 62 (1–2): 101–110.
2. Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. 2004. ANSYS for engineers: Reference Guide. M: Mechanical engineering, 512 p.
3. Patent right of RK no. 27722. Mashekov S. A., Nugman E.Z., Alshinova A. M. and others. Device for continuous pressing of press products. Publ. 18.12.2013, bulletin. no. 12. 3 p.: ill.
4. Kopanev D. 2010. Solving of dynamic tasks by means of MSC.Patran-Nastran. User's Guide. M.: MSC. Software Corporation, 169 p.

УДК 004

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A DATA TRANSMISSION SYSTEM USING LOW-LEVEL PROGRAMMING LANGUAGES: CONCEPTUAL AND EXPERIMENTAL FOUNDATIONS

M. R. Satanov

***Joint Stock Company «Kazakh National Research Technical University named
after K. I. Satbayev», Almaty, Republic of Kazakhstan***

The development of secure data transmission systems is a crucial task in the modern digital infrastructure, especially under the threat of quantum computing. Conventional algorithms such as RSA and ECC are expected to be vulnerable to quantum attacks. Kyber, a lattice-based post-quantum cryptographic algorithm standardized by NIST [1], provides an efficient and secure foundation for encryption key exchange in next-generation networks. To improve the performance of Kyber's mathematical operations, this work introduces polyhedral optimization – a formal method that analyzes and transforms loop-based computations to exploit parallelism and reduce execution time.

The goal of the research is to develop and evaluate a low-level implementation of a secure data transmission system that integrates Kyber for quantum-resistant key exchange and polyhedral optimization for computational efficiency.

Data exchange within the system is organized as a series of asynchronous message transmissions, each securely encapsulated to guarantee integrity and confidentiality. The logical connections between components, including data flow directions and integration points, are illustrated in Figure 1, which presents the overall conceptual architecture of the implemented solution.

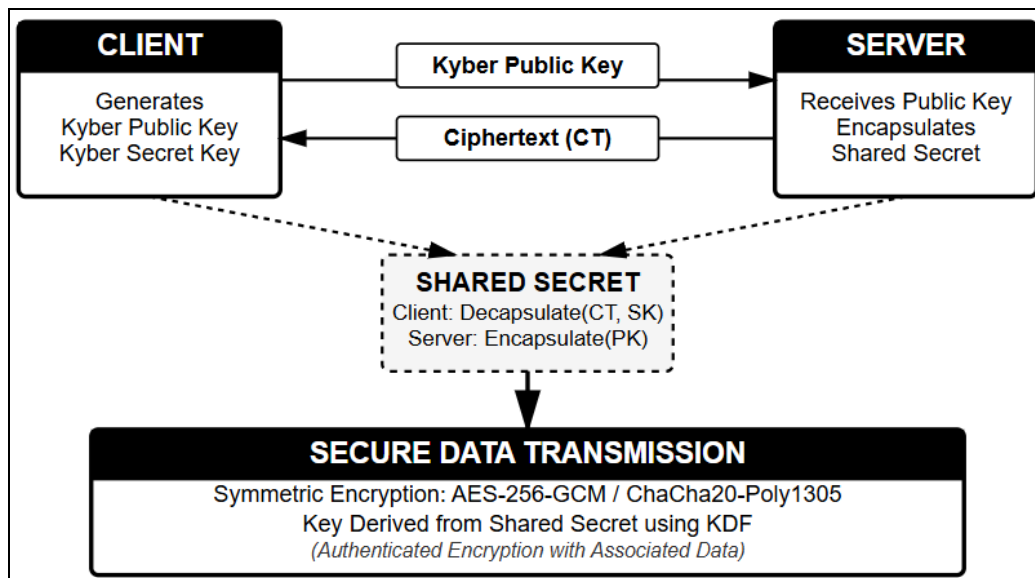


Figure 1 – System Architecture Overview

System concept and implementation approach.

The system is divided into three functional layers:

1. low-level layer. Implemented in Rust for direct access to hardware and memory-level control. This enables efficient handling of network I/O and precise optimization of the Kyber algorithm's arithmetic routines [2];
2. cryptographic layer. Utilizes Kyber for key encapsulation, providing a secure exchange of symmetric session keys [3]. After key exchange, data is encrypted with AES-256 for performance efficiency during continuous communication;
3. optimization layer. The polyhedral model is applied to Kyber's computationally intensive parts, specifically the Number Theoretic Transform (NTT) used in polynomial multiplications [4].

This approach restructures NTT loops to execute concurrently without violating data dependencies, improving throughput and cache efficiency.

To enhance performance and demonstrate computational optimization, a polyhedral representation of the encryption process is used. This approach allows the parallelization of independent computations by mapping them into geometric regions where dependencies can be analyzed and optimized. The model provides a structured visualization of how multiple encryption tasks can be executed concurrently without violating data consistency or synchronization constraints.

A schematic view of this polyhedral model is shown in Figure 2, where each node corresponds to a computational block, and the edges represent dependency relationships. This representation highlights how parallel execution paths are formed within the process, improving both efficiency and resource utilization.

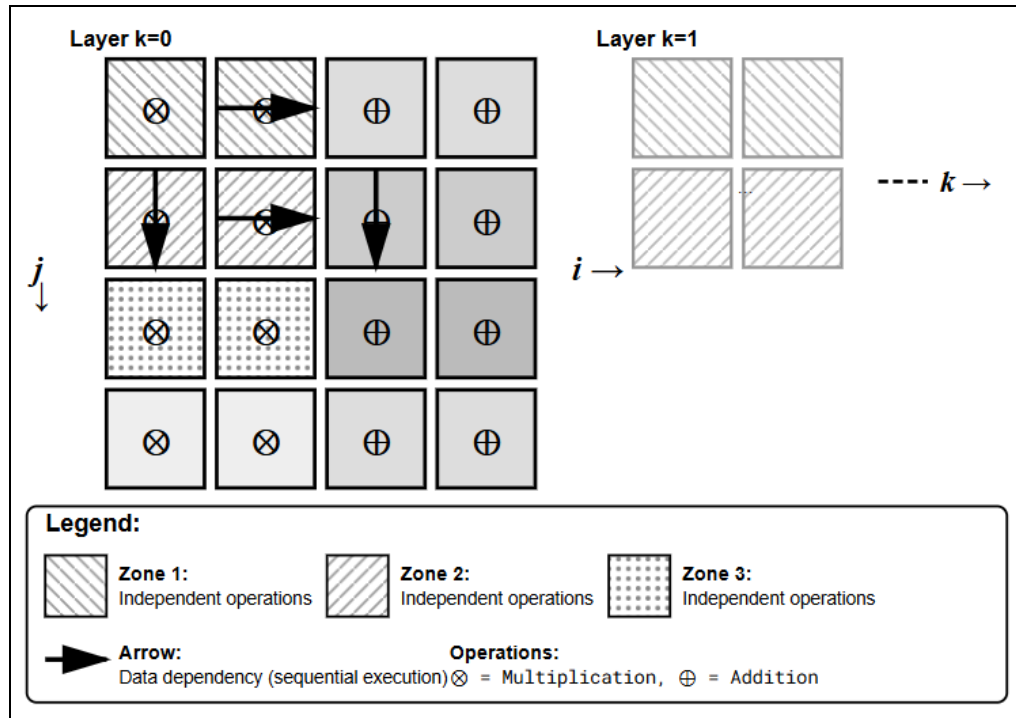


Figure 2 – Polyhedral Representation of NTT

In the polyhedral model, each operation is represented as a point in a multidimensional space (a «polyhedron»), where dependencies between iterations are analyzed geometrically [5].

This allows the compiler or the developer to automatically derive an optimized iteration schedule – in this case, minimizing redundant modular multiplications and improving cache coherence.

As a result, cryptographic transformations such as NTT can achieve significant acceleration, particularly when executed on multicore or GPU architectures.

Experimental and research perspective.

The developed system serves primarily as an experimental platform for testing optimization methods in post-quantum cryptography.

It provides:

- tools for measuring the performance of Kyber operations with and without polyhedral optimization;
- profiling at the instruction level;
- and comparison of different compiler-based transformation techniques (such as loop interchange, skewing, or tiling).

This experimental design allows researchers to visualize how algorithmic parallelism translates into practical performance gains on real hardware.

Conclusion.

The presented system demonstrates the feasibility of combining low-level programming, post-quantum cryptography, and polyhedral optimization techniques into a unified data transmission framework.

While the current stage of the research is primarily experimental, the results can be extended toward practical implementations in embedded systems, secure IoT devices, or distributed computation networks.

Scientific novelty of this work lies in the application of the polyhedral optimization method to accelerate key cryptographic operations within a post-quantum algorithm, while maintaining the low-level control required for system-level security implementations.

Practical significance lies in the creation of a flexible experimental environment for further research and teaching purposes in the domain of secure data transmission and computational cryptography.

References:

1. A. Abdulrahman, V. Hwang, M. J. Kannwischer, and A. Sprenkels, «Faster Kyber and Dilithium on the Cortex-M4,» in Proc. Applied Cryptography and Network Security (ACNS 2022), Rome, Italy, June 2022, pp. 853-871.

2. T. Kamucheka, A. Nelson, D. Andrews, and M. Huang, «A Masked Pure-Hardware Implementation of Kyber Cryptographic Algorithm,» in Fourth PQC Standardization Conference, NIST, Nov. 2022, pp. 1-1.
3. M. Kumar, «Post-quantum cryptography algorithm's standardization and performance analysis,» Array, vol. 15, Art. 100242, Sep. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.array.2022.100242> (accessed: Nov. 01, 2025).
4. K. Kreuzer, «Verification of the $(1-\delta)$ -Correctness Proof of CRYSTALS-KYBER with Number Theoretic Transform,» in Proc. FAVPQC 2022: International Workshop on Formal Analysis and Verification of Post-Quantum Cryptographic Protocols, Madrid, Spain, Oct. 2022. URL: <https://eprint.iacr.org/2023/027> (accessed: Oct. 20, 2025).
5. W. Tan, Y. Lao, and K. K. Parhi, «KyberMat: Efficient Accelerator for Matrix-Vector Polynomial Multiplication in CRYSTALS-Kyber Scheme via NTT and Polyphase Decomposition,» arXiv preprint arXiv:2310.04618, Oct. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2310.04618> (accessed: Sep. 21, 2025).

UDC: 621.7; 658.5; 004.9

ORGANIZATION OF MACHINE-BUILDING PROCESSES

Mukay Zangar

Almaty Technological University, Kazakhstan)

The machine-building industry is a cornerstone of modern industrial development, providing essential equipment for automotive, aerospace, energy, and many other sectors. Efficient organization of production processes in this industry is critical to meet market demands, reduce production costs, and ensure product quality. This organization requires a comprehensive understanding of process flows, technological capabilities, workforce skills, and material logistics.

With increasing global competition and rapid technological advancements, machine-building enterprises must continuously optimize their processes. The shift towards digital manufacturing and automation presents both opportunities and challenges that require strategic planning and adaptation.

Methodology

Effective process organization starts with meticulous planning. This includes defining the sequence of production stages, estimating time and resource requirements, and establishing performance benchmarks. Process design must consider the complexity of components, required precision, and available technologies.

Optimal allocation of resources — including raw materials, equipment, and labor — is essential. This ensures maximum utilization and minimizes idle time. Enterprise Resource Planning (ERP) systems facilitate real-time tracking and management of resources across departments.

The integration of modern technologies such as Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM), and advanced CNC machines is fundamental. These technologies improve manufacturing accuracy, reduce lead times, and enable flexible production runs.

Quality control methods such as Total Quality Management (TQM), Six Sigma, and Statistical Process Control (SPC) are implemented to monitor and maintain product standards. Early detection of defects prevents costly rework and customer dissatisfaction.

Machine-building production consists of multiple stages including machining, heat treatment, assembly, and testing. Designing a smooth workflow minimizes bottlenecks and reduces cycle times. Techniques such as Value Stream Mapping (VSM) help visualize and optimize the flow of materials and information.

Production schedules must be dynamic to adapt to changing orders and supply conditions. Tools like Gantt charts, Critical Path Method (CPM), and Material Requirements Planning (MRP) assist in planning and coordinating activities efficiently.

Balancing inventory levels is critical. Excess inventory ties up capital, while shortages disrupt production. Just-in-Time (JIT) inventory systems reduce waste by synchronizing material deliveries with production schedules.

Lean manufacturing focuses on eliminating waste, improving process flow, and maximizing value. Methods such as 5S, Kaizen, and Kanban are widely applied in machine-building enterprises to enhance efficiency and responsiveness.

Automation through robotics, automated guided vehicles (AGVs), and programmable logic controllers (PLCs) significantly increases production speed and consistency. Automation reduces human error and labor costs but requires significant investment and skilled personnel.

Implementing lean and automated systems poses challenges including resistance to change, high initial costs, and the need for ongoing staff training. Successful implementation requires strong leadership and clear communication.

Consistent quality is achieved through rigorous inspection protocols, process standardization, and employee involvement. Certification to international standards such as ISO 9001 strengthens customer confidence.

The complexity of modern machine-building requires a highly skilled workforce. Continuous training programs in new technologies, safety standards, and quality management are essential to maintain competitiveness.

Capturing and sharing knowledge within the organization enhances innovation and process improvement. Systems for documenting best practices and lessons learned support ongoing development.

Effective coordination with suppliers and logistics providers ensures timely delivery of components and materials. Collaborative planning and real-time data sharing improve supply chain responsiveness.

Environmental concerns drive the adoption of sustainable practices, including energy-efficient processes, waste reduction, and the use of eco-friendly materials. Sustainable manufacturing improves corporate responsibility and can reduce costs.

The adoption of Industry 4.0 technologies—such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), digital twins, and big data analytics—enables real-time monitoring, predictive maintenance, and adaptive production systems.

Demand for customized products is increasing. Flexible manufacturing systems allow rapid reconfiguration to produce small batches economically.

Cloud computing and mobile technologies enable remote supervision and management of production lines, improving decision-making and reducing downtime.

Results and Discussion

The study showed that organizing machine-building processes with clear planning, resource management, and lean manufacturing improves efficiency and product quality.

Automation and modern technologies reduce errors and production time. Quality control lowers defects, but challenges in workforce training and supply chain remain. Industry 4.0 technologies offer new opportunities for flexibility and competitiveness.

Sustainable practices and flexible systems help meet market demands. Overall, effective organization is key to success in machine-building.

Table 1 - key Stages and Importance in the Organization of Machine-Building Processes

Process Stage	Key Activities	Responsible Department	Importance (%)	Notes
Planning and Resource Management	Production planning, resource allocation	Management and Engineering	25	Improves efficiency and product quality
Lean Manufacturing	Waste elimination, process optimization	Production Department	20	Reduces costs and improves flow
Automation and Technology	Use of CAD/CAM, robotics	Engineering and Production	20	Decreases errors and production time
Quality Control	Inspections, defect monitoring	Quality Assurance	15	Ensures product reliability
Workforce Training and Supply Chain	Staff development, supplier coordination	HR and Procurement	10	Addresses challenges and improves cooperation
Industry 4.0 Implementation	IoT, AI, predictive maintenance	IT and Production	5	Enhances flexibility and competitiveness
Sustainability Practices	Energy efficiency, waste reduction	Environmental Department	5	Supports eco-friendly production

Conclusion

The organization of machine-building processes is a complex, multidisciplinary task that requires balancing technological, human, and managerial factors. Incorporating lean manufacturing and automation increases productivity and quality. The future of machine-building lies in digital transformation, sustainable practices, and adaptive production systems that respond to evolving market demands. Continuous improvement and workforce development remain key to maintaining competitiveness in this dynamic industry.

References:

1. Groover, M. P. (2016). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 4th Edition. Pearson.
2. Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. 13th Edition. Pearson.

3. Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press.
4. Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2019). Operations Management. 9th Edition. Pearson.
5. Kusiak, A. (2018). Smart Manufacturing: The Revolution in Manufacturing. Wiley.
6. Panneerselvam, R. (2014). Production and Operations Management. 2nd Edition. PHI Learning Pvt. Ltd.
7. Liker, J. K. (2004). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill.
8. ISO 9001:2015. Quality Management Systems — Requirements. International Organization for Standardization.

СЕКЦІЯ 2

КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА

УДК 656.2.027

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ

Бєбко М.С.¹, Марленқұл Ализа²

¹*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

²*Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан*

У статті розглянуто сучасні інноваційні технології підвищення швидкості та безпеки залізничного руху. Проаналізовано напрями розвитку високошвидкісного залізничного транспорту, зокрема вдосконалення конструкцій рухомого складу, впровадження інтелектуальних систем керування рухом, модернізацію колійної інфраструктури та використання енергоефективних технологій. Окрему увагу приділено питанням цифровізації та автоматизації, які забезпечують моніторинг технічного стану поїздів і колій у режимі реального часу.

Зазначено, що інтеграція штучного інтелекту, систем автоматичного керування (ERTMS, АТО, АТР), а також технологій магнітної левітації є основою формування нового покоління залізничного транспорту. Зроблено висновок, що впровадження інновацій сприяє підвищенню швидкості перевезень, рівня безпеки та комфорту пасажирів, а також забезпечує сталий розвиток транспортної галузі в цілому.

Вступ. Сучасне залізничне сполучення є одним із найефективніших видів транспортних систем, що забезпечують масові перевезення пасажирів та вантажів на великі відстані. Однак розвиток економіки, зростання мобільності населення та вимоги до скорочення часу в дорозі зумовили необхідність підвищення швидкостей руху за одночасного забезпечення високого рівня безпеки.

Для вирішення цих завдань активно впроваджуються інноваційні технології, що охоплюють усі елементи залізничного комплексу від рухомого складу та колійної інфраструктури до систем керування рухом [1,2].

1. Інновації в конструкції та матеріалах рухомого складу. Одним з ключових напрямків підвищення швидкості є вдосконалення конструкції рухомого складу. Легкі композитні матеріали (вуглецеве волокно, алюмінієві сплави) дозволяють значно знизити масу вагонів, що зменшує навантаження на колію і знижує енергоспоживання [3].

Аеродинамічні форми кузова знижують опір повітря при швидкостях понад 300 км/год [4]. Активні системи стабілізації забезпечують стійкість складу на криволінійних ділянках, зменшуючи бічні коливання і ризик сходження з рейок.

Магнітна левітація (Maglev) – революційна технологія, що виключає контакт коліс з рейками, завдяки чому досягаються швидкості понад 500 км/год при мінімальному рівні шуму і вібрації [6].

2. Інтелектуальні системи управління рухом. Для безпечної експлуатації високошвидкісних поїздів необхідні точні та надійні системи управління. Цифрова система управління рухом ERTMS (European Rail Traffic Management System) – загальноєвропейський стандарт, що забезпечує автоматичну координацію поїздів, контроль дистанції та швидкості в режимі реального часу [1].

Системи автоматичного ведення поїзда (АТС, АТР, АТО) дозволяють знизити людський фактор, підвищити точність дотримання графіка та оперативність реагування на позаштатні ситуації [2].

Інтеграція технологій штучного інтелекту дозволяє аналізувати потоки даних з датчиків і прогнозувати потенційні ризики (наприклад, перегрів гальм, знос колісних пар, погодні загрози) [5].

3. Удосконалення колійної інфраструктури. Надійність і стійкість колії — основа безпечного швидкісного руху. Використання безстикової колії з пружними кріпленнями знижує вібрації і підвищує плавність ходу [3]. Застосування бетонних шпал і монолітних конструкцій баласту забезпечує стійкість при навантаженнях від високошвидкісних поїздів [4]. Системи діагностики стану колії на основі лазерного сканування та ультразвукових

сенсорів дозволяють виявляти дефекти ще до їх прояву. Розвиток цифрового двійника залізничної лінії дає можливість моделювати експлуатаційні сценарії та планувати ремонти без зупинки руху [5].

4. Інновації в енергетичному забезпеченні та екології. Сучасні тенденції спрямовані не тільки на підвищення швидкості, але і на зниження впливу на навколишнє середовище.

Впровадження гібридних і водневих поїздів знижує викиди вуглецю і рівень шуму.

Використання рекуперативного гальмування дозволяє повертати енергію в мережу, підвищуючи загальну енергоефективність системи [5].

Оптимізація маршрутів і швидкісних профілів за допомогою цифрових платформ скорочує час у дорозі і споживання енергії [4; 7].

5. Безпека та моніторинг. Зі збільшенням швидкості зростає ціна помилки, тому системи безпеки стають інтелектуальними і самодіагностуючими.

Автоматизовані комплекси моніторингу стану рухомого складу (наприклад, вимірювання вібрацій, температури осей, зносу гальмівних колодок) забезпечують постійний контроль [3].

Відеоспостереження та комп'ютерний зір застосовуються для виявлення перешкод на шляху та сторонніх об'єктів.

Кібербезпека — новий напрямок, пов'язаний із захистом цифрових систем управління від зовнішніх втручань та атак [5; 8].

Висновки. Інноваційні технології формують нове покоління залізничного транспорту — швидкісного, безпечного та екологічного. Їх впровадження дозволяє скоротити час перевезень, знизити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт пасажирів.

Головна тенденція — перехід від механічного управління до інтелектуально-цифрових систем, де всі елементи інфраструктури та рухомого складу об'єднані в єдину мережу, що функціонує в режимі реального часу.

Таким чином, інновації стають ключовим фактором сталого розвитку залізничного транспорту ХХІ століття [1; 2; 5].

Література:

1. European Union Agency for Railways. ERTMS — The European Rail Traffic Management System. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021.
2. UIC (International Union of Railways). High Speed Rail — Fast Track to Sustainable Mobility. Paris: UIC Publications, 2020.
3. Esveld, C. Modern Railway Track. 3rd ed. MRT-Productions, 2017.
4. Hay, W. W. Railroad Engineering. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2018.
5. Barker, T., and Hillmansen, S. “Energy Efficiency Technologies in Railways: An Overview.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 105, 2019, pp. 593–610.
6. Yong, K., & Yamashita, Y. “Maglev Systems and Their Future Development.” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 70, no. 5, 2021, pp. 4283–4296.
7. Головка, Л. В. Інноваційні технології в залізничному транспорті. Київ: НТУ, 2021.
8. Ткаченко, І. В., Кузьменко, О. М. “Цифровізація систем керування рухом поїздів на високошвидкісних магістралях.” *Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*, № 3 (71), 2022, с. 15–22.

УДК 007.52

СЕРЕДОВИЩА ВІРТУАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТІВ

Бекар Д.Р.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З. Гжицького, Львів*

В сучасній робототехніці все більше досліджень і розробок переходить у площину віртуального моделювання. Це пов'язано як із швидким розвитком обчислювальних технологій, так і з потребою безпечного та економічного тестування роботизованих систем. Віртуальні симуляційні середовища [1-4] дозволяють створювати цифрові копії реальних роботів, моделювати навколишнє середовище, динаміку руху, взаємодію з об'єктами, роботу сенсорів та систем комп'ютерного зору. Завдяки цьому інженери й дослідники можуть перевіряти алгоритми керування, навчати нейронні мережі, аналізувати ефективність систем без потреби у дорогому фізичному обладнанні.

Однією з головних переваг симуляційного підходу є можливість багаторазового повторення експериментів за однакових умов, що в реальному середовищі часто неможливо через вплив зовнішніх факторів. Крім того, у віртуальному просторі можна легко змінювати параметри моделі (вагу, швидкість, матеріали, геометрію, розташування сенсорів) і спостерігати, як це впливає на поведінку системи. Це дозволяє швидко проводити серії експериментів, оцінюючи роботу алгоритмів керування, систем зору чи навчальних моделей без ризику пошкодити обладнання.

Серед поширених систем для моделювання роботів слід виділити Gazebo, Webots, PyBullet та NVIDIA Isaac Sim. Кожне з цих середовищ має свої переваги та використовується в різних контекстах.

Gazebo - одне з найвідоміших середовищ, тісно пов'язане з ROS (Robot Operating System). Воно забезпечує реалістичну фізику, візуалізацію тривимірних моделей, моделювання сенсорів, камер, лідарів, ідеально

підходить для наукових досліджень і навчання. Gazebo дозволяє інтегрувати алгоритми керування, планування траєкторій, системи локалізації та комп'ютерного зору, забезпечуючи повноцінне тестування комплексних робототехнічних рішень.

Webots має зручний графічний інтерфейс і добре підходить для навчальних і дослідницьких проєктів. У ньому можна швидко створювати тривимірні сцени, визначати властивості матеріалів, програмувати поведінку роботів мовами Python, C++ або MATLAB. Перевагою Webots є вбудована підтримка багатьох популярних роботів і сенсорів, а також можливість збереження результатів симуляції для подальшого аналізу.

PyBullet - це легке середовище з відкритим кодом, яке дозволяє проводити фізично коректне моделювання руху тіл, роботів і взаємодії з об'єктами без складної установки. Його основна перевага — пряме використання в Python, що робить його особливо зручним для інтеграції з бібліотеками машинного навчання (TensorFlow, PyTorch). PyBullet дозволяє створювати прості симуляції прямо в середовищі Google Colab, що робить його ідеальним вибором для навчальних і дослідницьких робіт без наявності локальних потужних комп'ютерів.

NVIDIA Isaac Sim - це сучасне високопродуктивне середовище, побудоване на рушії Omniverse. Воно підтримує фотореалістичну графіку, складну фізику, синтетичне генерування даних для навчання моделей комп'ютерного зору. Isaac Sim орієнтований на використання GPU, тому забезпечує високу швидкість обчислень і можливість роботи зі складними моделями роботів у реальному часі. Це середовище все частіше використовується для навчання алгоритмів типу sim-to-real, коли модель, натренована у віртуальній симуляції, переноситься на реального робота.

Важливим аспектом є можливість інтеграції симуляцій із системами машинного навчання та штучного інтелекту. Завдяки відкритим бібліотекам Python, наприклад TensorFlow, PyTorch, OpenCV, можна створювати зв'язок між віртуальним середовищем і нейронними мережами, що навчаються. Це

дозволяє проводити експерименти зі сприйняттям, розпізнаванням об'єктів, маніпуляціями та автономним прийняттям рішень. Платформи на зразок Google Colab дають змогу запускати такі моделі без встановлення додаткового програмного забезпечення, використовуючи хмарні ресурси.

Таким чином, віртуальні симуляційні середовища стали важливим інструментом у розвитку сучасної робототехніки. Вони не лише забезпечують безпечне тестування алгоритмів, а й відкривають нові можливості для навчання, досліджень і розробок. Використання таких середовищ дозволяє студентам, викладачам і дослідникам працювати з робототехнічними системами навіть без фізичного доступу до обладнання, створюючи повноцінні віртуальні лабораторії. Це робить моделювання не лише ефективним засобом дослідження, а й ключовим етапом у підготовці майбутніх фахівців у сфері інтелектуальних робототехнічних систем.

Література:

1. Camargo C., Gonçalves J., Conde M. Á., Rodríguez-Sedano F. J., Costa P., García-Peñalvo F. J. Systematic Literature Review of Realistic Simulators Applied in Educational Robotics Context // *Sensors*. 2021, 21(12), 4031. [Он-лайн]. Доступно: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/12/4031>
2. Audonnet F. P., Hamilton A., Aragon-Camarasa G. A Systematic Comparison of Simulation Software for Robotic Arm Manipulation Using ROS2 // *arXiv preprint*, 2022. [Он-лайн]. Доступно: <https://arxiv.org/pdf/2204.06433>
3. Koenig N., Howard A. Design and Use Paradigms for Gazebo, an Open-Source Multi-Robot Simulator // *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Sendai, Japan, 2004, Vol. 3, pp. 2149-2154. [Он-лайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1109/IROS.2004.1389727>
4. Baumgärtner J., Hansjosten M., Schönhofen D., Fleischer J. PyBullet Industrial: A Process-Aware Robot Simulation // *Journal of Open Source Software*, 2023, 8 (85), 5174. [Он-лайн]. Доступно: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.05174>

УДК 629.5

АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТВОРЕННЯ ПІДЙОМНОЇ СИЛИ АПАРАТІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ

Гречуха М.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У статті представлено системний аналіз способів створення підйомної сили у апаратів на повітряній подушці (АПП). Розглянуто базові фізичні принципи, класифіковано основні конструктивні методи формування подушки (нагнітачі, периферійні струмені, спідниці різного типу, гібридні схеми). Зроблено порівняльний аналіз їх ефективності, масогабаритних характеристик, керованості і практичної застосовності. Особлива увага приділена сучасним тенденціям: інтелектуальному керуванню тиском подушки, електрифікації приводів, новим матеріалам «спідниць» і гібридним концептам, що об'єднують подушку з аеродинамічним підйомом.

Актуальність. Універсальність АПП робить їх затребуваними в завданнях, де традиційні судна, автомобілі або гусеничні машини неефективні: рятувальні операції, прибережна служба, робота у важкодоступних районах, льодові і болотисті умови [1].

Тенденції до зниження енергоспоживання і екологічної дії вимагають перегляду класичних схем підйомної сили - зменшення витоків повітря, оптимізації конструкції спідниці, застосування нових матеріалів і електроприводів. Розвиток систем автоматизованого управління і цифрових технологій (наприклад, моделі керування тиском в подушці, активне керування «спідницею») створює передумови для підвищення стійкості, безпеки і ефективності АПП.

З точки зору інженерних рішень, оптимізація системи підйому - це зниження маси машини, збільшення корисного навантаження, підвищення швидкості і маневреності, зниження зносу спідниці і традиційних компонентів.

Таким чином, дослідження способів створення підйомної сили для АПП актуально як в академічному, так і в практичному інженерно-транспортному плані.

Вступ. Апарати на повітряній подушці є спеціалізованими машинами, які завдяки подушці з повітря здатні переміщатися над різноманітними поверхнями: водою, льодом, снігом, болотистою місцевістю, рихлим ґрунтом, іноді твердою поверхнею. Їх особливість - мінімальний контакт з поверхнею, що знижує опір і розширює міжсередовищні можливості [3].

Ключовим технічним елементом АПП є система створення і утримання повітряної подушки під корпусом - тобто формування підйомної сили, що забезпечує «винесення» ваги машини і зменшення навантаження на поверхню. У сучасних умовах, із зростанням вимог до універсальності, енергоефективності, екологічності і автоматизації, питання оптимального створення підйомної сили набуває нового значення.

Мета цієї статті провести усебічний аналіз існуючих і перспективних методів створення підйомної сили у АПП, виявити їх переваги і обмеження.

Теоретична база формування підйомної сили. Засадничий механізм підйому АВП - створення надмірного тиску повітря в порожнині під корпусом відносно навколишнього атмосферного тиску, що дозволяє «підняти» машину над поверхнею. Простіше кажучи: тиск в подушці помножений на площу підстави має бути не менше ваги машини. При цьому повітря повинне безперервно подаватися в подушку, а витoki (між «спідницею» і поверхнею, через щілини) - мінімізовані.

Також важливий ефект мінімізації тертя: за рахунок повітряної подушки знижується контакт машини з поверхнею, особливо водною або льодом, що дає перевагу перед традиційним судном або транспортом [2].

Для забезпечення стійкості і керованості важливі такі характеристики, як: жорсткість подушки (відповідь на вертикальні обурення), розподіл тиску, динаміка зміни подушки при скачках поверхні або русі. Наприклад, дослідження показувало, що при хвиловому навантаженні АВП дуже чутлива

до глибини спідниці і динаміки течії під нею [4].

Також враховується аеродинамічна/гідродинамічна складова: в режимі руху іноді частина підйому може забезпечуватися ефектом крила або екрану (наприклад, WIG-ефект), що ускладнює аналіз, але відкриває додаткові шляхи підвищення ефективності [5].

Основні способи створення підйомної сили у АВП.

1. Нагнітачі повітря: відцентрові і осьові вентилятори (Lift fans).

Одним з найпоширеніших рішень є застосування одного або декількох вентиляторів (фанів), які нагнітають повітря під корпус АВП.

Відцентрові вентилятори часто застосовуються, коли потрібно значний перепад тиску при помірній швидкості потоку.

Осьові вентилятори застосовуються, коли потрібно великий масовий потік повітря (об'єм) з меншим перепадом.

Переваги: перевірена технологія, простота інтеграції, допустима керованість. Недоліки: великий об'єм повітря, великі витрати, значна потужність двигуна.

Наприклад, в статті за проектом АПП описано, що потрібно постійне подання повітря, що перевищує витрати знизу, і вентилятор повинен створювати достатню швидкість потоку для утримання подушки [6].

2. Периферійні канали і «momentum curtain»(струмінь по периметру). Замість (чи на додаток к) простому поданню повітря під корпус, використовується схема, де по краю платформи АПП створюється струмінь повітря, що рухається вниз і всередину, що формує «завісу» повітря (momentum curtain), обмежуючий витік подушки. Така конструкція зменшує втрату повітря і дозволяє підтримувати тиск з меншими витратами. Це рішення особливо актуально при м'яких «спідницях» і при необхідності переходу через нерівності поверхні [3].

Переваги: зниження витрат, стабільніша подушка, економія потужності. Недоліки: ускладнення конструкції, необхідність точного управління потоком, можливе зниження висоти підвісу.

3. «Спідниця» (Skirt systems) - гнучкі і жорсткі конструкції.

«Спідниця» - ключовий елемент утримання повітряної подушки.

Основні типи:

- гнучкі спідниці: мешкові, пальчикові(finger), комбіновані;
- жорсткі конструкції(рідше) або суміш жорстких і гнучких елементів;
- матеріал і геометрія спідниці впливають на знос, витоки повітря, стійкість і висоту ходу.

Наприклад, дослідження показало, що зміна геометрії спідниці може сильно вплинути на жорсткість по вертикалі (heave stiffness) і, відповідно, на поведінкою машини в хвилях [4].

Переваги гнучких спідниць: адаптація до нерівностей, менша маса, менші удари. Недоліки: знос, витоки, менше допустима висота підвісу.

4. Комбіновані схеми (розділення підйому і тяги). У великих АПП часто використовуються незалежні системи: одна для формування подушки (нагнітач), інша - для тяги (пропульсія). Це дозволяє оптимізувати кожну систему під своє завдання. Крім того, комбінуються різні схеми підйому: наприклад, частина підйому через подушку, частину – аеродинамічний (WIG-ефект) при русі. Такі гібридні системи дають потенціал для підвищення швидкості і ефективності, але вимагають ускладненого управління і конструкції [7].

5. Гібридні і перспективні рішення (наприклад, WIG-ефект + повітряна подушка). У деяких проектах розвивається концепт, де використовується ефект екрану (wing - in - ground, WIG) разом з повітряною подушкою для посадки/таксування або для часткового підйому. Це суміжна область, але корисно розглядати, оскільки інновації в АПП часто йдуть саме у бік комбінування [5].

Переваги: можливість збільшення швидкості і корисного навантаження, ефективне використання аеродинаміки. Недоліки: висота підвісу мала, перехідні режими складні, вимагає складної конструкції.

Висновки. Створення підйомної сили у апаратів на повітряній подушці

є ключовим технічним елементом, що впливає на масу, потужність, ефективність, стійкість і застосовність машини. Різноманітність методів - від простих схем вентиляторів до складних струминних і гібридних конструкцій дозволяє адаптувати АПП під різні завдання. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності, автоматизації і універсальності, інноваційні напрями - інтелектуальне керування, електрифікація, нові матеріали, гібридні концепції - є серйозним потенціалом зростання.

Для інженерів і дослідників важливо не лише знати класичні рішення, але і активно застосовувати сучасні методи оптимізації і керування, щоб проектувати машини нового покоління з високою продуктивністю, адаптивністю і екологічною відповідальністю.

Література:

1. Dickins D. F., "Arctic Patrol Hovercraft : An Initial Feasibility Study", ICETECH 2008. DOI: 10.5957/ИТЕТХ-2008-115.
2. Shakya, Kunal. "Fabrication & Analysis of Hovercraft." International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education, 2018.
3. Zhang, H.L. Ren, N. Liu, S. Li Research on the strength of air cushion vehicle. Author links open overlay panelH. International Congress (APCF/SIF-2014). 2014, Pages 178-182.
4. Amit Tiwari. To study and fabrication of air cushion vehicle. March 2015. International Journal of Research - Granthaalayah 3(3):70-84.
5. Tuan Le Dinh, Khoi Nguyen Nguyen Tran, Dung Tri Nguyen, Toan Huu Nguyen. Generality on air cushion vehicle design and applications. August 2009. Science and Technology Development Journal 12(14):12-20. DOI:10.32508/stdj.v12i14.2335.
6. Ranawat M. S., Rajpurohit M. S., Souda M., Joshi A., "Review Paper On Illustration Of Hovercraft", IJCRT, Vol.12, Issue 5, May 2024. Pp 724-730.
7. Dodda, Jhansi Reddy et al. "Various Developments in the Design of Hovercrafts: A Review." Conference paper. First Online: 03 April 2021. pp 519–528.

УДК 62-932:004.89

АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧЕМ

Гурко В.О., Аксьонова Л.А.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків*

Фронтальні навантажувачі є одними з найпоширеніших будівельних машин, що широко застосовуються для переміщення сипучих матеріалів у будівництві, комунальному господарстві та складських операціях. Ефективність їх роботи визначається якістю виконання робочого циклу, основною частиною якого є процес наповнення ковша матеріалом. Саме на цьому етапі виникають найбільші енергетичні витрати та суттєві змінні навантаження на робоче обладнання, що ускладнює автоматизацію.

Одним із перспективних шляхів підвищення продуктивності, економічності та зменшення навантаження на оператора є створення систем автоматичного керування робочим процесом навантажувача. Проте реалізація такої системи пов'язана зі значними труднощами: властивості ґрунту або іншого матеріалу можуть змінюватися навіть у межах однієї захватної зони, а сили взаємодії ковша з матеріалом мають нелінійний і непередбачуваний характер. У таких умовах традиційні модельно-орієнтовані підходи часто є недостатньо ефективними. Тому актуальним є створення інтелектуальної системи керування, яка поєднує математичну модель руху робочого обладнання з адаптивними методами вибору керуючих дій.

Кінематику робочого обладнання навантажувача доцільно подати як дволанковий механізм із послідовним з'єднанням стріли та важеля ковша [1]:

$$x = f_1(\theta_1, \theta_2), y = f_2(\theta_1, \theta_2) \quad (1)$$

де θ_1 та θ_2 – узагальнені координати стріли та ковша.

Швидкість їхнього руху визначається через матрицю Якобі:

$$\mathbf{v} = \mathbf{J}(\boldsymbol{\theta})\dot{\boldsymbol{\theta}}, \quad (2)$$

що дозволяє перетворювати бажані швидкості на переміщення гідроциліндрів.

Динаміку робочого обладнання можна отримати методом Лагранжа другого роду та подати у відомому з робототехніки матричному вигляді:

$$\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}})\dot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{G}(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{Q}, \quad (3)$$

де $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})$ – матриця інерції, $\mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}})$ – матриця коріолісових і відцентрових сил, $\mathbf{G}(\boldsymbol{\theta})$ – вектор сил тяжіння, а $\mathbf{Q}$ – вектор узагальнених моментів, що створюються виконавчими гідроциліндрами.

В даній роботі пропонується архітектура інтелектуальної системи керування навантажувачем (рис. 1), яка поєднує математичну модель, класичні й інтелектуальні алгоритми, вимірювальні засоби та механізми безпеки в єдиний замкнений контур.

Робота системи керування починається з визначення стану навантажувача за допомогою вимірювального блоку – бортового вимірювального комплексу. Вимірюються кути стріли та ковша, їхні кутові швидкості, тиск у гідросистемі та швидкість руху навантажувача.

Результати вимірювань поступають до блоку оцінки стану. Цей блок відповідає не лише за збір даних від різних джерел, але й за їх синхронізацію, фільтрацію та узгодження. У результаті формується структурований опис стану:

$$\mathbf{s} = [\theta_1, \theta_2, \dot{x}, \dot{y}, \ddot{x}, \ddot{y}, p_{\text{гидр}}, F_{\text{оп}}, v], \quad (4)$$

який надходить до блоку прогнозування. Цей блок, використовуючи рівняння динаміки (2), оцінює наслідки можливих керуючих дій: очікувані прискорення ланок, навантаження на робоче обладнання, граничні значення тиску у гідроприводі, а також здатність ковша зберегти раціональний кут входження в матеріал. Це забезпечує проактивну поведінку системи, дозволяючи уникати небажаних режимів до їх фактичного виникнення.

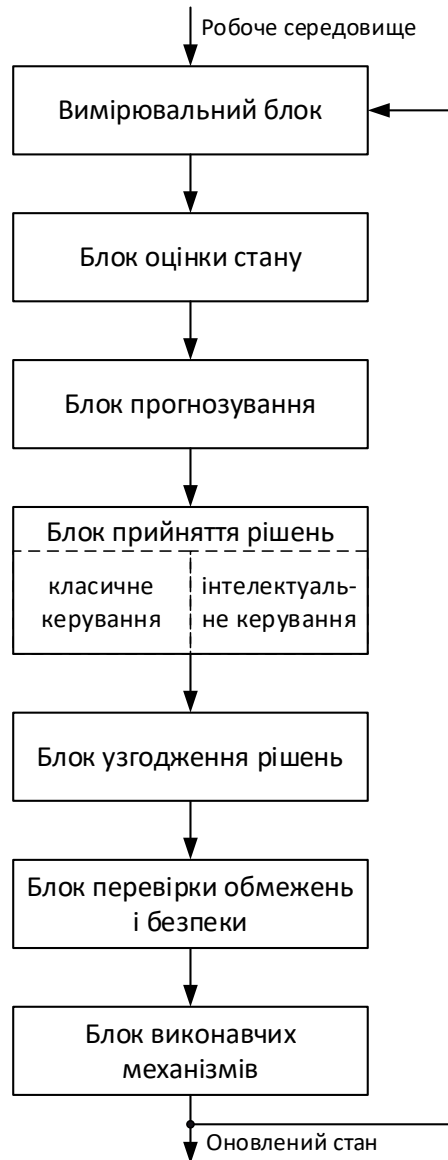


Рис. 1. Архітектура інтелектуальної системи керування навантажувачем

Подальше формування керуючих впливів виконує гібридна підсистема прийняття рішень, що складається з двох паралельних гілок. Гілка класичного керування реалізує наперед задані закономірності руху: підтримання заданої траєкторії ковша, керування кутом повороту ковша та швидкістю проникнення до палі. Вона гарантує стійкість та передбачуваність поведінки машини. Гілка інтелектуального керування працює як адаптивний агент [2], який, використовуючи сформовану під час попереднього навчання стратегію та поточний стан навантажувача і робочого середовища, здатний

аналізувати ефективність дій системи керування та адаптувати їх до змінних умов роботи навантажувача, які важко описати математичною моделлю.

Обидві гілки працюють одночасно, а вироблені ними керуючі впливи оцінюються блоком узгодження рішень, який поєднує стійкість класичного керування з гнучкістю адаптивних методів. Такий підхід відповідає сучасним принципам «shared autonomy» та «hybrid control», де прийняття рішень розподілене між детермінованим методом та адаптивним агентом.

Перед подачею команд на виконавчі механізми їх перевіряє блок контролю обмежень і безпеки. Вона враховує допустимі значення тисків, моментів, прискорень, а також відповідність керуючих впливів кінематичним та динамічним обмеженням. Якщо керуючий вплив від блоку керування може призвести до перевантаження обладнання чи відхилення від безпечного режиму, він коригується.

Наприкінці керуючий сигнал подається на виконавчі механізми: гідроциліндри стріли й ковша, а також на систему навігації, що регулює швидкість наближення навантажувача до забою. Рух машини призводить до зміни її стану, який знову вимірюється датчиками, утворюючи замкнений контур керування.

Література:

1. Гурко В.О. Кінематична модель робочого обладнання фронтального навантажувача. Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених, 22 листоп. 2023 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2023. – С. 16–20. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/17772>
2. Кириченко І. Г., Гурко В. О. Застосування машинного навчання в інтелектуальній системі керування ковшем навантажувача. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Вип. 108. 2025. С. 78-88. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.78>

УДК 623.4:681.5

**РОБОТОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РОЗМІНУВАННЯ
«DEMINEGUARD»**

Гурко О.Г., Білецька П.Є.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків*

ООН назвала Україну найбільш замінованою країною у світі. За вісім років війни площа забруднення вибухонебезпечними предметами перевищила територію Чехії чи Литви [1]. За даними Міноборони України, загальна площа забруднених мінами, снарядами територій складає 174 тис. км² [2]. Велика кількість вибухонебезпечних предметів робить роботу рятувальників-піротехніків більш небезпечною, за даними ДСНС 20% від загальної кількості загиблих рятувальників – це піротехніки [3]. Мирне населення не є виключенням, із-за необережності та недотримання певних правил безпеки багато людей щотижня гинуть від цього. Тому Україні терміново потрібні нові рішення та технології, які дозволять пришвидшити процес розмінування та зробити його більш ефективним.

Звідси, метою роботи є підвищення швидкості та ефективності розмінування великих територій України та інших країн за рахунок створення недорогого та ефективного робототехнічного комплексу для виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Об'єкт роботи – процес автоматизованого а дистанційного знаходження та знешкодження наземних протипіхотних та протитанкових мін. Предмет роботи – робототехнічний комплекс для розмінування території.

У сфері роботизованих систем для розмінування існує низка провідних компаній, що формують конкурентне середовище проєкту [4 – 7]. MineWolf Systems спеціалізується на важкій інженерній техніці та створює дистанційно керовані платформи, здатні працювати у складних польових умовах та очищати великі території. MineVision зосереджена на розробці високоточних

технологій виявлення мін, використовуючи комп'ютерний зір та алгоритми штучного інтелекту для максимально точної ідентифікації небезпечних об'єктів. Проєкт Mine Kafon пропонує доступні й екологічні рішення, включно з БПЛА та наземними платформами, роблячи процес розмінування дешевшим та швидшим. Компанія Anduril, хоча не спеціалізується безпосередньо на розмінуванні, створює передові автономні БПЛА та роботизовані оборонні системи, які можуть використовуватися для підтримки місій з безпеки та територіального контролю.

На підставі аналізу існуючих рішень зроблено висновок, що робототехнічний комплекс для розмінування повинен складатися з БПЛА та робототехнічної платформи. Сам комплекс керується людиною за допомогою пункту дистанційного керування. Окрім елементів керування пункт дистанційного керування має екран, на якому виводяться зображення з камер та координати БПЛА і робототехнічної платформи на карті. БПЛА виявляє вибухонебезпечні предмети, та передає команду робототехнічній платформі, яка безпосередньо розмінує або демонтує знайдену міну.

Проаналізувавши існуючі рішення щодо методів знаходження вибухонебезпечних предметів, зроблено висновок, що для виявлення вибухонебезпечних предметів на БПЛА слід оснастити тепловізійною камерою, яка буде мати можливість оберту на 180° за рахунок спеціально розробленого кріплення. Це дозволить забезпечити більший обхват території. Крім того, БПЛА повинен містити GPS- та радіо модулі для визначення координат та передачі інформації. Також БПЛА використовуватиме алгоритми машинного навчання для виявлення типу міни, знайденої тепловізором.

Як вже зазначалось раніше, роботизована платформа буде виконувати роль сапера. У якості рушія платформи обрано гусениці, як найкращий засіб для ефективного пересування по нерівних поверхнях. Для демонтажу мін було обрано маніпулятор. Маніпулятор складається з трьох частин. Перша це захоплювач, який може брати та пересувати предмети. Друга і третя – це

ланки маніпулятора, що забезпечують захоплювачу необхідне положення та орієнтацію. Рух ланок маніпулятора забезпечується сервоприводами.

На даному етапі дослідження розроблено діючий макет роботизованої платформи та комунікаційного пристрою, а також програмне забезпечення для них. Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованих рішень, тому вони можуть стати основою для розробки та промислового виготовлення відносно недорогих та ефективних робототехнічних систем для виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Література:

- 1) П'ять актуальних запитань (і відповідей) про розмінування в Україні | Chas.News. *chas.news*. URL: .
- 2) Як виявляють і знешкоджують міни - BBC News Україна. *BBC News Україна*. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/vert-fut-39698204>.
- 3) Протипіхотні міни: скільки жертв в Україні та світі. Слово і Діло. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/11/16/infografika/suspilstvo/protypixotni-miny-skilky-zhertv-ukrayini-ta-sviti>.
- 4) MineWolf Systems - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MineWolf_Systems
- 5) Digital mapping for the modern underground mine | Mine Vision Systems. *Digital mapping for the modern underground mine | Mine Vision Systems*. URL: <https://www.minevisionsystems.com/>
- 6) *Mine Kafon*. URL: <https://minekafon.org/> (date of access: 15.11.2025).
- 7) Anduril Industries. *Transforming US & allied military capabilities with advanced technology*. | *Anduril*. URL: <https://www.anduril.com/>

УДК 629.034.2

АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ АВТОГРЕЙДЕРІВ

Божко І.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У статті розглядається актуальність автоматизації автогрейдерів у дорожньо-будівельній сфері. Проаналізовано сучасний стан використання автогрейдерів, основні напрямки автоматизації, переваги та виклики впровадження автоматизованих систем. Розглянуто приклади сучасних технологій управління, таких як Trimble GCS900, Topcon 3D-MC, Leica iCON grade та Cat Grade Control. Висвітлено перспективи розвитку автономних систем, інтеграцію з цифровими моделями місцевості та інтелектуальними транспортними системами. Показано, що автоматизація дозволяє підвищити точність профілювання, зменшити витрати матеріалів, скоротити тривалість будівництва та знизити залежність від людського фактору, що робить її стратегічно важливою для розвитку сучасної дорожньої інфраструктури.

Вступ. Автоматизація дорожньо-будівельної техніки є ключовим етапом розвитку сучасної транспортної інфраструктури. Автогрейдери — основна техніка для планування, профілювання та вирівнювання дорожнього полотна — сьогодні потребують підвищеної точності та ефективності роботи. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити продуктивність праці, оптимізувати витрати матеріалів та скоротити терміни будівництва [1, 2].

1. Сучасний стан використання автогрейдерів. Автогрейдери традиційно експлуатуються з ручним керуванням, що потребує високої кваліфікації операторів.

Недоліки ручного керування:

- нерівномірне вирівнювання поверхні;
- перевитрата щебеню та асфальту;
- висока ймовірність помилок при складних рельєфах.

В сучасних умовах цифровізації будівництва активно впроваджуються системи автоматичного керування:

- GNSS-навігація (GPS, GLONASS, Galileo) для визначення точного положення ножа;
- лазерні та ультразвукові датчики для регулювання висоти та нахилу відвалу;
- системи машинного контролю (Machine Control) для інтеграції з цифровими моделями рельєфу [3, 4].

Популярні системи автоматизації наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Популярні системи автоматизації автогрейдерів

Виробник	Система	Опис
Trimble	GCS900	GNSS-контроль ножа, сумісність з 3D-моделями місцевості
Topcon	3D-MC	Автоматичне керування висотою та нахилом відвалу
Leica	iCON grade	Інтеграція з BIM, дистанційний моніторинг процесу
Caterpillar	Cat Grade Control	Підвищення точності до ± 10 мм, контроль продуктивності

2. Основні напрями автоматизації

Інформаційний рівень. Датчики положення, нахилу та швидкості збирають дані про роботу автогрейдера в реальному часі. Це дозволяє коригувати положення ножа з точністю до міліметра.

Керуючий рівень. Автоматичне регулювання положення ножа за цифровими моделями рельєфу з урахуванням нахилу та швидкості.

Аналітичний рівень. Інтеграція з системами BIM та Machine Control дозволяє віддалено контролювати ефективність роботи, прогнозувати витрати матеріалів і оцінювати продуктивність [5, 6].

3. Переваги автоматизації автогрейдерів

- Точність профілювання ± 10 мм;
- Зменшення витрат матеріалів на 10–20 %;
- Скорочення тривалості будівництва до 30 %;

- Зниження навантаження на оператора, мінімізація людського фактору;
- Можливість роботи в складних умовах (ніч, пил, туман).

4. Проблеми та виклики

- Висока вартість обладнання та обслуговування;
- Необхідність підготовки операторів;
- Залежність від якості GNSS-сигналу;
- Обмежене впровадження на старому парку машин [7].

5. Перспективи розвитку

- Повністю автономні автогрейдері;
- Інтеграція в інтелектуальні транспортні системи (ITS);
- Використання LIDAR, машинного зору та штучного інтелекту для адаптивного керування [8, 9].

Ці технології забезпечать стабільну якість дорожнього покриття та оптимізацію ресурсів у будівництві.

Впровадження автоматизації автогрейдерів в Україні. В Україні впровадження автоматизованих автогрейдерів знаходиться на початковому етапі, однак спостерігається позитивна динаміка завдяки модернізації дорожньо-будівельного парку та цифровізації процесів.

Особливості та проблеми впровадження:

- Обмежений парк сучасної техніки. Більшість автогрейдерів на підприємствах — старого покоління, що потребує технічної модернізації.
- Вартість обладнання. Системи Trimble GCS900, Topcon 3D-MC або Leica iCON grade коштують від \$20 000 до \$50 000 за один автогрейдер, що суттєво для малих і середніх підприємств.
- Підготовка персоналу. Автоматизовані системи потребують навчання операторів, які раніше працювали виключно вручну.

Приклади впровадження:

- Державне підприємство «Укравтодор» у деяких регіонах застосовує автогрейдері з системами GNSS для вирівнювання дорожнього полотна на великих автошляхах [1].

- Приватні компанії, що займаються будівництвом автодоріг, тестують автоматизовані системи для скорочення часу будівництва та оптимізації витрат матеріалів.

Впровадження автоматизації в Україні розпочалося, але потребує комплексного підходу: модернізації техніки, навчання персоналу та фінансових інвестицій.

Порівняння з міжнародним досвідом. На міжнародному рівні автоматизація автогрейдерів має широкий спектр застосування, особливо в США, Європі та Японії.

Досвід провідних країн:

- США: багато компаній застосовують системи Trimble та Topcon на великих будівельних майданчиках. Застосування автоматизації дозволило скоротити витрати матеріалів на 15–20 % та підвищити точність профілювання до ± 10 мм.

- Європа: у Німеччині та Швеції використовують інтеграцію автогрейдерів із BIM-системами, що дозволяє віддалено моніторити роботу машин і контролювати якість поверхні.

- Японія: використання автономних систем з LIDAR та штучним інтелектом для будівництва автомагістралей, що забезпечує високий рівень безпеки та продуктивності.

Міжнародний досвід показує, що автоматизація автогрейдерів забезпечує економічну ефективність, точність робіт та безпеку, що є стратегічним орієнтиром для України.

Перспективи розвитку автоматизації автогрейдерів пов'язані з інтеграцією сучасних технологій:

1. автономні автогрейдери - машини, здатні виконувати профілювання без участі оператора, з високою точністю та безперервністю роботи;

2. інтеграція зі штучним інтелектом (AI) - системи з машинним зором та LIDAR здатні аналізувати рельєф і адаптувати положення ножа в режимі реального часу;

3. інтелектуальні транспортні системи (ITS) - можливість синхронізації з іншою дорожньо-будівельною технікою та віддаленого моніторингу за допомогою хмарних технологій;

4. економічна та екологічна ефективність - зменшення перевитрат матеріалів, скорочення часу будівництва та зниження викидів CO₂.

Розвиток автоматизації автогрейдерів сприятиме підвищенню продуктивності, якості та безпеки дорожніх робіт, відповідаючи сучасним світовим тенденціям цифровізації будівництва.

Висновки. Актуальність автоматизації автогрейдерів визначається потребою підвищення продуктивності, точності та безпеки дорожньо-будівельних робіт.

Впровадження автоматизованих систем є стратегічно важливим для розвитку транспортної інфраструктури України та відповідає світовим тенденціям цифровізації будівництва.

Література:

1. Бойко, В., Кравченко, С. Цифрові технології в дорожньому будівництві. Київ: Наукова думка, 2021.
2. Іваненко, П. Автоматизація дорожньо-будівельної техніки: сучасний стан. Львів: ЛНУ, 2020.
3. Trimble Inc. GCS900 Grade Control System. URL: <https://geospatial.trimble.com>
4. Topcon Positioning Systems. 3D-MC Machine Control Solutions. URL: <https://www.topconpositioning.com>.
5. Leica Geosystems. iCON grade for graders. URL: <https://leica-geosystems.com>.
6. Caterpillar Inc. Cat Grade Control Systems. URL: <https://www.cat.com>.
7. Caterpillar Inc. Cat Grade Control Systems. URL: <https://www.cat.com>.
8. Zhang, H., Li, Y. Autonomous Grader Systems: Trends and Applications. Journal of Construction Engineering, 2021.
9. Smith, J., Johnson, R. Machine Vision in Road Construction. International Journal of Civil Engineering, 2020.

УДК 004.93

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗГОРТАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ
БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО БАЧЕННЯ
AMANITA**

Герасименко Р.Ю., Мамчич О.О.

Науковий керівник – проф. Саваневич В.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

Сучасні багатокомпонентні системи комп'ютерного бачення складаються з кількох вузлів з різними апаратними характеристиками, операційними системами та мережевими ролями. У таких комплексах одночасно задіяні високопродуктивні обчислювальні вузли для обробки відеопотоків, вузли зберігання даних, мережеві шлюзи, а також допоміжна інфраструктура моніторингу. Ручне розгортання подібних систем супроводжується значними витратами часу, високим ризиком людських помилок, складністю відтворення однакових умов для експериментів, а також проблемами масштабування при додаванні нових вузлів. Ці недоліки особливо критичні для комплексів реального часу, до яких належить багатоканальна оптична система Amanita [3], призначена для паралельної роботи з десятками відеоканалів та подальшої інтелектуальної обробки.

Об'єктом дослідження є процес розгортання і супроводу програмно-апаратних комплексів комп'ютерного бачення з розподіленою архітектурою. Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації розгортання й моніторингу компонентів системи Amanita з використанням підходів DevOps та "інфраструктура як код". У роботі розглядаються типові проблеми, що виникають при ручній інсталяції: неузгоджені версії програмного забезпечення на різних вузлах, помилки в конфігураційних файлах, різні варіанти налаштування сервісів, відсутність єдиного журналу подій та прозорої картини стану системи для інженера і спостерігача.

Метою дослідження є автоматизація процесів розгортання та моніторингу програмно-апаратних компонентів систем комп'ютерного бачення на прикладі Amanita із використанням сучасних DevOps-практик та підходів “інфраструктура як код” [1; 2]. Для досягнення цієї мети проаналізовано існуючі рішення в галузі автоматизації розподілених систем, обґрунтовано вибір інструментів на базі Linux, Vagrant, Docker та засобів керування конфігураціями, визначено вимоги до архітектури Amanita як комплексу комп'ютерного бачення, сформовано набір функціональних і нефункціональних вимог до системи автоматизації. Вимоги враховують потреби як інженера, що відповідає за розгортання та обслуговування, так і спостерігача, який працює з уже налаштованою системою та контролює результати спостереження.

Запропонована архітектура системи автоматизації включає три основні компоненти: модуль підготовки конфігурацій (Configurator), модуль інсталяції (Installer) та компонент контролю виконання і моніторингу (Overseer). Конфігураційні дані описуються декларативно у форматі YAML з використанням файлів config.yaml, defaults.yaml, vars.yaml, з яких формується інтегральний файл index.json. Така схема дозволяє інженеру описати цільову інфраструктуру у вигляді набору ролей, вузлів та їхніх параметрів, не вдаючись до низькорівневих деталей командного рядка для кожного кроку інсталяції. Модуль Configurator відповідає за валідацію вхідних даних, перевірку унікальності імен вузлів, коректність IP-адрес та цілісність структури конфігурації, що зменшує ймовірність помилок ще до старту розгортання.

Модуль Installer використовує сформований index.json як єдине джерело істини про цільове середовище. На основі цього опису система автоматично виконує підготовку SSH-доступу до вузлів, перевіряє наявність ключів і правильність прав доступу, копіює необхідні бінарні файли та конфігурації, налаштовує служби, перезапускає сервіси і фіксує результати в централізованих журналах. Завдяки цьому інженер отримує повторювану

процедуру розгортання, яка не залежить від конкретної машини-оператора і може бути виконана як на локальній робочій станції, так і на виділеному сервері керування.

Компонент Overseer відповідає за збір і агрегацію журналів подій, станів сервісів та результатів окремих етапів розгортання. Централізовані журнали дозволяють інженеру та спостерігачу швидко виявляти вузли, де стався збій, аналізувати послідовність дій, що призвели до помилки, та оцінювати стабільність роботи комплексу в динаміці. Наявність єдиної точки спостереження за інфраструктурою спрощує як технічну діагностику, так і підготовку звітів для подальших експериментів та впровадження в промислових умовах.

Окрему увагу приділено підтримці віртуального тестового середовища на базі Vagrant і Docker, яке віддзеркалює структуру реального комплексу Amanita. Віртуальний стенд дозволяє розгортати спрощені або повні копії інфраструктури для тестування конфігурацій, відпрацювання сценаріїв розгортання та перевірки оновлень програмного забезпечення без ризику для основного стенда. Це дає змогу відлагоджувати конфігураційні файли, послідовність кроків інсталяції та логіку реагування на типові збої (недоступність вузлів, помилки в конфігураційних файлах, порушення цілісності артефактів) ще до того, як зміни будуть застосовані до реального комплексу Amanita.

Експериментальні дослідження включали порівняння часу розгортання системи Amanita у двох режимах: повністю ручна інсталяція та інсталяція з використанням розробленої системи автоматизації. Для кожного режиму оцінювались трудомісткість налаштувань, кількість допущених помилок, час відновлення працездатності після збоїв, а також відтворюваність конфігурацій при повторних розгортаннях. Результати показали, що застосування автоматизованого підходу дозволяє скоротити час початкового розгортання комплексу, зменшити кількість критичних помилок

конфігурування та забезпечити повторюваність налаштувань під час численних циклів експериментів.

Крім того, було досліджено можливість подальшого розширення системи автоматизації шляхом інтеграції з хмарними сервісами, системами централізованого моніторингу, а також засобами керування секретами та сховищами конфігурацій. Отримані результати свідчать, що обрана архітектура і принципи реалізації не прив'язані жорстко до конкретної реалізації Amanita і можуть бути адаптовані для інших багатокомпонентних систем комп'ютерного бачення, розподілених обчислювальних кластерів або тестових полігонів для досліджень у галузі технічного зору [4].

Практична цінність роботи полягає у створенні програмно-апаратної основи для швидкого, керованого і відтворюваного розгортання складних систем комп'ютерного бачення, що зменшує навантаження на інженера, підвищує надійність експериментів і спостережень, а також скорочує час виведення нових конфігурацій та алгоритмів в експлуатацію. Запропонований підхід дозволяє сформувати єдині стандарти конфігурації, журналювання та моніторингу для різних інстансів системи Amanita та схожих комплексів.

Література:

1. Morris K. Infrastructure as Code: Managing Servers in the Cloud. — O'Reilly Media, 2020. — 350 p.
2. Шевченко О.В., Котляров І.С. Технології DevOps у побудові програмно-апаратних комплексів керування. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2022. — 189 с.
3. Бойко В.М. Системи комп'ютерного бачення: основи побудови та алгоритми обробки зображень. — Харків: ХНУРЕ, 2021. — 248 с.
4. Pereira C., de Mello R., Rodrigues P. Lightweight Automation Frameworks for Distributed Systems Deployment // Journal of Systems Architecture, 2022. — Vol. 129. — P. 102–114.

УДК 625.7

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМИ МАШИНАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Гнатенко О.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Вступ. У сучасних умовах цифрової трансформації дорожньо-будівельної галузі автоматизація процесів керування дорожніми машинами набуває особливого значення. Точність виконання технологічних операцій, зменшення людського фактору та підвищення продуктивності є ключовими факторами ефективності дорожнього будівництва. Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку таких систем є використання супутникових навігаційних технологій (GNSS – Global Navigation Satellite Systems) [1].

GNSS-системи дають змогу в режимі реального часу визначати координати дорожньої машини з високою точністю та використовувати ці дані для автоматичного або напівавтоматичного керування робочими органами. Це особливо важливо для грейдерів, бульдозерів, асфальтоукладачів і катків, де потрібна точність у межах кількох сантиметрів [2].

Крім того, сучасні системи керування часто інтегрують модулі телеметрії та дистанційного моніторингу, що дозволяє контролювати роботу машини та її стан у режимі реального часу з центрального офісу або мобільного пристрою. Це забезпечує своєчасне виявлення технічних несправностей, оптимізацію маршрутів та планування технічного обслуговування, підвищуючи загальну ефективність і безпеку дорожньо-будівельних робіт.

1. Структура системи керування дорожньою машиною з використанням GNSS. Система керування дорожньою машиною із супутниковою навігацією зазвичай складається з таких елементів [3]:

- GNSS-приймач – забезпечує визначення просторових координат машини.

- Контролер (ECU) – обробляє навігаційні дані та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

- Датчики положення та нахилу – здійснюють корекцію координат у реальному часі.

- Програмне забезпечення – аналізує цифрову модель місцевості, визначає відхилення та коригує рух машини.

GNSS-приймач отримує сигнали від декількох супутників (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou), після чого контролер обчислює координати точки та порівнює їх із проектними значеннями. У разі відхилення система автоматично регулює положення робочого органу (наприклад, ножа грейдера або відвала бульдозера).

2. Принцип роботи та режими позиціонування. Для забезпечення високої точності використовують режим RTK (Real Time Kinematic), який дає змогу досягати точності до 2 см завдяки диференціальній корекції від базової станції [4].

Іншим варіантом є PPP (Precise Point Positioning), що не потребує базової станції, але забезпечує трохи меншу точність.

У більшості систем позиціонування дані GNSS інтегруються з інерціальними системами (INS), які компенсують тимчасову втрату сигналу. Такий підхід підвищує стабільність і надійність роботи машин у складних умовах (тунелі, глибокі виїмки, міська забудова).

3. Переваги використання супутникових систем. Дослідження показують [2; 5], що застосування GNSS у керуванні дорожніми машинами забезпечує такі переваги:

- підвищення точності профілювання поверхні до ± 2 см;
- скорочення витрат пального на 10–15%;
- зниження витрат будівельних матеріалів;
- скорочення тривалості робіт на 20–30%;

- можливість роботи в умовах обмеженої видимості.

GNSS-технології також створюють умови для реалізації концепції інтелектуального будівництва (Smart Construction), де кожна одиниця техніки інтегрована у цифрову модель об'єкта [6].

4. Недоліки та обмеження застосування GNSS. Незважаючи на значні переваги, існують певні обмеження:

- залежність від стабільності супутникового сигналу;
- зниження точності при наявності перешкод (будівлі, мости, лісові насадження);
- висока вартість GNSS-комплектів;
- потреба у кваліфікованому персоналі для налаштування системи [7].

Для зменшення впливу цих факторів застосовують комбіновані системи, які поєднують супутникову навігацію з інерціальними датчиками, лазерними далекомірами або лідаром.

5. Приклади впровадження. Виробники дорожньої техніки активно впроваджують GNSS у свої продукти.

- Trimble Earthworks забезпечує автоматичне керування бульдозерами та екскаваторами з точністю до 2 см.
- Leica iCON дозволяє створювати цифрові моделі дорожнього полотна та контролювати процес у режимі реального часу.
- Topcon 3D-MC інтегрує GNSS і лазерні сенсори для точного формування профілю поверхні [3; 4].

Висновки. Використання супутникових навігаційних систем у керуванні дорожньо-будівельними машинами дозволяє досягти високої точності та продуктивності робіт.

Технологія GNSS сприяє зниженню матеріальних витрат і мінімізації людського фактору. Подальший розвиток систем пов'язаний з інтеграцією GNSS з інерціальними навігаційними системами, комп'ютерним зором та штучним інтелектом.

Застосування таких рішень є важливим кроком до створення повністю

автономних дорожньо-будівельних машин.

Література:

1. GNSS positioning in construction machinery // *Trimble Technical White Paper*. – Sunnyvale, USA: Trimble Inc., 2022. – 18 p.
2. Слюсар, В.І. Автоматизовані системи керування будівельною технікою на основі супутникової навігації // *Науково-технічний журнал «Автоматизація та приладобудування»*. – 2021. – №3. – С. 45–52.
3. Leica Geosystems. Machine Control Solutions for Construction. – Official site: URL: <https://leica-geosystems.com>.
4. Topcon Positioning Systems. Intelligent Construction Technologies. – Official site: URL: <https://www.topconpositioning.com>.
5. Кривенко, О.М. Інтелектуальні транспортні системи та автоматизація дорожніх робіт // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2023. – №1(57). – С. 112–119.
6. Caterpillar Grade Control System with GNSS. – *Caterpillar Inc.*, 2020. – URL: https://www.cat.com/en_US/products.
7. ISO 17123-8:2018. Field procedures for GNSS measurements (Real-time kinematic). – International Organization for Standardization, 2018. – 36 p.

УДК 629.7:681.5

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА РЕЖИМАХ СТАБІЛІЗАЦІЇ БАРОМЕТРИЧНОЇ ВИСОТИ

Збризький В.В.

*Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, Харків*

У сучасній авіації ми спостерігаємо стрімкий розвиток авіаційних технологій, спрямований на підвищення безпеки, економічної ефективності та автоматизації польотів. Одним з ключових завдань траєкторного керування є стабілізація барометричної висоти польоту. Цей режим є особливо критичним під час крейсерського польоту на ешелонах у складних метеоумовах, де точне витримування висоти забезпечує дотримання диспетчерських інтервалів, економію авіаційного палива, зменшення навантаження на екіпаж, забезпечення безпеки повітряного руху [1].

Проте, незважаючи на значний прогрес у галузі автоматизації, сучасні системи автоматичного керування (САК) все ще мають істотні обмеження. Традиційні підходи до забезпечення надійності через апаратне резервування призводять до збільшення маси, вартості та складності системи, не завжди забезпечуючи необхідне підвищення точності та надійності.

Отже, актуальним є пошук шляхів підвищення точності та надійності контуру стабілізації висоти без значного ускладнення системи. Одним із перспективних підходів є використання принципів функціональної стійкості, зокрема, інформаційної надмірності, що дозволяють системі адаптуватися до відмов та зовнішніх впливів [2].

Метою роботи є комплексне дослідження можливостей вдосконалення алгоритму автоматичного керування повітряним судном на режимах стабілізації барометричної висоти шляхом застосування методів функціональної стійкості з використанням інформаційної надмірності та

розробка на цій основі ефективного алгоритму керування.

Для досягнення такої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі САК висотою польоту на основі класичних законів керування (ПД, ізодромні зв'язки) [1];
2. Дослідити теоретичні основи функціонально стійких систем керування з акцентом на перерозподіл ресурсів при відмовах [3, 4];
3. Розробити структурну схему вдосконаленої САК висотою польоту, синтезувати алгоритм функціонально стійкого керування з використанням інформаційної надлишковості датчиків висоти, кута тангажа, нормального перевантаження;
4. Виконати математичне моделювання з урахуванням зовнішніх збурень та відмов датчиків [5].

У роботі використовувалися комплекс методів, що дозволив всебічно дослідити поставлену проблему:

1. Теоретичний аналіз існуючих систем. Проведений аналіз класичних законів керування САК висотою польоту, включаючи: пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори; системи з ізодромними зворотними зв'язками; алгоритми з використанням сигналів кута тангажа та нормального перевантаження.
2. Дослідження теорії функціонально стійких систем. На основі робіт [2, 3, 4] було вивчено принципи забезпечення функціональної стійкості, зокрема: можливість перерозподілу ресурсів при відмовах; критерії функціональної стійкості для складних систем; методи синтезу функціонально стійкого керування.
3. Математичне моделювання. Розроблено комплексну математичну модель, що включає: рівняння поздовжнього руху літака; моделі зовнішніх збурень (вітрові потоки, моментні збурення); моделі відмов датчиків інформації про висоту польоту; алгоритми оцінки стану системи.
4. Синтез алгоритмів керування. Запропоновано вдосконалені алгоритми, що поєднують: традиційні методи стабілізації висоти; методи функціональної

стійкості; інформаційну надлишковість про висоту польоту від різних датчиків.

Проведені дослідження дозволили отримати низку важливих результатів:

1. Аналіз існуючих систем САК висотою польоту показав, що традиційні системи мають значні статичні помилки при дії моментних збурень, вертикальних потоків повітря, а також при відмовах датчиків. Наприклад, похибка вимірювання висоти може досягати 10–50 м, що неприпустимо для сучасних авіаційних систем.

2. Запропоновано підвищити точність стабілізації висоти шляхом:

– використання інформаційної надмірності – інтеграції даних від барометричних датчиків, радіовисотомірів, GPS, інерціальних навігаційних систем.

– впровадження алгоритмів функціональної стійкості, що дозволяють перерозподіляти ресурси (інформаційні, обчислювальні) при виникненні відмов.

3. Розроблено структурну схему функціонально стійкої САК висотою польоту, яка включає:

Блок інформаційної надмірності: інтеграція даних від барометричних датчиків; використання радіовисотомірів для корекції; застосування GPS-навігації; використання інерціальних вимірювальних систем.

Блок оцінки стану та виявлення відмов: калманівський фільтр для оцінки стану системи; алгоритми порівняння поточного стану з еталонними образами; швидке виявлення та ідентифікація відмов.

Адаптивний блок керування: закон керування, що враховує поточну конфігурацію системи; можливість перерозподілу функцій між робочими каналами; автоматичне переналаштування параметрів керування.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованого підходу. Особливо варто відзначити наступні аспекти:

Переваги функціональної стійкості: запропонований підхід дозволяє уникати традиційного апаратного резервування, замінюючи його

інтелектуальним програмним забезпеченням, що зменшує масу, вартість та складність системи.

Гнучкість архітектури: розроблена система може бути адаптована для різних типів повітряних суден – від легких літаків до важких транспортних та військових літаків.

Перспективи впровадження: запропоновані рішення можуть бути реалізовані як у нових розробках, так і при модернізації існуючих авіаційних комплексів.

Література:

1. Синєглазов В.М., Філяшкін М.К. Автоматизовані системи управління повітряних суден: Підручник – К.: НАУ, 2013.
2. Сучасні проблеми розвитку теорії функціонально стійких складних систем управління / О.А. Машков, О.В. Самчишин // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009.
3. Машков О.А., Кононов О.А., Пекарев Д.В. Методи побудови функціонально стійких складних динамічних систем. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2017. № 3(38).
4. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Проблеми забезпечення функціональної стійкості комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.07>.
5. Brown, R. G., & Hwang, P. Y. C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with MATLAB Exercises. – John Wiley & Sons, 2012.

УДК 629.5

АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ АПАРАТУ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ

Іванов О.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У статті розглядаються складні системи керування рухом апарату на повітряній подушці, їх структура, принципи функціонування та сучасні методи стабілізації і навігації. Особлива увага приділяється інтеграції сенсорних систем (GPS, INS, LIDAR) та адаптивних алгоритмів керування, що дозволяють забезпечити стійкість руху апарата на різних типах поверхні [1, 2]. Проаналізовано проблеми нестійкості при впливі зовнішніх факторів, затримок у системах управління та похибок датчиків [3]. Розглядаються перспективи розвитку інтелектуальних систем керування, включаючи нейромережеві алгоритми, системи автономного планування маршруту та оптимізації енергоспоживання [4, 5]. Результати дослідження можуть бути застосовані у транспортній, рятувальній та військовій сферах для підвищення ефективності та безпеки апаратів на повітряній подушці.

Актуальність. Апарати на повітряній подушці мають унікальну здатність пересуватися по різних типах поверхні — вода, лід, болото, суша, що робить їх універсальними для рятувальних, транспортних, військових та дослідницьких задач. Однак управління таким апаратом є складним завданням, оскільки він характеризується:

- високою нестійкістю при впливі зовнішніх факторів (вітер, хвилі);
- underactuated-структурою (обмежена кількість керованих входів);
- потребою інтеграції сенсорних даних для точного позиціонування.

Зростаюча автоматизація та розвиток безпілотних технологій підвищують вимоги до точності, безпеки та автономності таких апаратів. Тому дослідження складних систем керування є надзвичайно актуальним [1, 3].

Вступ. Мета роботи — аналіз сучасних підходів до керування апаратом на повітряній подушці, визначення проблем і перспектив розвитку систем.

Основні складові апарату:

1. Силова установка — забезпечує рух вперед/назад та підйом;
2. Підйомна система — повітряна подушка, що підтримує апарат над поверхнею;
3. Рушійна система — вентилятори чи пропелери для маневрування;
4. Сенсорна система — GPS, INS, LIDAR, камери, гіроскопи;
5. Система керування — контролери, алгоритми стабілізації та маршрутизації.

Завдання системи керування: стабілізація апарату, слідкування за траєкторією, адаптація до змінних умов, координація роботи підсистем.

Особливості:

- нелінійність через зміни підйомної сили при нерівній поверхні;
- підвищена чутливість до зовнішніх впливів;
- застосування адаптивних контролерів для компенсації нестійкості.

Сенсорні системи.

Сучасні апарати використовують:

- GPS для глобального позиціонування;
- INS (інерційні навігаційні системи) для локальної стабілізації;
- LIDAR та камери для визначення висоти, перешкод і побудови карти середовища.

Інтеграція сенсорів (sensor fusion) дозволяє зменшити похибки та забезпечити точне керування. Дослідження показують, що поєднання GPS+INS+LIDAR забезпечує точність позиціонування до ± 5 см [4].

Актуючі механізми та системи керування.

Підйомний механізм: підтримує апарат над поверхнею через повітряну подушку.

Рушійний механізм: забезпечує рух вперед/назад та поворот.

Контролери:

1. PID-регулятори — класичний підхід для стабілізації;
2. Адаптивні контролери — підлаштовуються під змінні умови середовища;
3. Нейронні мережі та нечіткі алгоритми — для прогнозування та автономного керування [4, 5].

Проблематика.

Основні проблеми керування:

- Нестійкість при вітрі та хвилях;
- Затримки реакції систем керування;
- Похибки сенсорів (GPS дрейф, INS накопичення помилок);
- Обмеженість керованих входів (underactuation);
- Енергоспоживання та оптимізація тяги [5].

Роль сучасних технологій (AI, ML, sensor fusion) для керування

Сучасні технології суттєво підвищують ефективність та точність систем керування апаратом на повітряній подушці.

AI та машинне навчання (ML) - дозволяють прогнозувати динаміку руху та коригувати управління в реальному часі. Використовуються для адаптивної стабілізації при зміні умов: вітер, хвилі, нерівна поверхня.

Sensor fusion (об'єднання даних сенсорів) - комбінує дані GPS, INS, LIDAR та візуальні дані для точнішого визначення положення та швидкості. Зменшує похибки окремих сенсорів і компенсує дрейф INS або тимчасові втрати GPS. Часто застосовується Extended Kalman Filter (EKF) або Particle Filter для оцінки стану апарату [2].

Перспективи розвитку:

- інтелектуалізація керування: нейронні мережі для прогнозування стану;
- автономні системи: безпілотні апарати для складних середовищ;
- оптимізація енергоспоживання: адаптивне регулювання тяги;
- кооперативні системи: управління групою апаратів (formation control) [6];

• сенсорні системи нового покоління: інтеграція GPS+INS+LIDAR+камера.

Автономні системи: координація кількох апаратів (multi-hovercraft coordination, formation control).

Розвиток автономних систем дозволяє кільком hovercraft працювати в координації, утворюючи групи (formation control).

Застосування: рятувальні операції на водоймах, перевезення вантажів, науково-дослідні місії.

Контролери використовують розподілені алгоритми прогнозування руху сусідніх апаратів та адаптивне перерозподілення тяги для збереження формації [3].

Нейромережеві підходи для прогнозування траєкторії.

AI-моделі прогнозують зміну курсу та швидкості залежно від зовнішніх умов (вітер, хвилі, перешкоди).

Дозволяють компенсувати збурення ще до того, як вони вплинуть на рух.

Використовуються рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM) для передбачення часових рядів руху [4].

Інтеграція з IoT та системами моніторингу.

Кожен апарат може бути підключений до хмарної платформи IoT, що дозволяє:

- відстежувати стан сенсорів та двигунів у реальному часі;
- аналізувати експлуатаційні дані для профілактичного обслуговування;
- координувати роботу кількох апаратів через мережу для колективного керування.

Застосування: «розумні» рятувальні системи, логістика, моніторинг екологічних зон.

Сучасні технології роблять системи керування hovercraft інтелектуальними, автономними та здатними до колективної роботи. AI, ML, sensor fusion, IoT та нейромережеві алгоритми дозволяють:

- підвищити точність навігації та стабільність руху;
- зменшити втручання людини;
- оптимізувати енергоспоживання;
- забезпечити взаємодію між кількома апаратами в реальному часі.

Висновки. Складні системи керування апаратом на повітряній подушці включають динамічне моделювання, сенсорне забезпечення, актуатори та алгоритмічне управління.

Основні проблеми — нестійкість, underactuation, сенсорні похибки та затримки — потребують адаптивних та інтелектуальних методів керування [1, 2, 4].

Перспективи розвитку: автономна робота, кооперація апаратів, енергоефективність, застосування у складних середовищах.

Практичне впровадження цих систем підвищує безпеку, точність та ефективність апаратів у різних сферах експлуатації.

Література:

1. H. Sira-Ramírez, C. Aguilar Ibáñez. On the Control of the Hovercraft System. *Dynamics and Control*, Vol. 10, 2000, pp. 151-163.
2. Designing a Sliding Mode Control System for a Hovercraft. *IJE*, 2022.
3. R. Liu et al. Modeling and experimental study of the cushion lift dynamics of a polar hovercraft. *ScienceDirect*, 2023.
4. R. Schwan et al. Identifying the non-linear dynamics of a hovercraft using an end-to-end deep learning approach. *arXiv*, 2024.
5. R. Yu et al. Speed Regulator-Based Path Following Control for an Underactuated Hovercraft Considering the Sideslip Phenomenon. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2025.
6. G. Stomberg et al. Cooperative distributed model predictive control for embedded systems: Experiments with hovercraft formations. *arXiv*, 2024.

УДК 621.337.1

ЗАДАЧІ, ЦІЛІ І КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЯ

Кіченко О.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Рішення задачі створення автоматичного пристрою для підтримки заданої траєкторії руху мобільного транспортного засобу (автомобілю) має своєю кінцевою ціллю глобальну реалізацію управління дорожнім рухом. Цей процес може здійснюватися як єдине ціле на рівні управління дорожнім рухом на мережі існуючих доріг, на окремій дорозі або окремій ділянці дороги і є складовою частиною управління функціонуванням автомобільно-дорожньої системи в цілому. У залежності від рівня управління можуть бути сформульовані конкретні задачі та способи управління.

Для заданої мережі доріг з обсягами вантажних і пасажирських перевезень, що змінюються в часу на кожному маршруті, необхідно визначити найбільше доцільний розподіл транспортних потоків по мережі автомобільних доріг у різноманітні сезони року, і тактику управління рухом на кожному маршруті, що забезпечують задані показники функціонування доріг.

На рівні управління дорожнім рухом задача управління в загальному вигляді може бути сформульована таким чином. При заданих характеристиках транспортного потоку, характеристиках апарату обслуговування (постійних і змінних параметрів дороги), процесу обслуговування (характеристик рівня утримання дороги й організацій руху) і ресурсах на ремонт і утримання дороги з обліком метеорологічних умов, заданих законами розподілу можливостей і залежностей стану доріг від метеорологічних умов, забезпечити необхідні показники функціонування дороги, визначені з умови забезпечення мінімуму наведених дорожньо-транспортних витрат на переміщення вантажів і пасажирів. Виходячи з

цього, розробляється стратегія і тактика управління дорожнім рухом для досягнення поставлених цілей.

Виконані дослідження і вивчення досвіду розробки, і впровадження систем організації й управління рухом на автомобільних дорогах дають підставу запропонувати класифікацію систем по складності розв'язуваних задач і зазначити найбільш доцільні галузі їхнього застосування (таблиця 1.1).

Запропонована класифікація дозволяє намічати можливі варіанти використання систем управління рухом у залежності від категорії доріг, рівня завантаження і т.д.

Найважливім етапом створення сучасних систем управління рухом є вибір і розробка технічних засобів управління, упорядкування проекту розміщення і прив'язки технічних засобів на об'єкті.

Впровадження сучасних технічних засобів може відбуватися вшир і всередину.

У першому випадку прості технічні засоби можуть застосовуватися на великому протязі доріг або на мережі доріг, створюючи складні лінійні або мережні системи управління.

В другому випадку на одній дорозі може відразу влаштовуватися повна система автоматизованого управління. Для створення системи автоматизованого управління функціонуванням дороги необхідно одним із перших етапів передбачити розробку і впровадження системи збору інформації про працездатність дороги і системи оцінювання стану дороги. Крім того, необхідно мати дані про матеріально - технічні ресурси, відпущені на утримання і ремонт доріг, і практичну можливість оперативного управління ними в процесі управління дороги.

Таблиця 1.1 - Класифікація систем управління

Складність системи	Вирішувані задачі	Галузі застосування
1	2	3
Найпростіші системи організації руху	Організація руху, орієнтування водіїв. Деякі обмеження швидкостей і маневрів	Дороги 4 і 5 категорії
Прості системи управління дорожнім рухом	Організація руху, подовжнє і поперечне управління ТП і режимами руху	Дороги 1-3 категорій при інтенсивності до 7 тис. авт. /добу
Складні лінійні системи управління огрядним рухом	Організація і диспетчерське управління дорожнім рухом. Оперативне управління аварійною дорожньою службою і службою зимового утримання	Дороги 1и 2 категорій при інтенсивності більш 7 тис. авт. /добу
Складні мережні системи управління дорожнім рухом	Управління рухом на мережі автомобільних доріг крупного транспортного вузла. Оперативне управління аварійною дорожньою службою і службою зимового утримання	Великі транспортні вузли з розвиненою мережею автомобільних доріг
Автоматизовані системи управління дорожнім рухом (АРДАМ)	Автоматизоване управління рухом на магістралі, управління в'їздами, організація реверсивного руху. Оперативне управління аварійною дорожньою службою і службою зимового утримання	Автомобільні дороги 1 категорії при інтенсивності руху більш 20 тис. авт. /добу

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Автоматизовані системи управління дорожнім рухом на мережі доріг (АСУД - СД)	Автоматизоване управління рухом на мережі автомобільних доріг великого транспортного вузла. Оперативне управління аварійною дорожньою	Великі транспортні вузли з розвиненої мережею автомобільних доріг при високій інтенсивності руху
Інформаційні управляючі системи на мережі автомобільних доріг із передачею управляючої	Рекомендації оптимального маршруту з обліком завантаження доріг, наявності заторів, ДТП і ін.	Великі транспортні вузли з розвиненої мережею автомобільних доріг при високій інтенсивності руху
Автоматичні системи ведення автомобілів по заданому маршруті	Автоматичне ведення автомобіля по маршруті без участі водія	Визначені, особливо завантажені ділянки доріг

Література:

1. Автономна система керування [Електронний ресурс]. *Велика українська енциклопедія*. URL: https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F (Дата звернення: 20.11.2025).
2. SAE Levels of Driving Automation: J 3016-2021 [Електронний ресурс]. *ANSI Blog*. URL: <https://blog.ansi.org/ansi/sae-levels-driving-automation-j-3016-2021/> (Дата звернення: 20.11.2025).
3. Study Real-world Effectiveness Model year 2015–2023 ADAS [Електронний ресурс]. *The MITRE Corporation*. URL: <https://www.mitre.org/sites/default/files/2025-01/PR-25-0114-Study-Real-world-Effectiveness-Model-year-2015%E2%80%932023-ADAS.pdf> (Дата звернення: 20.11.2025).

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДЕОВІДСТЕЖУВАННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТРИЛАНКОВИМ МАНІПУЛЯТОРОМ

Коваленко Д.О. Коваленко Ю.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Розвиток робототехнічних систем вимагає впровадження високоточних та адаптивних систем керування, зокрема для маніпуляторів з динамічними особливостями. Для підвищення точності позиціонування об'єктів дослідження є подальша розробка та практична реалізація інформаційної технології системи відеовідстеження, інтегрованої та замкнутою системою керування маніпулятором [1-2].

Метою роботи є за рахунок розробки структури інформаційної технології системи відеовідстеження для керування триланковим маніпулятором.

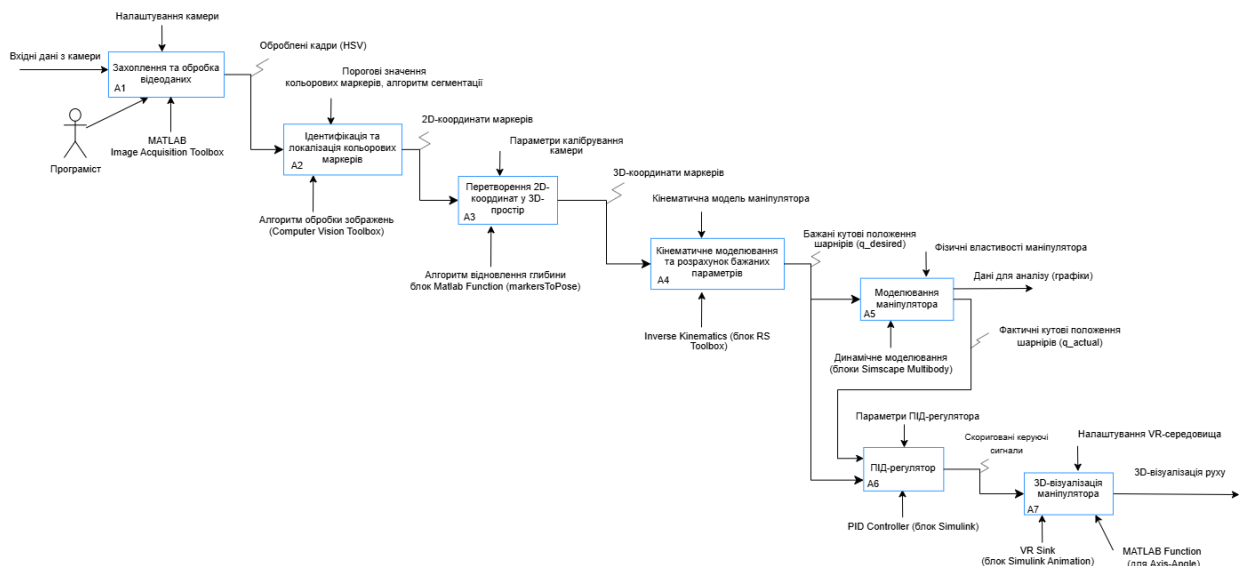


Рисунок 3.1 – Структура інформаційної технології системи відеовідстеження для керування триланковим маніпулятором

Розроблена інформаційна технологія побудована за принципом послідовної обробки даних у реальному часі, формуючи замкнутий цикл «відеовідстеження – аналіз даних – керування – візуалізація». Ця структура дозволяє перетворювати візуальні дані про положення об'єкта у точні команди керування.

Далі розглянемо поетапно структуру інформаційної технології [3-4].

На першому рівні структури відбувається захоплення відеопотоку з веб-камери та попередня обробка. Отримані кадри очищаються від шуму та перетворюються у колірний простір HSV. Це забезпечує підготовку візуальних даних для подальшої ідентифікації об'єктів [5].

Другий рівень відповідає за ідентифікацію та локалізацію. Основною системою є підхід відстеження за кольоровими маркерами, які наносяться на рухомі елементи маніпулятора. Виконується сегментація кадру та обчислення координат центрів (центроїдів) маркерів для отримання 2D-координат. Отримані 2D-виміри передаються для обробки за допомогою фільтру Калмана [5]. Він використовується для підвищення точності та стабільності відстеження в умовах шуму у реальному часі та застосування PID-регулятора, що забезпечило мінімізацію помилок відстеження бажаної траєкторії [6].

На третьому рівні відфільтровані 2D-координати перетворюються у

Розробка комп'ютерної моделі системи відеовідстеження була виконана в середовищі MATLAB, з використанням інструментів Image Acquisition Toolbox та Computer Vision Toolbox.

У статті розроблено та обґрунтовано структуру інформаційної технології для високоточного керування триланковим маніпулятором. Вона функціонує як замкнутий контур, що поєднує відеовідстеження, аналіз даних та формування керуючих впливів у реальному часі.

Запропоноване рішення використовує відстеження за кольоровими маркерами, а для забезпечення високої точності та стабільності в умовах шуму застосовує комбінацію фільтра Калмана та ПІД-регулятора. Це дозволяє мінімізувати помилки позиціонування та ефективно відтворювати

задану траєкторію руху. Працездатність структури підтверджено шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB. Розроблена технологія вирішує актуальну задачу підвищення точності динамічних робототехнічних систем.

Література:

1. Коваленко, Д. О. Інформаційна технологія системи відеоспостереження для відстеження об'єктів по заданих траєкторіях : дипломна робота бакалавра / Д. О. Коваленко ; Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2025. – 88 с.
2. Толкачова, М. Г. “Математичні моделі та методи визначення траєкторії руху об'єкта за відеозображенням.” Відкритий архів НТУ "ХПІ", 2020. Доступ: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/ab7f4a26-4cf7-4b19-b1e6-d24fc29f3563>.
3. Кононихін О.С., Малік Д.О., Моїсеєнко Р.С. Модель вибору бездротових датчиків для мережі дорожнього моніторингу// «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2025. № 10(51) . С.1644-1653.
4. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783
5. Kadam, P., Fang, G., Zou, J. J. Object Tracking Using Computer Vision: A Review [Електронний ресурс] // Computers. 2024. Т. 13, № 6. Ст. 136. URL: <https://doi.org/10.3390/computers13060136>.
6. Stoiber, M. Closing the Loop: 3D Object Tracking for Advanced Robotic Manipulation [Електронний ресурс] : дис. ... доктора філософії (PhD) / Manuel Stoiber. – Munich, 2023. – 172 с. – URL: <https://mediatum.ub.tum.de/1696259>. (дата звернення: 11.11.2025)

УДК 621.337.1

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДІАГНОСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Криветченко Ю.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Ефективність та надійність функціонування сонячних електростанцій (СЕС) безпосередньо залежать від безперервного контролю технічного стану їхнього електротехнічного обладнання. Незважаючи на початково високі розрахункові показники надійності, в процесі тривалої експлуатації під впливом зовнішніх факторів, кліматичних умов та режиму роботи початковий стан обладнання неминуче погіршується. Це зумовлює необхідність впровадження високоточних та автоматизованих діагностичних інструментів.

Світова тенденція вказує на перехід від періодичних інспекцій до комплексних автоматизованих систем моніторингу, які здатні підвищувати продуктивність. Наприклад, в Україні на великих об'єктах вже реалізовано унікальні цифрові системи, такі як OD.ISSAY, що дозволяють максимально автоматизувати процеси управління та аналізувати великі масиви даних, які надходять від різного обладнання. Запровадження таких систем на пілотних майданчиках, як Покровська СЕС, продемонструвало потенціал збільшення річної продуктивності до 4%. Ці системи включають автоматизовані безпілотні комплекси (дрони) з інфрачервоними камерами, що забезпечують візуальний огляд, фіксацію даних та їх передачу на хмарний портал. Це дозволяє підвищити точність діагностики обладнання до 91% та значно скоротити кількість помилкових виїздів персоналу, нівелюючи людський фактор.

Ключові проблеми, що вимагають постійної діагностики, включають деградаційні процеси, такі як потенційно індукована деградація (PID) та деградація, викликана світлом (LID), а також фізичні пошкодження.

Критично важливим є своєчасне виявлення поганих електричних з'єднань — ослаблення або окислення контактів, які можуть спричинити значні втрати енергії, локальний перегрів або навіть коротке замикання.⁴ Автоматизований моніторинг забезпечує роботу на запобігання аварійним ситуаціям, зменшуючи час простоїв та підтримуючи максимальний рівень прибутковості.

Швидке поширення фотоелектричних систем створює потребу в автоматизованих інструментах контролю їх працездатності. Локальні дефекти (відшарування, мікротріщини, термічні «гарячі точки», деградація Вурасс-діодів) призводять до зниження ККД та ризику пожежі. Мікропроцесорний аналізатор дозволяє проводити періодичну або безперервну діагностику секцій батареї з мінімальними витратами, підвищуючи надійність та термін служби системи.

Традиційний аудит сонячних електростанцій включає інженерний аналіз топології, візуальний огляд, контроль опору ізоляції та огляд ручним тепловізором.⁵ Хоча тепловізійний аналіз за допомогою дронів дозволяє швидко локалізувати аномалії (гарячі точки), він надає лише якісну оцінку проблеми.

Для отримання точних кількісних даних щодо фактичної втрати потужності та ідентифікації прихованих дефектів необхідне застосування більш високоточних методів. До них належать пошук невидимих дефектів (мікротріщин) методом електролюмінесценції (EL-test) та, найголовніше, вимірювання вольт-амперної характеристики (ВАХ, або IV-test) стрингів чи окремих модулів.⁵ ВАХ-трасування є референтною методикою, оскільки дозволяє кількісно порівняти виміряні характеристики з гарантійними умовами, що є основою для подальшої гарантійної заміни дефектних сонячних батарей.

Таким чином, у системах автоматизованого моніторингу існує критична потреба в інтеграції високоточного кількісного інструментарію. Тепловізійний аналіз пропонує швидку локалізацію, проте тільки ВАХ-

трасування дає відповідь на питання про реальний відсоток втрат потужності, пов'язаних із виявленою аномалією. Розробка мікропроцесорного аналізатора (МПА), спеціалізованого на високошвидкісному ВАХ-трасуванні та інтелектуальній обробці даних, є ключовим етапом для забезпечення точної та автоматизованої діагностики, яку можна інтегрувати у загальну цифрову систему управління СЕС.6

Завдання:

- сформулювати технічні вимоги згідно з національними стандартами;
- розробити апаратну архітектуру: блоки вимірювань, джерело збудження для I–V знімання, інтерфейси зв'язку;
- реалізувати алгоритми виявлення дефектів (аналітичні + евристичні/машинне навчання при потребі);
- провести модельні випробування та підготувати методику тестування;
- оформити висновки і рекомендації для серійного виробництва.

При проектуванні слід врахувати національні версії міжнародних стандартів, що регламентують випробування та безпеку PV-модулів, зокрема ДСТУ EN IEC 61215 (вимоги та процедури випробувань для наземних PV-модулів) та ДСТУ EN IEC 61730 (вимоги щодо безпеки). Ці документи визначають процедури кліматичних і механічних випробувань та критерії безпеки, які необхідно брати до уваги при формуванні методики тестування секцій.

Огляд сучасних методів діагностики показує два основні підходи:

- фізично-обґрунтовані (аналіз I–V кривих, теплові карти);
- дані-орієнтовані (моделі машинного навчання, аналіз часових рядів).

Останні огляди та публікації підкреслюють ефективність комбінованих рішень та важливість використання локальних вимірювань струму/напруги й температури для раннього виявлення дефектів.

Практичні реалізації мікропроцесорних систем для PV-застосувань широко застосовують сімейство STM32 – існують приклади застосунок-нотаток для реалізації цифрових MPPT та зняття характеристик, що

підтверджує придатність платформи для задач вимірювання та обробки даних в реальному часі (рис 1).

- 1) Вхідний блок вимірювань (дільники напруги, шунти або вимірювачі струму, АЦП з ізоляцією).
- 2) Блок збудження/електронного навантаження (шляхом силового MOSFET/IGBT або DC–DC перетворювача з керуванням).
- 3) Контролер (мікроконтролер STM32F4/STM32G4 або інший з достатньою кількістю АЦП та периферії).
- 4) Блок збирання температури (терморезистори, термопари) і датчик інсоляції (фотодіод або pyranometer для калібрування).
- 5) Модуль зв'язку і живлення.

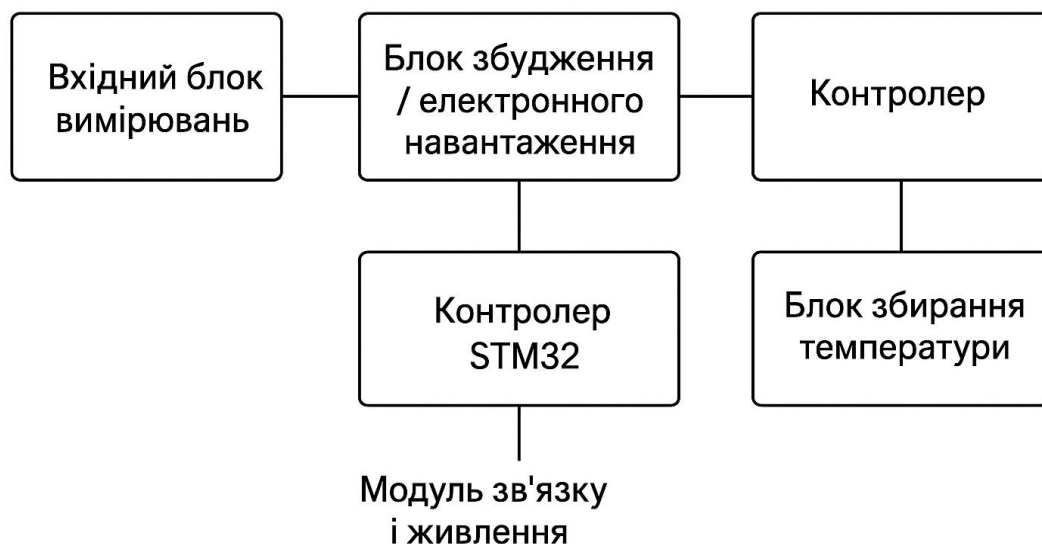


Рисунок 1 – Апаратна реалізація мікропроцесорного блоку

Висновки: Розробка мікропроцесорного аналізатора для автоматизованої діагностики секцій сонячних батарей є технічно здійсненою та економічно доцільною при дотриманні нормативних вимог. Поєднання аналітичних алгоритмів (I–V аналіз, термодіагностика) з опціональними методами машинного навчання підвищує точність і ранність виявлення дефектів. Рекомендовано подальшу реалізацію прототипу на базі сімейства STM32 з подальшою сертифікацією згідно ДСТУ EN IEC 61215/61730.

Однією з основних вимог до зняття ВАХ є стабільність зовнішніх умов (опромінення, температура). Чим швидше відбувається трасування, тим меншою є похибка, спричинена зміною сонячного потоку. Використання ємнісного методу забезпечує високу швидкість трасування (в межах мілісекунд), що дозволяє мінімізувати вплив нестабільного опромінення. Це, у свою чергу, диктує необхідність застосування надшвидкого АЦП з частотою дискретизації 100 kSps або вище для точного захоплення динамічного процесу заряду. Таким чином, ємнісне трасування забезпечує оптимальний компроміс між швидкістю, точністю та складністю польової реалізації.

Література:

1. Mellit, A., Benghane, M., Kalogirou, S., & Pavan, A. M. An embedded system for remote monitoring and fault diagnosis of photovoltaic arrays using machine learning and the internet of things. *Renewable Energy*. 2023. Т. 208. С. 399–408.
2. Діагностика фотоелектричних модулів та обладнання сонячних електростанцій / Інтернет – конференції ХНУМГ ім.О.М.Бекетова, 2025.
3. ДСТУ EN IEC 61215-1:2022 — Наземні фотоелектричні (PV) модулі. Атестація конструкції та схвалення типу. Частина 1. Вимоги до випробувань. (національний стандарт, наближений до IEC 61215). online.budstandart.com
4. ДСТУ EN IEC 61215-2:2022 — Наземні фотоелектричні (PV) модулі. Атестація конструкції та затвердження типу. Частина 2. Процедури випробувань. online.budstandart.com
5. ДСТУ EN IEC 61730-1:2018 / 61730-2:2018 — Оцінка безпеки фотоелектричних модулів. Вимоги до конструкції та процедури випробувань. online.budstandart.com+1
6. Liu Y., et al., Fault diagnosis of photovoltaic modules: A review, *Solar Energy*, 2025

7. STMicroelectronics, AN5324 — Using the STM32F334 microcontroller embedded high-resolution timer to implement a 1MHz LLC-topology digital MPPT solar converter (application note).

УДК 62-932:62.532

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

Кудінов Є.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У сучасних умовах цифровізації будівельної галузі та розвитку концепції «розумного будівництва» (Smart Construction) дуже актуальним стає високоточне просторово-часове позиціонування будівельно-дорожніх машин (БДМ). Точне визначення положення, орієнтації та траєкторії руху БДМ є передумовою автоматичного виконання технологічних процесів, що забезпечить зниження витрат, підвищення безпеки та якості виконання робіт. У зв'язку з цим спостерігається підвищений інтерес до методів локалізації, що ґрунтуються на використанні супутникових, інерціальних, радіочастотних та оптико-лазерних технологій. Серед найбільш поширених та перспективних підходів сьогодні виділяють три — GNSS-RTK (Real-Time Kinematic), UWB (Ultra-Wideband) та LiDAR-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), які забезпечують різний рівень точності, стійкості до завад та вимоги до інфраструктури. Саме їхнє порівняння дозволяє визначити оптимальні рішення для конкретних умов експлуатації будівельно-дорожніх машин.

Метод GNSS-RTK базується на використанні фазових вимірювань сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (GPS, Galileo, BeiDou) з урахуванням диференційних поправок у режимі реального часу. Завдяки цьому досягається сантиметрова точність позиціонування за умови стабільного прийому сигналів та короткої базової лінії між приймачем і референтною станцією. Такий підхід широко застосовується у дорожньому та інженерному будівництві, де забезпечує надійну глобальну прив'язку БДМ до координатної системи об'єкта. Водночас варто підкреслити, що точність GNSS-RTK значною мірою залежить від видимості супутників, атмосферних умов і мультипасових ефектів, які часто мають місце поблизу мостів, будівель

чи при роботі в глибоких виїмках. Таким чином, GNSS-RTK демонструє найкращі результати у відкритому просторі, але зазнає обмежень у складних радіогеометричних умовах [1].

На відміну від цього, технологія UWB ґрунтується на передачі коротких імпульсів у надширокому частотному діапазоні (3,1–10,6 ГГц), що дозволяє точно вимірювати час проходження сигналу між приймачем і передавачем. Технологія забезпечує високу (до сотень Гц) частоту оновлення даних, низьку затримку передачі й відносну нечутливість до відбиттів сигналів, що робить її особливо ефективною в обмежених просторах, наприклад у кар'єрах, тунелях або на закритих будівельних майданчиках. UWB-технологія забезпечує точність на рівні 5–10 см навіть у складному радіочастотному середовищі. Проте її застосування потребує розгортання інфраструктури анкерних вузлів, які утворюють опорну координатну сітку. Це створює додаткові вимоги до монтажу, калібрування та синхронізації системи, особливо при переміщенні техніки на великі відстані. Незважаючи на це, UWB вирізняється високою стабільністю, стійкістю до погодних умов і можливістю точного вимірювання взаємних відстаней між машинами, що є важливим для кооперативних сценаріїв будівництва [2, 3].

Ще одним підходом до локалізації БДМ є метод LiDAR-SLAM, який поєднує лазерне сканування з алгоритмами одночасної локалізації та побудови тривимірної карти середовища. У цій технології LiDAR-датчик генерує тривимірну хмару точок, що описує навколишнє середовище, тоді як алгоритм SLAM оцінює положення машини на основі взаємного вирівнювання послідовних сканів. Такий підхід забезпечує автономну локалізацію навіть у відсутності супутникового сигналу, що робить його незамінним для робіт у тунелях, під мостами або в міських умовах. Разом із тим, метод LiDAR-SLAM вимагає значних обчислювальних ресурсів і складного калібрування датчиків. Крім того, точність результатів може знижуватися через пил, туман або вібрації, які спотворюють лазерне відображення. У середньому, точність локалізації за допомогою LiDAR-

SLAM становить 2–5 см, що дозволяє ефективно використовувати його для фінішного позиціонування або уточнення траєкторій [4].

Таким чином, кожен із розглянутих методів має свої фізичні, технічні та алгоритмічні обмеження (таблиця 1). GNSS-RTK переважає у глобальній прив'язці та високій метрологічній точності, але потребує безперервного прийому сигналів. UWB характеризується високою частотою оновлення даних і стабільністю в локальних просторах, проте обмежена радіусом дії анкерів. LiDAR-SLAM забезпечує автономність і незалежність від зовнішніх джерел сигналу, але вимагає високих обчислювальних потужностей. Таким чином, вибір конкретного методу має ґрунтуватися на умовах експлуатації, структурі будівельного майданчика, вимогах до точності та доступності інфраструктури.

Таблиця 1 – Порівняння методів локалізації БДМ

Критерій	GNSS-RTK	UWB	LiDAR-SLAM
Середня точність	1–3 см (у відкритому просторі)	5–10 см	2–5 см
Стійкість до перешкод	Низька (залежить від супутників)	Висока	Середня (залежить від середовища)
Частота оновлення	1–20 Гц	до 100 Гц	10–20 Гц
Залежність від інфраструктури	Потрібна базова станція	Потрібні якорі	Не потребує
Вартість системи	Висока (GNSS-обладнання)	Середня	Висока (LiDAR-модуль)
Придатність для важкої техніки	Висока на відкритій місцевості	Висока у закритих зонах	Висока при наявності карти
Типові сценарії застосування	Дороги, відкриті майданчики	Закриті території, склади	Складні умови, автономія

Результати використання за останні роки демонструють, що найбільш ефективним підходом для позиціонування БДМ є інтеграція декількох технологій у межах єдиної системи (Sensor Fusion). Наприклад, GNSS-RTK може забезпечувати глобальну прив'язку координат, UWB – підтримку високої частоти локальних вимірювань, а LiDAR-SLAM – уточнення позиції

у складних умовах або при втраті супутникових сигналів. Застосування розширеного фільтра Калмана, фактор-графових оптимізаторів або адаптивних алгоритмів машинного навчання дозволяє об'єднати ці джерела даних в єдиний узгоджений простір, мінімізуючи похибки та компенсуючи недоліки окремих сенсорів.

З практичного погляду, гібридна система GNSS-RTK + UWB + LiDAR-SLAM здатна забезпечити стабільну точність позиціонування на рівні 2–3 см навіть у динамічних умовах [5]. Вона може адаптивно перемикатися між джерелами залежно від наявності сигналів, що особливо важливо для будівельних майданчиків зі змінними умовами рельєфу, перешкодами та металевими конструкціями. Такий підхід створює основу для побудови інтелектуальних навігаційних систем машинного керування, де локалізація виступає не лише як допоміжна функція, а як центральний елемент цифрового двійника будівельного процесу.

Отже, проведений порівняльний аналіз засвідчує, що кожен із методів локалізації має свою функціональну нішу: GNSS-RTK ефективний на відкритих просторах та трасових робіт, UWB краще підходить для використання у локальних зонах із обмеженою видимістю, LiDAR-SLAM – для автономного високоточного позиціонування у складному середовищі. Поєднання цих методів у межах адаптивної мультисенсорної системи дозволяє досягти найвищої ефективності позиціонування БДМ. Така система здатна працювати стабільно навіть за відсутності окремих сигналів і гарантувати безперервність керування БДМ в умовах реального часу.

Література:

1. Liu, J., Qin, F., Chi, C., Zhang, X., Zhang, Z., Sun, Y., & Zhan, X. (2025). Tightly coupled GNSS RTK-LiDAR-inertial system for consistent urban navigation. *Measurement*, 117671.
2. Chen, Z., Xu, A., Sui, X., Wang, C., Wang, S., Gao, J., & Shi, Z. (2022). Improved-UWB/LiDAR-SLAM Tightly Coupled Positioning System with

- NLOS Identification Using a LiDAR Point Cloud in GNSS-Denied Environments. Remote Sensing, 14(6), 1380.
<https://doi.org/10.3390/rs14061380>
3. Xu, N., Guan, M., & Wen, C. (2025). A survey on Ultra Wide Band based localization for mobile autonomous machines. Journal of Automation and Intelligence.
 4. Sier, H., Li, Q., Yu, X., Peña Queralta, J., Zou, Z., & Westerlund, T. (2023). A Benchmark for Multi-Modal LiDAR SLAM with Ground Truth in GNSS-Denied Environments. Remote Sensing, 15(13), 3314.
<https://doi.org/10.3390/rs15133314>
 5. Lee, D., Jung, M., Yang, W., & Kim, A. (2024). Lidar odometry survey: recent advancements and remaining challenges. Intelligent Service Robotics, 17(2), 95-118.

УДК 62-932:62.532

СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА

Гурко О.Г.¹, Кузьменко Д.О.¹, Амантаєв Бакжан²

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Харків

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки, вимірювальних засобів, систем навігації створив умови для автоматизації машин для земляних робіт (МЗР). Однією з найбільш розповсюджених МЗР у сучасному будівництві є одноківшевий екскаватор (ОЕ), який виконує широкий спектр робіт від риття траншей та котлованів до планування та навантаження матеріалів. Зі зростанням складності виконуваних операцій та підвищенням вимог щодо продуктивності та енергоефективності МЗР, автоматизація є важливим напрямком їх розвитку.

Слід відзначити, що на ринку вже представлені різні рішення щодо автоматизованого керування ОЕ, що ґрунтуються на використанні GNSS/RTK систем, лазерних та ультразвукових датчиків. Серед лідерів у виробництві таких систем є фірми Topcon, Leica та Trimble. Широке використання таких систем підтверджує необхідність розробки власних вітчизняних систем автоматизованого керування ОЕ.

Отже, об'єктом дослідження є процес керування робочим обладнанням ОЕ. Предмет дослідження – система керування робочим обладнанням ОЕ. Мета – підвищення продуктивності та якості виконання робочого процесу ОЕ за рахунок використання системи автоматичного керування рухом його робочого обладнання.

У якості об'єкта керування будемо розглядати ОЕ Борекс-2201, який представляє собою базовий трактор з маніпулятором екскаватора, що розташований позаду трактора [1].

Пропонується наступна структура автоматизованої системи керування робочим обладнанням ОЕ (рис. 1).

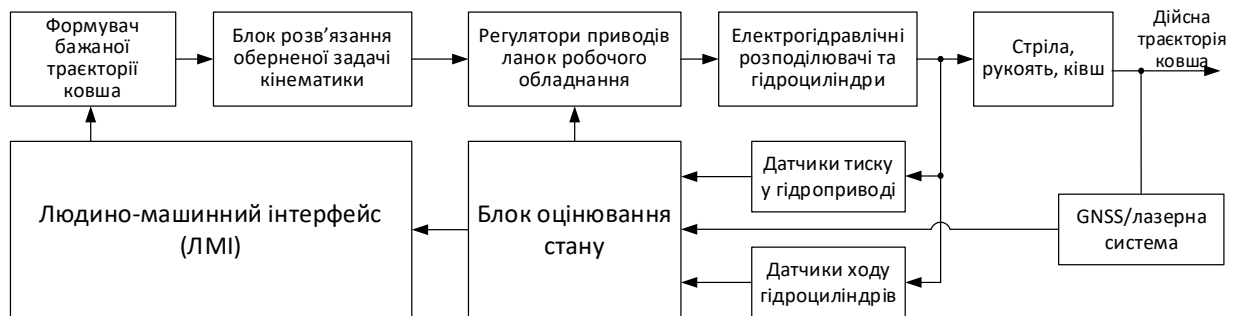


Рисунок 1 – Структура автоматизованої системи керування ОЕ

Система побудована за ієрархічним принципом і поєднує рівень оператора, рівень кінематичного керування маніпулятором та рівень гідроприводу. Верхнім рівнем системи керування є людино-машинний інтерфейс (ЛМІ). Через нього оператор задає режими роботи (ручний, напівавтоматичний або автоматичний), проєктні параметри споруди та, за необхідності, обирає або коригує траєкторію руху ковша. Крім того, за допомогою ЛМІ операторові надається інформація про поточний стан робочого обладнання ОЕ, відхилення від проєктної поверхні, попереджувальні та аварійні повідомлення тощо.

Завдання, сформульоване оператором, надходить до формувача бажаної траєкторії ковша. Цей блок перетворює дискретні входні параметри (кінцеві точки, глибину, ухил, допустимі обмеження) у безперервну або кусково-лінійну траєкторію руху зубів ковша у робочій площині. На виході формується послідовність бажаних положень та орієнтацій ковша у часі $[x_d(t), y_d(t), \varphi_d(t)]$, які відповідають раціональному способу копання.

Бажані координати ковша надходять до блоку розв'язання оберненої задачі кінематики. У цьому блоці на основі геометричних параметрів ОЕ та заданих значень $[x_d(t), y_d(t), \varphi_d(t)]$ обчислюються бажані кутові координати стріли, рукояті та ковша $[q_{cd}, q_{pd}, q_{kd}]$ які забезпечують проходження ковша по

заданій траєкторії. Таким чином, система переходить від завдання в декартовому просторі до координат у просторі робочого обладнання.

Отримані значення q_{id} передаються до регуляторів приводів ланок робочого обладнання. На цьому рівні здійснюється порівняння бажаних кутів q_{id} з поточними значеннями q_i , отриманими з датчиків положення гідроциліндрів, та формуються коригуючі сигнали керування, наприклад, за допомогою ПІД закону керування з урахуванням обмежень на швидкості та прискорення робочого обладнання [2].

Сигнали від регуляторів надходять до електрогідравлічних розподільників, а від них – на гідроциліндри, які безпосередньо керують рухом стріли, рукояті та ковша. Зміна витрати робочої рідини у відповідних порожнинах гідроциліндрів призводить до переміщення штоків і, відповідно, до повороту робочого обладнання в потрібному напрямку на потрібний кут. Таким чином реалізується реальний рух механізму «стріла – рукоять – ківш» та формується дійсна траєкторія ковша.

Під час роботи система отримує інформацію від кількох типів датчиків. Датчики ходу гідроциліндрів (або датчики кутів повороту) вимірюють фактичні положення ланок робочого обладнання. Датчики тиску у гідроприводі дозволяють оцінити навантаження на ківш і силу опору ґрунту. Додатково використовується GNSS або лазерна скануюча система, яка забезпечує вимірювання просторового положення ковша відносно проєктної поверхні та реперних точок будівельного майданчика [3].

Вся виміряна інформація надходить до блоку оцінювання стану, де виконується фільтрація сигналів, компенсація шумів датчиків, оцінювання реального положення та швидкості руху ланок, а також визначення відхилення ковша від заданої траєкторії та проєктних відміток. На основі цих даних блок оцінювання стану формує коригуючі впливи для регуляторів приводів (наприклад, зміну коефіцієнтів регуляторів, обмеження швидкості при зростанні навантаження тощо) та передає узагальнену інформацію до регуляторів приводів ланок та ЛМІ для відображення оператору.

Таким чином, система утворює замкнений контур керування: оператор задає параметри роботи через людино-машинний інтерфейс, формувач траєкторії та блок оберненої кінематики перетворюють це завдання в координати ланок, регулятори та гідропривід реалізують рух маніпулятора, а датчики разом із GNSS та лазерною системою забезпечують зворотні зв'язки, які використовуються для корекції роботи системи та інформування оператора.

Запропонована структура дозволяє підвищити якість виконання земляних робіт, а також продуктивність машини та її енергоефективність.

Література:

1. Yaryzhko A. Modeling a fluid power drive of the excavator equipment. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Т. 1. №. 92. С. 178-178.
2. Gurko A., Kyrychenko I., Yaryzhko A. Trajectories Planning and Simulation of a Backhoe Manipulator Movement. Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019). 2019. – P. 771-785. Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper61.pdf>
3. Єфименко О. В., Пługіна, Т. В., Єфименко А. О., Кулай В. П. Застосування GNSS-систем для автоматизованого керування робочими процесами грейдерів із штучним інтелектом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. Вип. 101. Т. 2. С. 129-136.

УДК 656.01

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

Лазарєв Б.А.¹, Әлмағанбетов Абилай²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

У статті розглянуто сучасні проблеми управління дорожнім рухом у містах із високим рівнем транспортного навантаження. Проаналізовано основні причини заторів, аварійності та неефективності традиційних методів регулювання руху. Висвітлено перспективи підвищення ефективності керування за рахунок впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), аналітики великих даних, пріоритету громадського транспорту та інформаційного забезпечення водіїв. Наведені очікувані результати та практичні рекомендації щодо оптимізації дорожніх потоків.

Вступ. У сучасних містах спостерігається постійне збільшення кількості транспортних засобів, що призводить до перевантаження дорожньої інфраструктури, заторів, підвищеної аварійності та негативного впливу на екологію [1, 2]. Традиційні методи керування дорожнім рухом, зокрема світлофори за фіксованими циклами та автономне регулювання перехресть, часто не забезпечують ефективного функціонування транспортної системи [3, 4].

У зв'язку з цим актуальними стають питання підвищення ефективності управління рухом, впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), автоматизації регулювання та використання сучасних інформаційних технологій. Ефективне управління дозволяє знизити час у дорозі, скоротити затори, підвищити безпеку та зменшити негативний вплив на довкілля [5, 6].

Метою даного дослідження є аналіз сучасних методів керування дорожнім рухом та визначення напрямків підвищення їх ефективності.

Актуальність теми. Ефективне управління дорожнім рухом є критично

важливим для сучасних міст із високим транспортним навантаженням [1, 2]. Недосконала система регулювання руху призводить до економічних збитків, втрати часу водіїв та зниження якості життя населення [3]. Сучасні тенденції включають впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), автоматизацію регулювання руху та використання аналітики даних для оптимізації потоків транспорту [4, 5].

Проблеми традиційного керування рухом.

1. **Обмеженість пропускної здатності доріг.** Традиційні методи регулювання (світлофори за фіксованим циклом) не забезпечують ефективного розподілу потоків [6].
2. **Затримки через неузгоджене регулювання перехресть.** Різні перехрестя працюють автономно, без синхронізації, що створює локальні «вузькі місця» [7].
3. **Високий рівень аварійності.** Недосконала система управління рухом і відсутність адаптивного регулювання призводять до ДТП на перехрестях та небезпечних ділянках [8].
4. **Вплив зовнішніх факторів.** Погодні умови, дорожні роботи або аварії значно знижують ефективність управління рухом у традиційний спосіб [9].

Напрямки підвищення ефективності.

1. Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

- Використання датчиків руху, камер та GPS для моніторингу потоків у реальному часі.
- Автоматичне регулювання світлофорів залежно від потоку транспортних засобів.
- Прогнозування заторів та автоматичне коригування маршрутів.

2. Аналіз та оптимізація дорожніх потоків

- Використання великих даних (Big Data) для виявлення пікових періодів та оптимізації сигналів світлофорів.
- Створення динамічних схем руху для окремих ділянок дороги.

3. Розвиток систем пріоритету для громадського транспорту

- Надання пріоритету автобусам і тролейбусам на світлофорах для скорочення часу поїздки.
- Зменшення заторів за рахунок ефективної роботи громадського транспорту.

4. Інтеграція інформаційних систем для водіїв

- Інформаційні табло про затори та оптимальні маршрути.
- Мобільні додатки з рекомендаціями щодо швидкості та маршрутів у реальному часі.

5. Підвищення безпеки дорожнього руху

- Використання систем раннього попередження про аварійні ситуації.
- Впровадження інтелектуальних систем контролю швидкості та порушень ПДР.

Очікувані результати впровадження:

- Зниження заторів залежно від масштабу ІТС.
- Скорочення часу поїздки та економія пального.
- Зменшення аварійності на перехрестях та магістралях.
- Підвищення якості обслуговування громадського транспорту.
- Екологічний ефект через зменшення викидів CO₂.

Висновки. Ефективне керування дорожнім рухом є ключовим фактором розвитку сучасних міст і впливає на безпеку, економіку та екологію. Традиційні методи регулювання руху, такі як фіксовані цикли світлофорів та автономні перехрестя, не забезпечують належної пропускної здатності та безпеки у великих містах. Використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) дозволяє адаптувати світлофори, прогнозувати затори, підвищувати ефективність громадського транспорту та зменшувати аварійність. Аналіз транспортних потоків та застосування Big Data допомагає прогнозувати пікові навантаження і оптимізувати маршрути, що призводить до скорочення часу поїздки та економії пального. Інформаційні системи для

водіїв (мобільні додатки, табло) підвищують інформованість учасників руху та сприяють зменшенню заторів.

Таким чином, для підвищення ефективності керування дорожнім рухом необхідно комплексно поєднувати модернізацію інфраструктури, впровадження ІТС, аналіз потоків, інтеграцію інформаційних систем та пріоритет громадського транспорту. Такий підхід дозволяє підвищити безпеку, скоротити затори, зменшити негативний вплив на екологію та покращити якість життя мешканців міст.

Література

1. Слюсаренко В. М. Управління транспортними потоками у містах. – Київ: Транспорт, 2020.
2. Кузнєцов А. А. Інтелектуальні транспортні системи: сучасний стан та перспективи. – Харків, 2019.
3. Ткаченко І. В. Економічні наслідки транспортних заторів. – Львів: ЛНУ, 2018.
4. International Transport Forum. Traffic Management Strategies. – OECD, 2021.
5. Zhang, Y., Intelligent Transportation Systems and Smart Cities. – Springer, 2020.
6. Левченко О. П. Світлофорне регулювання транспортного потоку. – Дніпро, 2017.
7. Хом'як В. С. Синхронізація перехресть у міських транспортних системах. – Київ, 2019.
8. Герасименко Н. Д. Аналіз аварійності на перехрестях. – Харків: ХНУ, 2018.
9. Wang, L. Adaptive Traffic Control under External Disruptions. – Transportation Research, 2020.
10. Chen, X. Smart Traffic Monitoring Systems. – IEEE, 2019.

УДК 004.89:620.9

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕМИКАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ В СИСТЕМАХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Гурко О.Г., Левчунь М.М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Зростання частки відновлюваної енергії, зокрема фотоелектричних систем, ускладнює процеси керування енергопостачанням та вимагає нових підходів до експлуатації енергетичних мереж. Важливою задачею в таких умовах є керування перемиканням споживача або мікромережі між локальними фотоелектричними системами та централізованою енергосистемою з урахуванням мінливості сонячного випромінювання, попиту, тарифів і технічних обмежень [1]. Основною особливістю фотоелектричних систем є непостійний характер генерації. Хмарність, зміни погоди та добові цикли спричиняють різкі коливання вихідної потужності. Дослідження показують, що протягом кількох хвилин потужність може зменшуватися на 50% і більше, що створює миттєві дисбаланси в енергомережі [2]. Тому виникає потреба в алгоритмах, здатних прогнозувати генерацію та адаптивно керувати перемиканням джерел живлення.

У традиційних підходах до автоматичного перемикання джерел, що застосовуються як у промислових системах автоматичного введення резервного живлення, так і у побутових інверторах, логіка таких перемикань формується на основі фіксованих значень параметрів генерації, споживання та стану накопичувачів енергії, що не відображає стохастичну природу процесів та веде до надмірної кількості комутацій, зносу елементів і втрат від небажаних режимів.

Аналіз сучасних досліджень дозволив виділити найбільш ефективні інструменти для вирішення задачі адаптивного керування енергомережею з фотоелектричними системами генерації.

Порівняльний огляд сучасних методів оптимізації, наведений у таблиці 1, демонструє, що інтелектуальні алгоритми забезпечують істотні переваги в умовах невизначеності та високої мінливості параметрів.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика підходів до оптимізації перемикання джерел

Підхід / Метод	Переваги	Недоліки	Типові застосування
Математичні моделі на основі лінійного програмування	Чітка формалізація задачі, висока швидкість обчислень, можливість роботи у великих системах	Обмежена здатність описувати нелінійні процеси, висока чутливість до похибок прогнозування	Планування режимів енергопостачання, вибір оптимальних графіків роботи обладнання
Стохастичні методи на основі еволюційних алгоритмів	Пошук глобальних рішень у задачах з невизначеністю, стійкість до локальних мінімумів	Обчислювальна складність, складність застосування в режимі реального часу	Оптимізація конфігурацій мікрореж, налаштування систем керування
Нейронні мережі	Висока точність прогнозування генерації та навантаження, моделювання складних нелінійних залежностей	Потреба у великих масивах даних для навчання, складність інтерпретації результатів	Прогнозування сонячного випромінювання, попиту та стану накопичувачів
Навчання з підкріпленням	Адаптація до змінних умов, формування гнучких стратегій перемикання без фізичної моделі системи	Складність налаштування алгоритму, можлива нестабільність поведінки під час навчання	Керування перемиканням у реальному часі, оптимізація режимів споживання та накопичення енергії
Гібридні методи (поєднання прогнозування з оптимізацією)	Компромід між точністю прогнозу та швидкістю прийняття рішень, підвищення надійності та стабільності	Залежність від прогнозової моделі та оптимізатора; збільшена складність впровадження	Розроблення інтелектуальних систем керування мікрмережами

Нейронні мережі забезпечують високу точність прогнозування генерації та споживання завдяки здатності моделювати нелінійні залежності. Особливу

ефективність для аналізу часових рядів сонячного випромінювання та навантаження демонструють рекурентні архітектури типу «довга короткочасна пам'ять», які дозволяють зменшити похибку прогнозування на 15–20 % порівняно з класичними статистичними методами [3].

Алгоритми навчання з підкріпленням дають змогу системі керування самостійно формувати оптимальну стратегію перемикання шляхом багаторазової взаємодії з середовищем. Модель отримує «винагороду» за економію витрат та «штраф» за порушення надійності або надмірну кількість комутацій. Такий підхід дає можливість формувати гнучкі стратегії керування без необхідності створення детальної фізичної моделі енергосистеми [4].

Поєднання прогнозів, отриманих засобами машинного навчання, з оптимізаційними методами на основі математичного програмування, що лежить в основі гібридних методів, дає змогу збалансувати точність, швидкість та обчислювальну складність процесу прийняття рішень.

Як видно з таблиці 1, жоден із підходів не є універсальним. Тому доцільним є використання гібридної схеми, у якій прогнозна модель на основі рекурентної нейронної мережі прогнозує генерацію фотоелектричної системи та навантаження споживача на найближчий період (наприклад, одну годину), а оптимізаційний модуль або адаптивний керуючий алгоритм навчання з підкріпленням формує рішення щодо перемикання, враховуючи поточний тариф на електроенергію та стан заряду накопичувачів енергії.

Висновки. Інтеграція фотоелектричних систем вимагає переходу від жорстких правил перемикання до адаптивних стратегій керування. Використання методів машинного навчання, передусім нейронних мереж та навчання з підкріпленням, дає змогу істотно підвищити ефективність використання сонячної енергії. Дослідження свідчать, що такі підходи здатні зменшити експлуатаційні витрати та підвищити стабільність роботи енергосистеми. Подальша робота буде спрямована на розроблення

програмної моделі контролера перемикання та її тестування на реальних даних сонячного випромінювання.

Література:

1. European Commission, "European Green Deal: Energy Roadmap 2030", Brussels, 2021.
2. J. Antonanzas et al., "Review of photovoltaic power forecasting", *Solar Energy*, vol. 136, pp. 78–111, 2016.
3. X. Zhang, Z. Wang, and C. Chen, "Hybrid machine learning and optimization methods for power system operations", *Electric Power Systems Research*, vol. 190, pp. 106–121, 2021.
4. D. Zhang, H. Wang, and Y. Xu, "Deep reinforcement learning for real-time optimal power flow", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 6, pp. 6376–6386, 2019.

УДК 005.53:624.132

ВИБІР МІНІ-НАВАНТАЖУВАЧА ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ

Марков Д.А., Ільге І.Г.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Для відновлення інфраструктури України особливо актуальною є проблема підвищення ефективності організації дорожньо-будівельних робіт. Руйнування транспортних артерій, мостів, тротуарів і під'їзних шляхів потребує залучення сучасної, продуктивної та універсальної техніки. Одним із ключових видів машин, що широко застосовуються під час дорожнього будівництва та ремонту, є міні-навантажувачі. Вони поєднують у собі компактні габарити, високу маневреність та багатофункціональність.

Завдяки використанню змінного навісного обладнання міні-навантажувачі можуть виконувати широкий спектр операцій: навантаження та переміщення сипких матеріалів, очищення дорожнього покриття, фрезерування асфальту, буріння, ущільнення, планування поверхонь тощо. Це робить їх універсальними машинами, що дозволяють суттєво скоротити кількість залученої важкої техніки та оптимізувати витрати.

Разом із тим сучасний ринок пропонує значну кількість моделей міні-навантажувачів, які відрізняються за технічними, економічними, екологічними та експлуатаційними характеристиками. За умов обмежених фінансових ресурсів і високих вимог до ефективності робіт вибір оптимального варіанта стає складним завданням, яке потребує науково обґрунтованого підходу.

Вибір найбільш придатного міні-навантажувача для дорожнього будівництва не може базуватися лише на окремих параметрах, таких як потужність або вартість. Практика показує, що техніка з високими паспортними характеристиками не завжди забезпечує очікувану ефективність у реальних умовах експлуатації. Додаткові труднощі виникають через те, що

частина критеріїв має якісний характер, а також через наявність невизначеності у даних, наданих виробниками.

У таких умовах актуальною є розробка багатокритеріальної моделі вибору міні-навантажувача для дорожнього будівництва, яка дозволяє систематизувати критерії, встановити між ними ієрархічні зв'язки та реалізувати процес вибору з використанням експертних методів, зокрема методу аналізу ієрархій.

Для побудови структурної ієрархічної моделі вибору міні-навантажувача необхідно сформулювати повну та обґрунтовану систему критеріїв, які відображають технічні, економічні, екологічні, ергономічні та експлуатаційні властивості машин.

Розглянемо технічні критерії, що характеризують базові характеристики міні-навантажувача.

Потужність визначає здатність міні-навантажувача виконувати інтенсивні роботи у важких умовах, забезпечувати стабільну роботу гідросистеми та навісного обладнання. Від цього параметра безпосередньо залежить продуктивність машини, її можливість працювати з важкими матеріалами та на складних ділянках дорожнього полотна.

Вантажопідйомність визначає граничну масу вантажу, яку машина може безпечно підіймати та транспортувати. Для дорожнього будівництва цей показник критично важливий, оскільки безпосередньо впливає на темпи виконання робіт і можливість ефективної роботи зі щебенем, піском, асфальтною крихтою та бетонними сумішами.

Висота підйому визначає можливості машини при завантаженні матеріалів у самоскиди, роботі з траншеями та штабелями. Збільшена висота підйому значно розширює універсальність застосування міні-навантажувача.

Габаритні розміри мають вирішальне значення в умовах міської забудови, під час ремонту тротуарів, проїздів та мостів. Менші габарити забезпечують доступність до обмежених зон і підвищують маневреність.

Маса визначає стійкість техніки, її зчеплення з поверхнею та вплив на дорожнє покриття. Надмірно легка машина може втрачати стабільність, тоді як надмірно важка – пошкоджувати основу дороги.

Тип шасі впливає на прохідність та сферу застосування. Гусеничні машини ефективні на м'яких та вологих ґрунтах, а колісні – більш економічні, швидкі та зручні для роботи на твердому покритті.

Наступна група, що суттєво впливає на вибір, це економічні критерії.

Початкова вартість безпосередньо впливає на можливість придбання техніки та масштаби її використання. Вона повинна оцінюватися з урахуванням очікуваної продуктивності та строку окупності.

Вартість технічного обслуговування формує довгострокові експлуатаційні витрати. В умовах інтенсивного дорожнього будівництва стабільність та передбачуваність витрат на обслуговування є критично важливими.

Вартість пального є основною статтею змінних витрат. Навіть незначна різниця у витраті пального при тривалій експлуатації призводить до суттєвих фінансових відмінностей.

Треба враховувати також екологічні критерії.

Рівень викидів визначає відповідність техніки екологічним стандартам та можливість її використання у міських умовах. Зниження викидів сприяє поліпшенню екологічної ситуації.

Вплив на ґрунт характеризує тиск, який машина чинить на поверхню. Надмірний тиск може руйнувати ґрунтову основу дороги та газони.

Шумове навантаження має безпосередній вплив на умови праці оператора та мешканців прилеглих територій. Низький рівень шуму відповідає сучасним санітарним нормам.

В сучасних умовах не можна оминути врахування ергономічних критеріїв.

Зручність кабіни знижує втоми оператора, підвищує продуктивність і безпеку праці, що особливо важливо при тривалих змінах.

Рівень безпеки визначає ризики травмування персоналу та пошкодження обладнання. Сюди належать системи блокування, стабілізації та аварійного зупинення.

Зручність органів керування має значення, бо інтуїтивність та логічність керування скорочують час навчання оператора та зменшують кількість помилок у роботі.

Хороша оглядовість із кабіни підвищує точність виконання операцій та знижує аварійність при роботі у тісному середовищі.

Експлуатаційні критерії є одними з найважливіших.

Продуктивність гідравлічної системи визначає можливість використання навісного обладнання та швидкість виконання операцій.

Надійність конструкції зменшує простої, витрати на ремонт та підвищує загальний коефіцієнт готовності техніки.

Універсальність навісного обладнання дозволяє виконувати різні типи дорожніх робіт без залучення додаткових машин.

Найбільш відомими та поширеними в Україні є міні-навантажувачі таких брендів, як Bobcat, Caterpillar, CASE, New Holland та JCB [1]. Як альтернативи обрано такі моделі: Bobcat S650, Caterpillar 262D, CASE SR210, New Holland L218, JCB 155.

Структурна ієрархічна модель вибору міні-навантажувача складається з чотирьох рівнів:

1. Мета – вибір оптимального міні-навантажувача для дорожнього будівництва.
2. Групи критеріїв – технічні, економічні, екологічні, ергономічні та експлуатаційні.
3. Окремі критерії, що входять до кожної групи і вказані вище.
4. Альтернативи – обрані моделі міні-навантажувачів.

У роботі сформовано повну систему критеріїв вибору міні-навантажувача для дорожнього будівництва та побудовано структурну ієрархічну багатокритеріальну модель прийняття рішень в умовах

невизначеності. Отримана модель створює наукове підґрунтя для застосування експертних методів, зокрема методу аналізу ієрархій [2], з метою обґрунтованого вибору найбільш ефективної техніки для виконання дорожніх робіт.

Література:

1. Огляд найпопулярніших міні навантажувачів в Україні. URL: https://generationukraine.com/oglyad-najpopulyarnishyh-mini-navantazhuvachiv-v-ukrayini/?srsltid=AfmBOoquy5e1LRGJp_edt5JB7f85eG6cZv4tTADqDXwEBDM8WK2rdk3n (дата звернення: 12.11.2025).
2. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: what is it and how it is used // Mathematical Modeling. – 1987. – Vol. 9.

УДК 004.056.53

АРХІТЕКТУРА ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Норик А.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

В умовах глобальної цифровізації суспільства, інтенсивного розвитку інформаційних технологій та суттєвого зростання рівня загроз у сфері кібернетичної й фізичної безпеки актуалізується потреба у впровадженні високоефективних автоматизованих систем захисту об'єктів. Особливої значущості набувають інтелектуальні системи, здатні в режимі реального часу здійснювати безперервний моніторинг контрольованого середовища, оперативно виявляти потенційні загрози, здійснювати їх аналіз та приймати обґрунтовані рішення щодо реагування. Одним з найбільш перспективних напрямів у цій галузі є використання методів комп'ютерного зору для автоматизованого виявлення несанкціонованого доступу до об'єктів інфраструктури.

У процесі розроблення системи, що ґрунтується на інтеграції апаратних та програмних засобів, було сформовано цілісну та структурно впорядковану архітектуру системи моніторингу й сповіщення про факти несанкціонованого проникнення із застосуванням технологій комп'ютерного зору та комплексу сенсорних засобів, подану на рисунку 1.

Запропонована архітектура забезпечує узгоджену взаємодію всіх функціональних модулів і дозволяє реалізувати адаптивний підхід до аналізу подій безпеки.

Ключовим елементом побудованої архітектури є блок обробки даних, який виконує роль центрального логічного ядра системи [1]. Саме на нього покладено функції збору, фільтрації, обробки та багаторівневого аналізу інформації, що надходить від усіх периферійних компонентів, зокрема

сенсорів руху, вібрації, інфрачервоних датчиків, відеокамер та модулів керування доступом. Даний блок реалізує алгоритми прийняття рішень, координує роботу виконавчих пристроїв та забезпечує обмін даними між підсистемами.

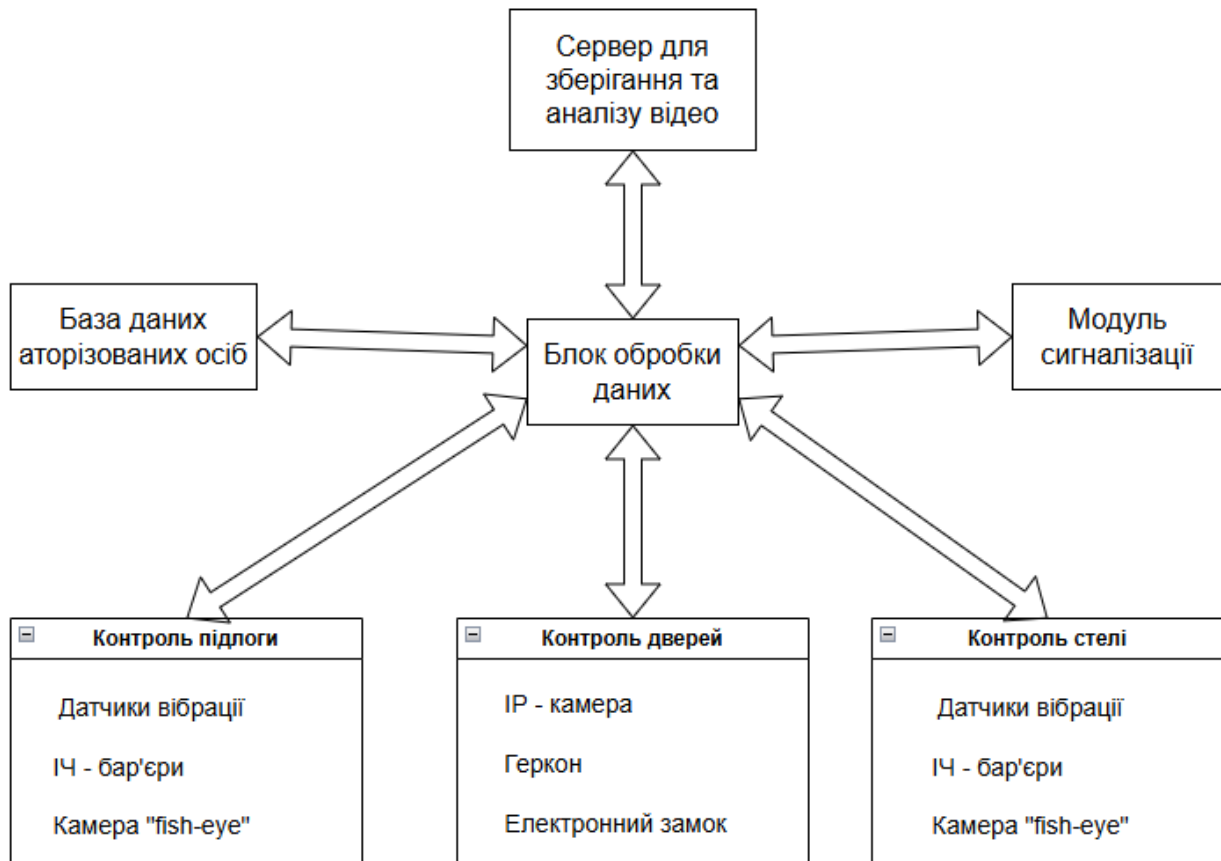


Рисунок 1. - Архітектура підсистеми моніторингу й сповіщення

Контроль доступу до об'єкта організовано за трьома основними напрямками: через двері, стелю та підлогу, що дозволяє забезпечити комплексне покриття потенційних шляхів проникнення. У зоні дверей використовується ІР-камера для відеоспостереження[2], герконовий датчик[3] для фіксації факту відчинення та електронний замок [4], який функціонує у взаємодії з базою даних авторизованих осіб. Така комбінація засобів забезпечує як фізичний контроль доступу, так і візуальну ідентифікацію користувачів.

Контроль верхньої зони (стелі) реалізовано із застосуванням вібраційних сенсорів, інфрачервоних бар'єрів та ширококутної камери типу «fish-eye» [5], яка здійснює панорамний огляд простору згори. Подібні технічні рішення, а саме вібраційні датчики та ІЧ-сенсори, використовуються і для контролю підлогової зони, що дозволяє фіксувати навіть мінімальні механічні впливи або переміщення об'єктів у контрольованому середовищі.

Уся зібрана з різних сенсорних каналів інформація передається до блока обробки даних, де в режимі реального часу відбувається комплексний аналіз поточної активності. У разі виявлення об'єкта система автоматично запускає процедуру його розпізнавання на основі алгоритмів комп'ютерного зору. Якщо ідентифікована особа наявна у базі даних авторизованих користувачів, фіксується факт легітимного входу, здійснюється керування електронним замком та продовжується подальший моніторинг ситуації.

У випадку відсутності підтвердження авторизації або реєстрації нештатних подій (перетин інфрачервоного бар'єра, виникнення вібрацій, спроби несанкціонованого відкривання тощо) активується модуль сигналізації, який передає відповідні повідомлення службі безпеки або системному адміністратору.

Паралельно з основними процесами контролю відеопотік у режимі безперервної передачі надходить на сервер зберігання й аналітичної обробки. Це забезпечує формування архіву відеоданих та можливість подальшого використання накопиченої інформації для детального аналізу інцидентів, статистичної обробки та навчання моделей комп'ютерного зору з метою підвищення точності розпізнавання.

У цілому система функціонує як складний багаторівневий кіберфізичний комплекс, у якому кожен окремий компонент виконує чітко визначену функцію, а їхня взаємодія реалізується через центральний блок обробки даних. Такий підхід забезпечує високий рівень надійності, адаптивності та масштабованості системи безпеки.

Література:

1. Блок обробки даних Raspberry Pi 4 Model B. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> – 17.11.25
2. IP-камера Raspberry Pi Camera Module 2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/> – 15.11.25.
3. Геркон Y213 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/gerkon> – 16.11.25
4. Електрозамок Yli Electronics YE-304NO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/product/elektrozamok-ye-304no-power-open-dlya-sistemy-kontrolya-dostupa/?srsltid=AfmBOoojxPIc79KKP3HnuZsNP1155b3v4YXAFEBqyTFWvY3kf wKld8j9> – 16.11.25
5. Камера Raspberry Pi High Quality Camera [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://evo.net.ua/kamera-raspberry-pi-high-quality-camera/?srsltid=AfmBOoqUcv9JS3oUEOGB1xQMGQOsMMpi5-nTYW1Yk8KVM2Qt8ilfPA6q> – 15.11.25

УДК 681.5:004.89

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Соколец А. А.¹, Кудайбергенів Нурбол²

*¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків, Україна*

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Попри широке розповсюдження асинхронних і безколекторних двигунів, двигуни постійного струму (ДПС) з постійними магнітами досі активно використовуються у мехатронних та робототехнічних системах. На відміну від асинхронних або безколекторних двигунів, ДПС характеризуються простим та передбачуваним керуванням швидкістю, моментом і напрямком обертання.

Основними регуляторами, що застосовуються для керування ДПС залишаються ПІД-регулятори, що пояснюється їхньою простотою реалізації та здатністю забезпечити прийнятну якість перехідних процесів.

Однією з основних проблем застосування ПІД-регулятора є складність вибору оптимальних значень їхніх коефіцієнтів. Поширені методи налаштування (спроб і помилок, Зіглера–Ніколса, методи на основі частотних характеристик) забезпечують лише приблизні початкові значення параметрів, які надалі потребують уточнення. Це створює необхідність використання сучасних методів оптимізації параметрів ПІД-регуляторів для керування ДПС. В даній роботі з цією метою запропоновано використання генетичного алгоритму.

Таким чином, об'єкт даного дослідження – процес керування ДПС. Предмет – методи оптимізації параметрів ПІД-регулятора для забезпечення заданої якості керування ДПС.

Мета дослідження – підвищення якості керування ДПС шляхом оптимізації параметрів ПІД-регулятора за допомогою генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм належить до класу еволюційних обчислювальних методів, у яких пошук розв'язку здійснюється за аналогією з природною еволюцією [1]. Замість того щоб аналізувати математичні властивості функції, алгоритм працює з множиною можливих рішень, яка інтерпретується як популяція. Кожне рішення подається у вигляді хромосоми, що містить набір числових параметрів, а якість цього рішення визначається спеціальною функцією пристосованості.

Процес оптимізації починається з випадкового формування початкової популяції, яка включає різноманітні комбінації параметрів. Для кожного кандидата обчислюється значення критерію якості, після чого алгоритм відбирає найкращі рішення. Відбір у цьому випадку імітує природний добір: рішення, що демонструють кращу пристосованість, мають більші шанси «передати» свої властивості наступному поколінню. На наступному етапі здійснюється схрещування, коли двоє «батьків» утворюють нове рішення, поєднуючи частини своїх параметрів. Такий обмін інформацією дозволяє алгоритму комбінувати вдалі властивості різних хромосом і отримувати потенційно кращі варіанти.

Для забезпечення здатності алгоритму шукати нові рішення та не «застрягти» передчасно у локальному мінімумі застосовується механізм мутації, тобто випадкової зміни окремих параметрів хромосоми. Після формування нового покоління відбувається повторне оцінювання його пристосованості, і цикл «відбір – схрещування – мутація» продовжується доти, доки алгоритм не досягне прийнятного значення критерію якості або не завершить задану кількість поколінь.

Перевагою генетичного алгоритму є його здатність знаходити близькі до оптимальних рішення у задачах, для яких класичні методи є малоефективними або взагалі непридатними. Він не вимагає точних

математичних моделей, працює в умовах невизначеності та не накладає обмежень на вид цільової функції. Завдяки цим властивостям генетичний алгоритм широко використовується для оптимізації технічних систем.

Як вже зазначалося, у даному дослідженні запропоновано використати генетичний алгоритм для оптимізації параметрів ПД-регулятора, що керує ДПС. Розглянемо класичний ПД-регулятор, який описується наступним рівнянням:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (1)$$

де $e(t)$ – помилка керування, а K_p , K_i та K_d – параметри регулятора, які підлягають оптимізації.

У якості цільової функції обрано інтеграл від зваженого модуля помилки керування:

$$J = \int_0^T t |e(t)| dt. \quad (2)$$

Множник t дозволяє зменшити вплив великої початкової помилки, яка характерна для більшості перехідних процесів, та надає більшої ваги відхиленням, що зберігаються в середині та наприкінці руху системи керування [2]. Крім того, на відміну від інтеграла від зваженого квадрата помилки, критерій (2) не такий чутливий до одиничних стрибків помилки з великою амплітудою.

Процес оптимізації значень параметрів ПД-регулятора пояснює алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 1.

Алгоритм розпочинається із задання допустимих діапазонів коефіцієнтів ПД-регулятора K_p , K_i та K_d . Після цього формується початкова популяція хромосом, кожна з яких містить один можливий набір цих параметрів. Для кожної особини моделюється робота системи керування ДПС та обчислюється значення цільової функції (2), що використовується як показник пристосованості.

Після оцінювання популяції виконується перевірка умови зупинки пошуку. Якщо мінімальне значення критерію досягло визначеного порогу

або спостерігається збіжність процесу оптимізації, відповідний набір коефіцієнтів приймається як оптимальний, і алгоритм завершується. У разі, якщо умову зупинки не виконано, генетичний алгоритм переходить до етапів відбору,

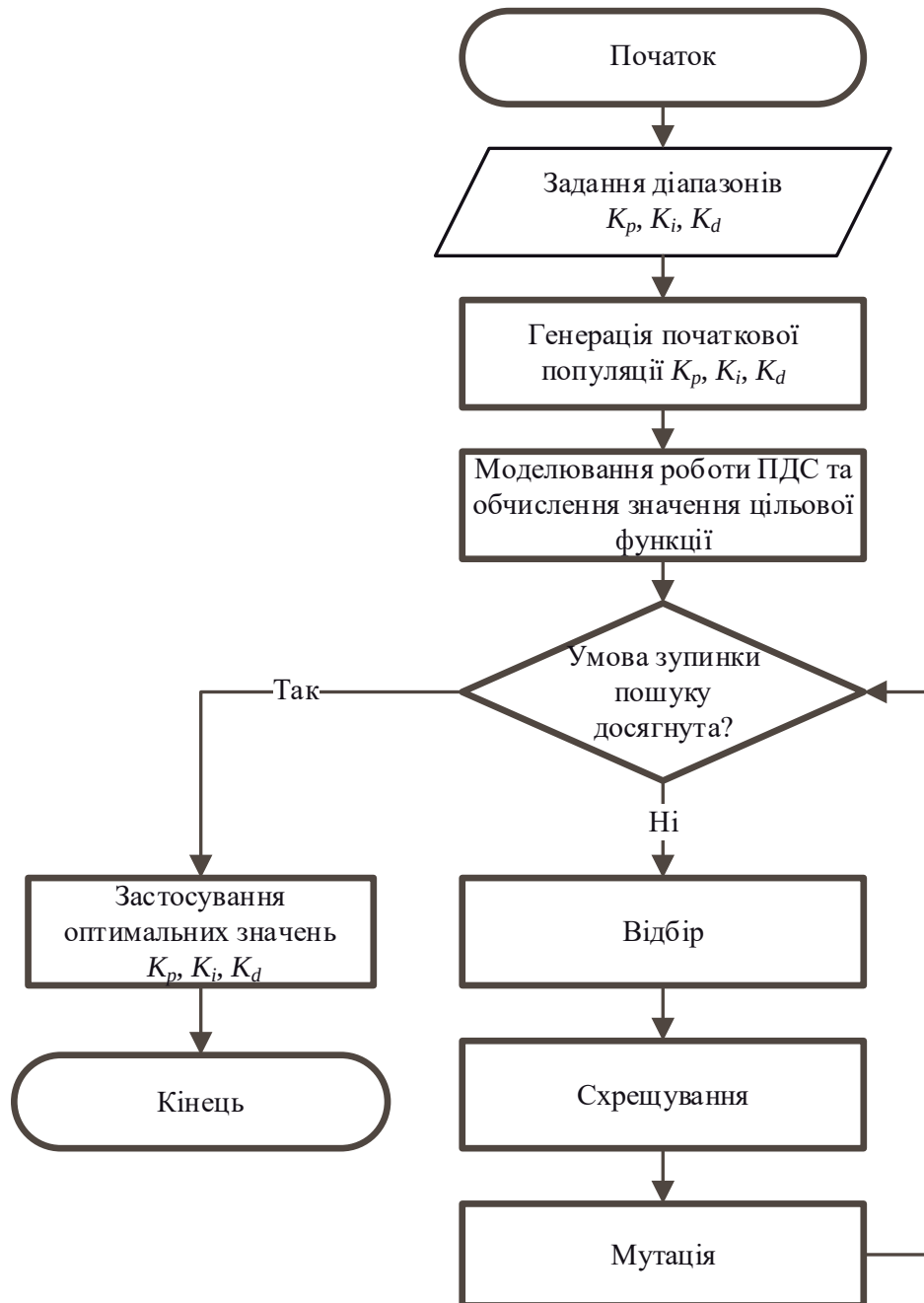


Рисунок 1 – Алгоритм оптимізації значень параметрів ПІД-регулятора

схрещування та мутації, у результаті яких формується нове покоління хромосом. Для оновленої популяції процес моделювання та оцінювання

повторюється, що забезпечує еволюційне наближення значень параметрів регулятора до оптимальних.

Література:

1. Троцько В.В. Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник. Київ: Ун-т економіки та права «КРОК», 2020. 86 с.
2. Gurko A., Petrenko Yu. PSO-Based Controller Tuning for a Laser Technical Vision System. Proceeding of 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine, October 03 - 07, 2022. P. 400 – 404. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916393>.

УДК 004.896:629.36:658.78

АВТОНОМНИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ З СИСТЕМОЮ НАВІГАЦІЇ SLAM ДЛЯ СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ

Токар Є.П.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

В сучасних умовах цифрової трансформації промисловості та логістики автономні мобільні роботи (AMR) стають ключовими елементами оптимізації складських процесів. Дана робота присвячена розробці та дослідженню автономного мобільного робота з використанням системи навігації SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), що дозволяє виконувати переміщення складським простором без попередньо підготовленої карти та зовнішньої інфраструктури. [1-3]

Сучасні автономні системи навігації застосовують кілька підходів до позиціонування всередині складських приміщень. До них належать технології, що базуються на лінійних маяках і QR-мітках, лідарні методи визначення положення, візуальні системи V-SLAM, а також інтегровані рішення, які поєднують дані від кількох сенсорів.

Найбільш перспективним напрямом є SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), що дозволяє одночасно будувати карту та визначати координати робота в реальному часі. [4-6]

Технології SLAM можуть бути реалізовані на основі різних сенсорів, серед яких LiDAR, стереокамери, RGB-D-камери та ультразвукові датчики. До найпоширеніших алгоритмів належать GMapping, Hector SLAM, RTAB-Map, ORB-SLAM2 та Cartographer від Google. У роботі виконано порівняння цих методів за точністю локалізації, обчислювальними вимогами, стійкістю до змін середовища та швидкістю побудови карти.

Автором розглянуто декілька груп підходів до реалізації SLAM. LIDAR-орієнтовані алгоритми, такі як Hector SLAM чи GMapping, забезпечують високу точність на основі лазерного сканування. Візуальні системи (Visual

SLAM), зокрема ORB-SLAM2 або RTAB-Map, працюють із даними з камер та показують кращі результати в умовах, де важлива візуальна інформативність. Комбіновані системи (Multi-sensor SLAM), що поєднують IMU, камери й лідари, забезпечують підвищену стійкість до динамічних змін середовища. Робота системи SLAM включає послідовний збір даних від сенсорів, їх обробку та фільтрацію, побудову карти, локалізацію робота в межах цієї карти та формування траєкторії руху.

Автономний мобільний робот, розроблений у межах проєкту, включає кілька ключових підсистем. Механічна частина ґрунтується на диференціальній або чотириколісній схемі приводу. Сенсорна система складається з 2D або 3D LiDAR, інерційного блока IMU, одометрії та RGB-D камери, що забезпечує надійну навігацію у складському середовищі. Обчислювальним модулем виступає одноплатний комп'ютер, наприклад NVIDIA Jetson або Raspberry Pi 5. Комунікація реалізується через бездротові мережі з використанням ROS2 DDS, що гарантує надійний обмін даними між компонентами системи. Живлення робота забезпечується акумуляторним модулем із відповідною системою енергокерування.

Програмна архітектура побудована на основі ROS2 Humble і включає використання пакета Nav2 для навігації, SLAM Toolbox для побудови карти та lifecycle-вузлів для керування станами системи. Для планування руху застосовано алгоритми DWB Controller, A*, а також RRT, що дає змогу адаптивно генерувати оптимальні маршрути. Реалізовані програмні модулі відповідають за керування приводами, обробку сенсорних потоків і побудову актуальних карт складського середовища в реальному часі. Загальний алгоритм роботи робота передбачає поетапну ініціалізацію сенсорів, запуск SLAM-алгоритму, формування карти, виявлення перешкод, планування траєкторії та виконання логістичного завдання, такого як переміщення вантажів.

У процесі реалізації програмної частини було застосовано ROS2 Foxy, пакет Nav2 для навігаційних задач, ORB-SLAM2 для навігації в умовах недостатнього освітлення та PCL для обробки тривимірних даних.

Експериментальна частина роботи проводилася в умовах реального складського приміщення, де перевірялися точність локалізації, стабільність побудови карти, швидкість реакції під час обходу перешкод та ефективність маршрутів. Отримані результати показали, що використання SLAM Toolbox забезпечує локалізацію з середньою похибкою менш ніж 3 см (яка не перевищує 2%) та надійність проходження маршруту понад 97%. Робот здатний уникати динамічних перешкод. Середній час побудови карти становив 30 секунд на 200 м², а продуктивність роботи загалом перевищує ручне транспортування приблизно на 35%.

Таким чином, в результаті виконання проєкту створено комплексну систему автономного мобільного робота, придатну для застосування у сфері складської логістики. Проведений аналіз сучасних методів, розробка апаратної та програмної архітектури, а також виконані експериментальні дослідження підтвердили ефективність обраного технічного рішення. Отримані результати можуть бути використані для впровадження автономних мобільних роботів у логістичних центрах та на складах підприємств. Подальший розвиток роботи може передбачати створення системи колективної взаємодії кількох роботів та розширення сенсорного комплексу для збільшення стійкості навігації в різноманітних середовищах.

Література:

1. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. — MIT Press, 2005. — 672 p.
2. Siegwart R., Nourbakhsh I., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. — 2nd ed. — MIT Press, 2011. — 472 p.

3. Cadena C. et al. Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age. *IEEE Transactions on Robotics*, 2016, Vol. 32(6), pp. 1309–1332.
4. Grisetti G., Kümmerle R., Stachniss C., Burgard W. A Tutorial on Graph-Based SLAM. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2010, Vol. 2(4), pp. 31–43.
5. Mur-Artal R., Tardós J. D. ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras. *IEEE Transactions on Robotics*, 2017, Vol. 33(5), pp. 1255–1262.
6. Kohlbrecher S. et al. A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation. *Proc. IEEE Int. Symp. Safety, Security, Rescue Robotics*, 2011.

УДК 004.932.74:519.816

АЛГОРИТМ ВИБОРУ СЕНСОРІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПАРКУВАЛЬНИХ ЗОН

Кононихін О.С., Малік Д.О., Циганков І.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Ефективність сучасних інтелектуальних транспортних систем, зокрема "розумних паркінгів", критично залежить від якості первинних даних, що збираються. Вибір оптимальної сенсорної мережі для моніторингу завантаженості паркувальних зон є складним інженерно-економічним завданням, яке часто вирішується суб'єктивно, призводячи до неоптимальних витрат та зниження надійності системи [1-2].

Мета роботи - підвищити ефективність проектування місць для паркування за рахунок розробки алгоритму вибору сенсорів для різних типів паркувальних зон.

Задача вибору сенсорів для моніторингу паркувальних зон формально належить до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень. Особливістю таких задач є необхідність одночасного врахування значної кількості критеріїв, що мають різну природу, різні одиниці виміру та нерідко суперечливий вплив на результат. Тому інтуїтивний або суто експертний вибір без формальної моделі не забезпечує ані відтворюваності, ані економічної раціональності прийнятих рішень.

Для підвищення об'єктивності та формалізації процесу оцінювання пропонується алгоритм підтримки прийняття рішень, що базується на методі зваженої суми [3-4].

Метод обрано завдяки його низькій обчислювальній складності, прозорості логіки агрегування та високій інтерпретованості результатів. Ці властивості є особливо важливими для практичного застосування в органах муніципального управління та операторів парковок, де кінцеві користувачі

алгоритму часто не мають глибокої математичної підготовки і потребують максимально зрозумілих моделей.

Запропонований алгоритм містить чотири послідовні етапи, описані нижче.

Етап 1. На цьому етапі здійснюється математична декомпозиція задачі, тобто визначення множини альтернатив та множини критеріїв, за якими здійснюється оцінка.

Нехай задано скінченну множину з m можливих сенсорів:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}. \quad (1)$$

Формується множина з n критеріїв, що відображають технічні, економічні та експлуатаційні характеристики альтернатив:

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}. \quad (2)$$

Створюється матриця розмірністю $m \times n$, де елемент S_{ij} — це оцінка альтернативи a_i за критерієм k_j .

Оскільки різні критерії мають різні шкали вимірювання, пряме порівняння значень є некоректним. Тому застосовується нормалізація, тобто приведення всіх значень до єдиної безрозмірної шкали $[1,10]$.

Додатково всі критерії переводяться до спільної спрямованості — критерію виграшу (чим більше, тим краще).

Таким чином формується нормалізована матриця:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Етап 2. Попередній етап задає універсальну структуру моделі. Наступним кроком є її адаптація до конкретних умов експлуатації — типу паркувальної зони, сценарію використання або середовища розміщення.

Для кожного типу паркувального середовища z формується вектор вагових коефіцієнтів:

$$W_z = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}, \quad (4)$$

де w_j — відносна важливість критерію k_j .

Наприклад, для підземних паркінгів критерій «стійкість до погодних умов» втрачає значущість, а для вуличних стоянок цей самий критерій стає критичним.

Для коректності побудови моделі ваги нормуються:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (5)$$

Таким чином саме вектор ваг формалізує приховані експертні міркування, що становить один із аспектів наукової новизни підходу.

Етап 3. На цьому етапі здійснюється агрегація нормалізованих оцінок з урахуванням визначених ваг за допомогою адитивної моделі корисності.

Для кожної альтернативи інтегральний показник придатності F_i визначається як:

$$F_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \cdot w_j, i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

де S_{ij} — нормалізована оцінка альтернативи,

w_j — вага критерію,

F_i — фінальна зведена характеристика сенсорної технології у визначеному контексті.

Етап 4. Ранжування альтернатив та вибір найкращого рішення. Отриманий набір інтегральних показників:

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}, \quad (7)$$

дозволяє виконати об'єктивне ранжування альтернатив.

Правило вибору найкращої альтернативи:

$$a_o = \{a_i \in A \mid F_i = \max(F_1, F_2, \dots, F_m)\} \quad (8)$$

Розроблений алгоритм формує не лише оптимальну альтернативу, але й повне ранжування всього набору можливих варіантів. Це забезпечує додаткову практичну цінність: у разі недоступності найкращого варіанту

(логістичні обмеження, вартісні фактори тощо) легко обрати наступні за ефективністю рішення.

Література:

1. Розумні системи паркування: тенденції та можливості для українських міст
URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/rozumni-systemy-parkuvannya-tendencziyi-ta-mozhlyvosti-dlya-ukrayinskyh-mist>(дата звернення:13.11.2025)
2. An Algorithm of Parking Planning for Smart Parking System
<https://arxiv.org/pdf/1708.07932>(дата звернення:13.11.2025)
3. Dede Wira Trise Putra, Adrian Agustian Punggara. Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weigthed Product (WP) In Decision Support Systems // MATEC Web of Conferences. 2018. № 215. P. 1-2.
4. Кононихін О.С., Кононихіна О.О., Сердюк О.В. Багатокритеріальна модель вибору технічних засобів бездротової сенсорної мережі // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. № 13(41) . С.1067-1077

УДК 656.07.33

АНАЛІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЗАДАЧАХ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ БДМ

Хоменко Є.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Бортовій системі управління сучасної будівельно-дорожньої машини (БДМ) доводиться вирішувати завдання коригування мети управління. А також формування, коригування програми дій та алгоритмів управління (параметрична настройка регулятора). Ці завдання пов'язані з факторами невизначеності вхідної інформації при керуванні складними об'єктами, якими є сучасні будівельні машини [1].

Завдання з невизначеністю вхідної інформації вирішуються за рахунок інтелектуальних технологій, що враховують: принцип ситуатійного управління; ієрархічний принцип побудови (наявність виконавчого, тактичного та стратегічного рівнів управління, а також інформаційно-вимірювальної підсистеми); інтеграцію інтелектуальних технологій (експертних систем, нечіткої логіки, нейромережових структур, асоціативної пам'яті) різних рівней ієрархії; адекватність впливу факторів невизначеності рівню інтелектуальності системи [2]. Приклади факторів невизначеності, що діють на систему управління БДМ наведено на рис.1.

Фактори невизначеності апіорної інформації мають фізичний зміст. Вони виникають при управлінні рухом, плануванні поведінки або обробці різномірної інформації у виконавчих підсистемах. Інформація з компонентів керуючої системи носить суперечливий характер. Деякі задачі керування з невизначеністю вхідної інформації на виконавчому рівні вирішуються за рахунок застосування адаптивних методів управління [3].

Інтелектуальні технології допомагають вирішувати такого типу задачі на більш високих рівнях.

Види підсистем	Форми прояву невизначеностей	Джерела невизначеностей	Приклади виникнення невизначеностей
Виконавчі	збурення, приведені до валу виконавчого двигуна	Зміна моментів навантаження та тертя; взаємний вплив ступенів рухливості	Зміна маси через витрати палива в процесі руху
Управління рухом	Відсутність або неповнота апріорної інформації про особливості середовища функціонування і характер її зміни	Зміна середовища функціонування; неможливість вимірювання (з яких-небудь причин) всіх необхідних складових змін середовища	Планування переміщень в середовищі з рухомими перешкодами
Планування поведінки	Неможливість формування планів досягнення поставленої мети через відсутність достовірної інформації про необхідні ресурсах	Відсутність достовірної інформації про необхідні ресурсах	Відсутність достовірних даних про фактичну витрату палива, що здійснює роботу в умовах незапланованої погодно-обстановки
Інформаційно-вимірювальні	Недостатня точність датчиків інформаційно-вимірювальної підсистеми	Великі похибки (конструктивні і методичні) і низька роздільна здатність датчиків	Управління автономними мобільними роботами, іншими рухомими об'єктами за інформацією від GPS

Рисунок 1 – Приклади факторів невизначеності, що діють на систему управління БДМ

Визначається тенденція комбінації інтелектуальних технологій, що базується на технічних вимогах до інтелектуальної системи БДМ. Один з принципів побудови адаптивної системи це адекватність ступеня системи впливу факторів невизначеності. Принцип адекватності який має практичне значення, що дозволяє розробнику оцінювати функціонал, визначати терміни та вартість системи, що розробляється. Структурна схема (рис. 2) показує адекватність ступеня інтелектуальності системи управління БДМ факторам невизначеності.



Рисунок 2 – Адекватність ступеня інтелектуальності системи БДМ факторам невизначеності

Коли фактори невизначеності усуваються регулятором впливу на інтелектуальний контур (базу знань, механізм логічного вибору), то система інтелектуальна в малому. Коли змінюється програма дій (підключення блоку самонавчання, прогнозування), система вважається інтелектуальна в великому. Коли система коригує мету управління, вона вважається інтелектуальною в цілому.

Концепція побудови архітектури інтелектуальної системи БДМ формується факторами невизначеності та формуванням уніфікованого підходу.

Література:

1. Медиковський М. О. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління: монографія. – Львів. - 2015. 280 с.
2. Методи сучасної теорії управління: підручник / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцьк, В.Д. Кишенько та ін. – Київ: видавництво Ліра – К, 2018. – 368 с.
3. Інтелектуальні системи автоматизації: веб-сайт: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/9ff1186e-31f6-4a01-aa39-cbe4361535f5/content> (дата звернення 15.11.2025)

УДК 004

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ БПЛА

Яворський Д. К.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

На погляд автора найбільш дієвим шляхом оптимізації та результативності навчання буде запровадження використання ефективних методологій підготовки операторів.

Одним із них є методологія формування умінь та навичок в процесі навчання операторів.

Успіх будь-якої діяльності залежить від уміння її виконувати. Це стосується будь-якої роботи. Уміння це оволодіння способами (прийомами та їх алгоритмами) відповідно до певних правил та уміння використовувати засвоєні знання на практиці. У процесі тренувань, на нових завданнях у нових умовах, досягається перетворення вміння на навичку.

Навички це автоматичні (подібні до інстинктивних алгоритми) та свідомі дії людини. Ознакою сформованої навички є якість дії. Навичка розглядається як дія доведена внаслідок багаторазових вправ до оптимальності виконання для кожного навчаємого. Уміння і навички формуються у людини у процесі її свідомого цілеспрямованого навчання. [1]

Інформаційне середовище це комплексна система, яка включає як матеріальні ресурси (комп'ютери, мережі та тощо), так і нематеріальні (знання, правила, закони, програми та тощо). [2] Інформаційне середовище системи безпілотних та роботизованих систем з ІІІ формується в процесі розширення функцій, процесів, задач, технологій, способів та тощо. І, поки що, в це поле уваги не потрапляють роботизовані системи та комплекси цивільного призначення на створення та розвиток яких, вже найближчим часом, скоріше за все, і «переключиться» основна маса розробників безпілотних та роботизованих систем.

Інформаційне освітнє середовище це система програмно-апаратних засобів та психолого-педагогічних умов, що сприяють інформаційної взаємодії між суб'єктами освітнього процесу. [2].

Гейміфікація має низку переваг в порівнянні з традиційними системами навчання. Завдяки гейміфікації отримуємо високий ступінь персоніфікації та індивідуалізації навчання. Особливо цінним є можливість безпечно вчитися на власних помилках та досягти бажаного результату. [3]

При підготовці операторів використовуються як гейміфікований (класичні) тренажери так і гейміфіковані тренажери.

Згідно з дослідженням Cardona-Reyes, VR-/AR-орієнтовані тренажери з гейміфікаційними методами та механіками найкраще мотивують молодь, оскільки поєднують навчання з емоційно насиченим досвідом комп'ютерних ігор. [4] В тренажерах та симуляторах використовують VR, AR та мультиплеєрні сценарії. [5]

Впровадження гейміфікації в освіті вимагає ретельного планування та індивідуального підходу до кожного учня. Освітні програми різного рівня все частіше організовуються у формі дистанційного інтерактивного навчання.

Використання ігор у навчанні вже показало свою ефективність, оскільки такий формат допомагає краще засвоювати інформацію, що дозволяє їй довше залишатися в пам'яті. [6]

Впровадження гейміфікації в освітній процес вимагає від педагогів цифрової компетентності та знань із використання інформаційних технологій.

Нейромережі й ШІ для безпілотних та роботизованих систем з нейромережами та ШІ потрібно, як і операторів людей, притомно, адекватно та прискіпливо і терпляче формувати, «навчати» й тренувати відводячи їм ті сфери та процеси де вони будуть приносить користь та не шкодять людям.

Процеси, технології та інструменти: оборони та тощо започаткували створення та формування єдиної взаємопов'язаної інтегрованої екосистеми

оборони невід'ємним компонентом якої є екосистема безпілотних та роботизованих систем з ІІІ.

Екосистема безпілотних та роботизованих систем, на даний момент, ще тільки зароджується та формується.

Визначемо перелік умінь та навичок операторів для гейміфікованих тренажерів та ігор. Для ефективного формування умінь та навичок в процесі навчальної, та ігрової, практики серед потенціальних і майбутніх операторів безпілотних та роботизованих систем і засвоєння ними в ігровій формі нової інформації з набуттям потрібних навичок потрібно дослідити та формалізувати основні вміння та навички, які необхідно набути та відпрацьовувати за допомогою, як класичних негейміфікованих так і гейміфікованих тренажерів, а також ігор в процесі підготовки екіпажів операторів військових безпілотних та роботизованих систем.

Для початкового навчання та індивідуального відпрацювання загальних навичок дистанційного керування БпЛА літакового типу використовуються різноманітні універсальні тренажери серед яких варто відмітити наступні. Український Симулятор місій “Обрій” [7] призначений для підготовки пілотів (операторів) мультикоптерів, та канадський UAS Mission Trainer [8] призначений для початкового навчання та індивідуального відпрацювання загальних навичок дистанційного керування БпЛА літакового типу.

Автором проведений аналіз з формалізації основних навичок, які потрібно відпрацьовувати та які доступні на цих тренажерах при тренуванні екіпажів військових безпілотних систем (БС) та безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) основних категорій операторів. Результати аналізу зведені в таблицю 1. Інші категорії БпАК (наприклад, призначені для мінування та розмінування, ретранслятори, мішені, транспортні, медичні, безпілотні носії БпЛА та тощо у рамках цього дослідження не аналізувалися.

Таблиця 1. Навички, які потрібно відпрацьовувати на тренажерах для підготовки операторів екіпажів військових БпЛА за призначенням

Категорії БпЛА у складі БпАК в залежності від призначення	Навички, які потрібно відпрацьовувати на тренажерах							
	Побудови маршруту	Підготовки до зльоту чи старту*	Зліт/Старту	Керування БпЛА по маршруту	Розвідки, коригування вогню	Пошуку цілі та наведення на ціль	Повнення/Посадки**	Злагодження екіпажу***
Повне дистанційне керування БпЛА протягом всієї місії								
Розвідник		+	+	+	+		+	
Камікадзе (по наземним цілям)		+	+	+		+		
Бомбардувальник		+	+	+		+	+	
Перехоплювач повітряних цілей		+	+	+		+	+	
Автономний політ БпЛА з частковим дистанційним керуванням								
Розвідник	+	+	+	+	+		+	
Камікадзе (по наземним цілям)	+	+	+			+	+	
Бомбардувальник	+	+	+	+		+	+	
Перехоплювач повітряних цілей		+	+			+	+	
Повністю автономний політ БпЛА								
Всі категорії БпЛА	+	+						

* - тільки ті операції передпольотної підготовки БпЛА, які можливо симулювати у віртуальному середовищі

** - тільки для тих типів БпЛА, які можуть здійснювати посадку

*** - тільки для тих типів БпЛА, в яких екіпаж складається більш ніж з однієї людини.

Висновки. В результаті аналізу й узагальнення існуючих поглядів замовників та користувачів тренажерів місій, призначених для підготовки екіпажів військових БпАК, автором запропоновані основні вимоги до таких тренажерів:

Проведення індивідуальних тренувань з членами екіпажів БС та БпАК, які приймають участь в плануванні та керуванні польотом БпЛА та його цільовим навантаженням (задачами місії).

Проведення колективних тренувань з членами екіпажів БС та БпАК, які приймають участь в передпольотної перевірки БпАК, плануванні та керуванні польотом БпЛА та його цільовим навантаженням, з метою злагодженості їх дій як при виконанні окремих етапів польоту, так і в ході різноманітних місій.

Можливість використання для самопідготовки та тренування членів екіпажу.

Можливість відпрацювання основних етапів передпольотної підготовки БпАК конкретного типу згідно з відповідним чек-листом.

Моделювання динаміки польоту конкретного типу БпЛА.

Використання штатних пультів та технічного обладнання робочих місць кожного члену екіпажу конкретного типу БпАК з штатним спеціальним програмним забезпеченням (далі - СПЗ).

Використання різних версій СПЗ польотного комп'ютера конкретного типу БпЛА (у вигляді бінарних файлів) чи самих польотних комп'ютерів, що надаються виробниками таких БпАК.

Наявність окремого робочого місця інструктора тренажера.

Інструктор тренажера повинен мати можливість змінювати параметри місії: пору року, час доби, метеоумови та тощо не тільки перед тренуванням, а й в процесі тренування.

Інструктор тренажера повинен мати можливість задавати, змінювати та виокремити несправності та нештатні ситуації, які можливі при підготовці та

застосуванні БПАК конкретного типу, перед тренуванням і в процесі тренування.

Реалістичність завдання та відтворення метеоумов в ході тренування.

Інструктор тренажера повинен мати можливість зміни завдання та корегування бойової обстановки в ході тренування.

Можливість оперативного оцінювання дій курсантів інструктором тренажера безпосередньо під час та після тренування.

Наявність бази даних курсантів, які тренувались на конкретному тренажері, з зазначенням типів і кількості тренувань й отриманих оцінок.

Логування параметрів польоту та дій курсантів в ході тренування та збереження логів, як в базі даних тренажера так і в «особовій справі курсанта».

Можливість детального аналізу дій курсантів шляхом розбору (програвання) будь-якого з раніше проведених тренувальних польотів (місій).

Можливість одночасного тренування декількох екіпажів в одному віртуальному просторі з використанням різних тренажерів місій.

Література:

1. Формування навичок, понять та умінь в процесі навчальної діяльності.
<https://naurok.com.ua/prezentaciya-formuvannya-navichok-ponyat-ta-umin-v-procesi-navchalno-diyalnosti-307401.html>
2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ВИЩОЇ ШКОЛИ <https://dspace.khadi.kharkov.ua/bitstreams/c7251943-3c50-481a-97d8-4bbc6696f177/download> Ковальова О.М., к.т.н., доц.
3. Гейміфікація http://librarychl.kr.ua/kn_in/informatoria/inf-g.php
4. Cardona-Reyes, H. (2025). Training of Drone Pilots through Virtual Reality Environments under the Gamification Approach in a University Context. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/359181006>

5. Koritarov, T. (2024). Advancing Unmanned Aerial Vehicles Pilots Training. Nordic Journal of Digitalisation, 3(11), 144–148. https://nor-ijournal.com/wp-content/uploads/2024/11/NJD_144-144-148.pdf
6. ГЕЙМІФІКАЦІЯ У СУЧАСНИХ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЦЕСАХ <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21730/17927>
7. Симулятор “Обрій” <https://obriy.airforce/>
8. Симулятор CAE UAS Mission Trainer <https://www.cae.com/defense-security/what-we-do/training-systems/cae-uas-mission-trainer>

UDC: 004.946:004.925:621.396.96

MODELING OF A DRONE CONTROL SYSTEM BASED ON VR TECHNOLOGY

Beldiyarova A. E., V.Zh. Kerimbayeva, R.B. Aitbayeva

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Introduction

Nowadays, virtual reality (VR) technologies are developing at a rapid pace in the fields of engineering, aviation, medicine, and education. Their use in aerial surveillance, filming, cargo delivery, geodetic measurements, and search operations in disaster areas demonstrates the effectiveness of the technology. However, drone control largely depends on the operator's experience, reaction speed, and real-time spatial awareness. In this context, the use of virtual reality (VR) technology takes the process of drone control to a new level.

Virtual reality is a computer-generated three-dimensional space in which the user feels as if they are interacting with the real world. The most common VR devices are VR headsets (e.g. Meta Quest, HTC Vive, Oculus Rift). They accurately track a person's head movements, gaze direction, and sometimes hand movements, creating a fully immersive environment through visual and audio effects.

Theoretical part

VR is one of the key technologies in the interconnected space of reality and virtuality. In this regard, it is distinguished from other digital visualization solutions, such as augmented virtuality and augmented reality. Virtual reality is one of the key technologies in the space that demonstrates the seamless connection between reality and virtuality, and it is distinguished from other digital visualization solutions, such as augmented virtuality and augmented reality. Modern virtual reality systems are based on the use of headsets or multi-projection environments that create realistic images, sounds and other sensory effects to make the user imagine that he is physically present in a virtual space. In most cases,

virtual reality systems include audiovisual feedback, and some also provide sensory and tactile (hand-feeling) effects through special technologies.

1. Basic principles of virtual reality

VR systems consist of three main components:

1. Visual Display (Visual Display) is a screen for the user's eyes, displaying separate images to both eyes, creating a stereo effect.

2. Tracking System — calculates head and body movements using gyroscope, accelerometer, and infrared sensors.

3. Interaction System — allows you to interact with virtual objects using controllers and wearable sensors.

The main advantage of VR technology is the ability to realistically experience movement in space and work with three-dimensional models. This is especially important in engineering and flight simulations.

The main elements of a VR system:

- VR headset (Head-Mounted Display)— a screen that covers the user's entire field of view, displaying 3D video.
- Motion Tracking— records a person's head, hand, and body movements and displays them in a virtual environment.
- Interactive interface— provides interaction between the user and the virtual environment.
- Audio and haptic systems— produces sensory effects such as sound and vibration.

VR technology enhances the user's spatial awareness and creates a real-life environment. This allows the operator to make accurate and safe decisions when controlling the drone.

2. Drone and its control system

A drone (Unmanned Aerial Vehicle — UAV) is an unmanned aerial vehicle. The main types of drones are:

- Quadcopter (four-engine);
- Hexacopters and octocopters (6 or 8 engines);

- Fixed-wing drones.

The drone control system includes:

- On-board controller,
- GPS module,
- Gyroscope and accelerometer,
- Camera or video broadcasting system,
- Includes remote control interface.

Today, drones are widely used not only for amateur photography, but also in geodesy, construction, ecology, military reconnaissance, and agriculture.

The role of VR technology in drone control. In traditional drone control systems, the operator controls the device by looking at a monitor or using a remote control. In this case, the viewing angle is limited, and the orientation in space is not accurate. When using VR technology, the operator sees the world through the "eyes" of the drone, that is, he gets the impression that he is directly observing the events taking place in the flight path with his own eyes.

The main advantages of driving through VR:

- Increases spatial awareness;
- Reaction time is reduced;
- Flight accuracy and safety will increase;
- Allows you to control multiple drones from one center;
- Provides conditions for safe testing for practical and educational purposes.

For example, if the operator is wearing a VR headset and turns his head to the right, the drone's camera will turn in that direction. The drone's speed and altitude are controlled by hand gestures. This creates a natural, intuitive way of controlling it.

3. The principle of combining VR and drones

The main goal of integrating VR technology with a drone is to improve the operator's control experience and create simulations in a safe environment. VR goggles allow you to view the video from the drone's camera in real time, or simulate the drone's movement in the form of a virtual model.

The main elements of such systems are:

- Unity or Unreal Engine are programs for creating three-dimensional environments;
- VR SDK (Software Development Kit) — Oculus SDK or OpenXR libraries;
- Physical algorithms that calculate the modeled motion of the drone (e.g., engine thrust, aerodynamic stability);
- Real-time communication via controller and motion sensors.

Project description

In this work, a virtual drone model was created on the Unity platform and controlled using the Meta Quest 2 VR headset. The user's head movement and the controller's tilt angle affect the direction and speed of the drone. In the VR environment, the flight dynamics, movement trajectory, and altitude of the drone are based on a real physical model.

This way, the user can fully experience the process of controlling the drone in a safe virtual space and get the impression of a realistic flight.

Areas of application and practical significance

Advantages of controlling a drone via VR:

- Safe training process – no risk of damaging the drone;
- Effectiveness as a simulator – operators gain experience similar to real-life situations;
- Interactive visualization – you can learn to navigate in 3D space while flying;
- Educational and research opportunities – used in engineering and programming courses.

Conclusion

In conclusion, the combination of VR and drone technologies is a promising direction in digital engineering and modern education. Through this project, students will have the opportunity to gain hands-on experience with flight physics, motion models, and control algorithms, and test real-world engineering solutions in

a virtual environment. Such systems will pave the way for future improvements in air vehicle control, testing of unmanned systems, and safety simulators.

VR technology opens up new opportunities in the field of drone control. It improves the operator's spatial thinking, increases reaction speed, and increases control accuracy. Simulation of drone control systems based on virtual reality is one of the innovative directions that will form the basis for the development of autonomous and remotely controlled devices in the future.

References:

1. Laval, S. M. Virtual Reality. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. 466 p.
2. Zhumagulova, A. K., & Omarova, G. E. Modeling of unmanned aerial vehicle control systems based on innovative technologies. Almaty: KazNTZU Publishing House, 2022. 98 p.
3. Abulkhair, D. S., Tursynbay, A. K. The use of virtual and augmented reality technologies in engineering education // Journal of Informatics and Robotics. 2023. No. 2. pp. 56–63.
4. Karimov, A. T. New technologies in modeling and control of unmanned aerial vehicles. Astana: L.N. Gumilyov Eurasian National University Publishing House, 2021. 120 p.
5. Khasenova, D. R. Drone training and simulation system using VR technology // Journal of Information Technologies and Engineering Sciences. 2024. No. 3. pp. 41–49.
6. Sarsenbayev, T. M. The role of virtual reality in improving remote control systems for unmanned aerial vehicles. Semey: Shakarim University Press, 2023. 76 p.
7. A guide to creating a virtual drone environment in Unity 3D and Unreal Engine. [Electronic resource]. —\Available: <https://unity.com/>(accessed: 04.11.2025).

UDC 631.674 + 631.452

**EFFICIENCY OF USING A LOOSENER-MOLE PLOW FOR
REGULATING THE SOIL WATER REGIME**

Doszhanov O.M., Ormanbekova A.A., *Doszhanov E.O., *Tuseev T.T.

***Almaty Technological University, Almaty; KazNU* Al-Farabi Kazakh National
University, Almaty***

During loosening–mole plowing, the soil zones above the mole drain improved in looseness and in their water–air properties. The optimal parameters of the drainer and share during loosening–mole plowing ensure structural stability.

Caring for the land, continuously increasing its fertility, protecting soils from erosion, and ensuring their rational use are the keys to stable economic growth and effective solutions to agricultural and social challenges. One of the negative factors that worsens the water–physical condition of soils is compaction caused by the running gear of agricultural machines and implements. To improve such soils, loosening, slotting, and mole plowing tools are used.

The use of these reclamation tools, aimed at accelerating the infiltration of surface water, helps accumulate moisture in the soil profile and speeds up the removal of excess water. Among them, the most widely used method for regulating the water–physical state of soils is mole drainage. This improves soil structure, removes excess moisture from farmland, and enhances soil aeration, resulting in increased crop yields.

However, due to the short service life (2–4 years) of mole drains, this method has not become widely used. The destruction of mole drains depends not only on the mechanical composition of soils but also on the structural and technological parameters of the working body of the drainage machine and its operating modes. From this point of view, a study was conducted on the operation of a loosener–mole plow, which combines the functions of both tools, altering the technological process of laying mole drains. The combination of loosening and mole plowing sufficiently loosens the soil above the drain while minimizing traction resistance and allows for an increase in the drainer diameter.

The loosener–mole plow (a loosener equipped with a debulking share) loosens the soil along its movement path using the share; at the same time, the cut soil layer, passing over the debulking share, fills the slit left by the vertical knife. The drainer, matched to the share's parameters and connected by a flexible link to the heel of the vertical knife, forms a drain in a loosened medium with more uniform density along the perimeter of the mole channel. Therefore, loosening–mole plowing, aimed at accelerating surface water infiltration, is effective not only on heavy but also on light loamy soils, as it redistributes water in the soil profile and accumulates moisture from snow and rainfall. Excess moisture entering the drain spreads along the length of the mole channel.

Considering the high efficiency of deep loosening–mole plowing, it can be applied on sloping lands to prevent water erosion, eliminate waterlogging in low-relief areas, and, at the same time, prevent pollution of water bodies.

The study showed that with a ratio of b/d above 0.65–0.85 (where b is the width of the debulking share and d is the diameter of the drainer), resistance continues to slightly decrease, but proper mole formation is not achieved and the cavity density becomes insufficient. Table 1 presents data on the hardness of the mole drain cavity during loosening–mole plowing ($b/d = 0.7$) and mole plowing (in both cases, drain diameter $d = 100$ mm). Earlier studies examined the working process of loosening–mole plowing of mineral soils [1,2] and its effects on improving the physical–mechanical, water–air, and thermal properties of mineral soils. During this period, various parameters were studied, in particular the hardness of the surface of the mole drain cavity (Table 1)

Table 1. Hardness of the mole drain cavity surface

Surface of the cavity	Hardness (MPa) - Loosening–Mole Plowing	Hardness (MPa) - Mole Plowing
Upper part (arch)	0.5	0.3
Side walls	0.6	1.2
Bottom	0.7	0.7

These data show that the cavities formed during loosening–mole plowing with $b/d = 0.7$ are sufficiently dense at the arch, but significantly less so on the side walls compared to standard mole plowing. The obtained results indicate that mole channels formed with the loosener–mole plow are more efficient, as the density along the perimeter is more uniform. Consequently, the service life of mole drains made by loosening–mole plowing increases by more than 1.5 times compared to conventional mole plowing.

During the loosening–mole plowing process, the deviation of the drainer from the horizontal plane was within 0–2 degrees. This is explained by the fact that the share, geometrically matched to the drainer, leaves a suitable space behind it for the drainer. The drainer should be located 300–400 mm behind the heel of the vertical knife, calibrating the loosened soil along its cylindrical surface.

Thus, during loosening–mole plowing, a continuous loosened zone was formed above the mole drain, which accelerates the filtration of surface water into the drain. As a result, the physical–mechanical, water–air, and thermal properties of mineral soils improved.

References:

1. Doszhanov O.M. On the issue of studying the working process of loosening–mole plowing of mineral soils. Collection of Scientific Papers, TIIMSH, Tashkent, 1986, Issue 153, pp. 96–99.
2. Doszhanov O.M., Kusherov K.B., Serikbaev T.S., Doszhanov E.O., Orazbayev A.E. Factors of intensifying agricultural production. Bulletin of KazNU, Ecological Series, No. 2 (34), 2012, pp. 73–76.

UDC: 621.791 + 62-50

COMPUTER DIAGNOSTICS OF MACHINES

Eleusiz A.M.

*Almaty Technological University, Department of Automation and Robotics,
Almaty, Kazakhstan*

Introduction

In modern industry, the continuous, reliable, and safe operation of machinery is fundamental to production efficiency, product quality, and occupational safety. The increasing complexity of production processes, the automation of equipment, and the widespread use of high-tech machinery necessitate constant monitoring of the technical condition of machines. In this context, one of the most effective ways to reduce maintenance and repair costs and prevent production downtime is the early detection of machinery condition through the implementation of computer-based diagnostic systems.

Computer diagnostics involves the monitoring and analysis of the technical condition, operating modes, and the development dynamics of faults and wear in machines and industrial equipment. This method is based on processing real-time data collected via sensors using specialized software tools. Such technologies enable the early detection of faults, facilitating the planning of maintenance activities and preventing unexpected breakdowns. Currently, diagnostic systems encompass vibration analysis, thermographic inspection, acoustic signal processing, electrical parameter monitoring, and other advanced techniques. Moreover, machine learning, artificial intelligence, and big data analytics technologies provide significant opportunities to automate the diagnostic process, improve accuracy, and optimize maintenance procedures.

However, the effective integration of computer diagnostic systems into industrial environments is a complex and multifaceted challenge. It requires the development of tailored solutions adapted to each type of production, machine model, and operational condition. Additionally, the reliability and quality of

sensors and data processing tools, as well as the accuracy and efficiency of diagnostic algorithms, must be thoroughly investigated. Correct interpretation of diagnostic results and decision-making based on these outcomes play a crucial role in ensuring production reliability and economic efficiency.

Therefore, the aim of this study is to conduct a comprehensive analysis of computer diagnostic methods for machinery, identify their advantages and limitations, and explore effective approaches for their application in real industrial conditions. The research includes a comparative analysis of diagnostic methods, evaluating their effectiveness and scope based on industrial practice. Furthermore, the impact of machine learning and intelligent analysis techniques on the diagnostic process is examined. The results of this study provide practical recommendations for improving maintenance and repair operations, reducing production downtime, and extending the service life of equipment.

Methodology

This study comprehensively examined a variety of computer diagnostic methods commonly employed in industrial machinery condition monitoring. The primary techniques investigated included vibration diagnostics, thermographic inspection, acoustic analysis, and electrical parameter monitoring. Each method was selected based on its unique capability to detect specific types of faults and degradation mechanisms in machinery, allowing for a multifaceted approach to fault detection and maintenance optimization.

The research began with a thorough literature review and theoretical analysis to establish the principles, advantages, and limitations of each diagnostic method. Following this, a comparative evaluation was conducted to assess the effectiveness and practical applicability of these techniques in real-world industrial environments.

In the experimental phase, a set of industrial machines representing typical production equipment were instrumented with various sensors tailored to capture relevant diagnostic data. Vibration sensors measured oscillation amplitudes and frequencies; infrared cameras collected thermal images to identify abnormal heat

patterns indicative of wear or overheating; acoustic sensors recorded sound emissions to detect anomalies such as cavitation or mechanical looseness; and electrical monitoring devices tracked parameters such as current, voltage, and resistance fluctuations linked to electrical faults.

Data acquisition was performed continuously over an extended operational period, allowing for the collection of real-time and historical data reflecting both normal operating conditions and emerging faults. The gathered datasets were then processed using advanced computational tools. Statistical analysis techniques—including time-domain and frequency-domain analyses—were applied to extract meaningful features from raw sensor data.

Moreover, to enhance the diagnostic accuracy and automate fault detection, machine learning algorithms were implemented. Supervised learning models were trained on labeled datasets to classify machine conditions and predict potential failures. These models incorporated algorithms such as decision trees, support vector machines, and neural networks, selected based on their suitability for pattern recognition and anomaly detection in sensor data.

The integrated use of statistical and machine learning methods enabled a robust evaluation of the diagnostic system's performance in terms of accuracy, sensitivity, and timeliness. Key performance indicators included the system's ability to detect faults at an early stage, reduce false positives, and support predictive maintenance planning.

Overall, this multi-methodological approach provided a comprehensive framework for analyzing the strengths and weaknesses of different computer diagnostic technologies, facilitating the development of optimized maintenance strategies tailored to specific industrial needs.

Results and Discussion

The research results confirmed the effectiveness of computer diagnostics for machines. Vibration and thermographic methods showed high performance in early fault detection. Electrical parameter monitoring enabled forecasting of technical faults.

Table 1. The main characteristics of diagnostic methods and their application efficiency

Diagnostic Method	Key Indicators	Efficiency (%)	Application Area
Vibration Diagnostics	Vibration amplitude, frequency	85	Detection of mechanical faults
Thermographic Inspection	Thermal imaging map	80	Overheating, wear issues
Acoustic Analysis	Noise processing	75	Air faults, noise levels
Electrical Monitoring	Current, voltage, resistance	70	Electrical system diagnostics

The analysis shows that comprehensive use of diagnostic methods provides complete and accurate information about the technical condition of machines. The speed and accuracy of data processing by computer systems optimize maintenance scheduling and ensure uninterrupted production.

Conclusions

Computer diagnostic methods enable early detection of machine faults and efficient maintenance planning. Vibration and thermographic diagnostics have the highest effectiveness, but combined application improves results further. Use of machine learning algorithms automates diagnostic data processing and reduces errors. Implementation of computer diagnostics in industrial processes increases equipment reliability and reduces economic costs. Future improvements in diagnostic systems require enhancement of sensor quality and development of analytical software.

References:

1. Zhang L., Wang Y. Machine Condition Monitoring Using AI Techniques. New York: Springer, 2022.
2. Johnson R. Predictive Maintenance and Diagnostics. — Wiley, 2022.

UDC 004.896:631.3

MOBILE ROBOT FOR AGRICULTURAL RESEARCH USING SENSORS AND COMPUTER VISION SYSTEMS

Arkotov Yerikzhan, Angarbekov Ulan

Introduction. In recent decades, agriculture has become one of the most dynamically developing sectors of the global economy. With the growth of the world's population and the limited availability of natural resources, there is a need to increase crop yields and the efficiency of agricultural production. Traditional methods of studying soil and plant conditions require significant labor and do not always provide sufficient accuracy of the data obtained.

Modern technologies come to the rescue — robotics, sensor systems, computer vision, and artificial intelligence. Their integration into agricultural research allows for the automatic collection and analysis of information, significantly improving the quality of research and contributing to the development of the concept of 'smart farming' [1-5].

Mobile robots equipped with sensors and computer vision systems are already being used in developed countries. They monitor soil conditions, detect plant diseases, predict crop yields, and help optimize agricultural processes. Цель и задачи исследования

The goal is to analyze the possibilities and prospects of using mobile robots with sensors and computer vision for conducting agricultural research.

Tasks:

- Consider the principles of operation of a mobile robot in the agricultural sector.
- Study sensor systems and computer vision algorithms.
- Evaluate existing platforms for robot development.
- Provide examples of applications in global practice.
- Identify the advantages, limitations, and prospects for technology development.

- Principles of mobile robot operation

The mobile robot for agricultural research is an autonomous platform equipped with a set of sensors, cameras, and computing modules.

Sensor systems

Sensors provide data collection on soil and environmental conditions:

- Soil moisture and temperature sensors;
- pH meters and soil composition sensors;
- Spectral sensors for analyzing the photosynthetic activity of plants;
- Air moisture and temperature sensors.

Computer Vision

A key element is the computer vision system, which analyzes images of plants:

- RGB cameras – capture the visual condition of plants;

Hyperspectral cameras – detect plant stress that is invisible to the human eye;

Thermal imagers – determine water balance and early signs of diseases.

Machine learning algorithms make it possible to automatically detect the presence of diseases, pests, nutrient deficiencies, or damage [2].

Navigation and movement

To move around the field, the robot uses:

- GPS and RTK-GPS for precise positioning;
- LiDAR and ultrasonic sensors for obstacle avoidance;
- Inertial modules for maintaining course.

Data processing

The data is processed in real time on an embedded computer (e.g., Raspberry Pi or NVIDIA Jetson) and can be transmitted to the cloud for analysis and storage.

Platforms and technologies used

Hardware part:

Arduino – control of simple sensors.

Raspberry Pi – image processing.

NVIDIA Jetson Nano – analysis of large data sets and working with neural

networks.

Software:

ROS (Robot Operating System) – motion control and component interaction.

OpenCV – image processing and object recognition.

TensorFlow / PyTorch – training and applying neural network models

IoT platforms – data storage and visualization.

Development stages

Selection of a mobile chassis (wheeled or tracked).

Integration of sensors and cameras.

Connection of the computing module.

Software development.

Testing in laboratory conditions.

Trials in field conditions.

Examples of applications in global practice

Japan – mobile robots help monitor the condition of rice fields by controlling humidity and water levels.

USA – in California, robots are used to monitor vineyards, where they assess the ripeness of grapes and predict yields.

Europe – in the Netherlands, robots are employed in greenhouses for automatic detection of diseases in tomatoes and cucumbers.

Kazakhstan and the CIS – such technologies are just beginning to be implemented, but they are especially relevant for large agricultural areas.

Economic efficiency and advantages

Reduction of labor costs.

Increased accuracy of research.

Possibility of round-the-clock monitoring.

Reduction of crop losses through early detection of problems.

Creation of a database for yield forecasting.

Problems and limitations

High cost of equipment and maintenance.

Dependence on weather conditions.

Need for specialists in programming and robotics

Limited autonomy when operating over large areas.

Conclusion and prospects

Mobile robots equipped with sensors and computer vision are opening new horizons for agricultural research. They enable the automation of information collection, minimize errors, and increase the efficiency of agriculture. In the future, such systems will be integrated with drones, autonomous vehicles, and the Internet of Things, leading to the creation of fully digital farms. The development of such technologies is a strategic direction that will help ensure food security, optimize resource use, and move towards sustainable agriculture.

References:

1. Zhang Q., Kovacs J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 2012.
2. Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 2018.
3. Gonzalez-de-Santos P. et al. Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Robotics and Autonomous Systems*, 2017.
4. Ahmed N., De Baerdemaeker J., Anthonis J. Internet of Things for smart agriculture: Technologies, practices and future directions. *Journal of Agricultural Informatics*, 2018.
5. Kamalov R.R. Robotic systems in agriculture: prospects for application. // *Bulletin of Agro-Industrial Complex*, 2021.

UDC: 662.997 + 62-50

AUTOMATION OF SOLAR DRYER FOR FRUITS AND VEGETABLES

Beisembayeva A., Ormanbekova A. A., Butabaev M. Kh.

Almaty Technological University, Kazakhstan

Introduction

Modern agriculture requires efficient technologies for processing and storing crops. One of the most in-demand processes is the drying of fruits and vegetables, which preserves their nutritional and biological value. Traditional solar dryers depend on weather conditions and require constant operator monitoring, which reduces their efficiency.

The aim of this work is to justify and develop an automation system for a solar dryer for fruits and vegetables.

Main part

A solar dryer is a system that operates using solar radiation and natural air circulation. To ensure a stable drying process, it is necessary to control the temperature inside the chamber, humidity levels, and the intensity of the airflow [1].

The implementation of an automated control system involves the use of the following components (figure 1):

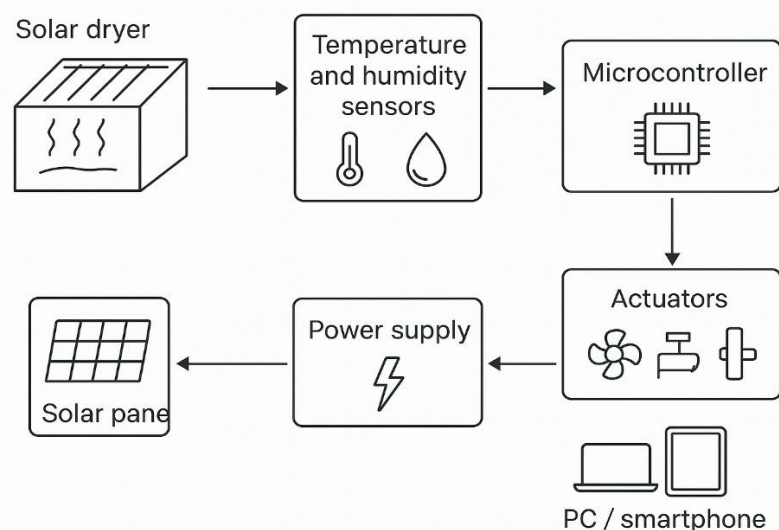


Figure 1 – Structural diagram of an automated solar dryer for fruits and vegetables

- temperature and humidity sensors for environmental monitoring;
- a microcontroller (e.g., Arduino or STM32) for signal processing;
- actuators (fans, dampers, heating elements if necessary);
- a power supply unit with the possibility of connection to solar panels.

The software allows the implementation of an algorithm to maintain the optimal temperature (40–60 °C) and humidity, which prevents overdrying or underdrying of products. Automation also enables remote monitoring of parameters through mobile applications or a personal computer. [2]

Conclusion

Thus, the automation of a solar dryer is a relevant direction in agro-industrial production. It contributes to increasing the efficiency of crop processing, preserving the nutritional properties of products, and developing energy-saving technologies.

References

1. Kozhakhmetov D.S., Smagulov A.N. Solar dryers for processing fruits and vegetables. Bulletin of Agricultural Science, 2022, № 3, p. 45–52.
2. Kumar A., Tiwari G.N. Solar drying of agricultural products: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, Vol. 55, p. 346

UDC: 631.147:004.932.2+621.396.96

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE VISION IN UAV-BASED MONITORING OF AGRICULTURAL CROPS

Ormanbekova A., Nurgali N., Dzumabekova Z., Karataeva Zh.

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Introduction

Agriculture remains a key sector of the global economy, but modern farming faces serious challenges such as population growth, climate change, and limited natural resources. Ensuring food security under these conditions requires the adoption of innovative technologies that can increase efficiency and sustainability.

Traditional crop monitoring methods are often based on manual field inspections. While widely used, these approaches are time-consuming, labor-intensive, and not always accurate. Farmers usually detect plant stress or disease only when visible symptoms appear, which often means that crop damage has already become severe. This situation highlights the need for new methods that enable fast and precise assessment of crop conditions.

Unmanned aerial vehicles (UAVs), or drones, have recently become an effective solution in precision agriculture. They can capture high-resolution aerial imagery of fields using RGB, multispectral, or thermal cameras. Such data provide valuable insights into crop growth, nutrient levels, and potential stress factors like pests or drought. UAVs are relatively affordable, flexible in use, and capable of monitoring large areas in a short time compared to traditional methods or satellite imagery.

Artificial intelligence (AI) and machine vision significantly expand the potential of UAV applications. By processing aerial images with computer vision algorithms and deep learning models, it becomes possible to detect diseases, measure biomass, and calculate vegetation indices such as NDVI. These technologies allow farmers to identify problems at an early stage and make timely

management decisions, which helps reduce costs and minimize environmental impact.

Recent studies confirm the benefits of integrating UAVs and AI into agriculture. Research has shown that UAV-based monitoring systems can achieve accuracy rates of over 90% in detecting crop diseases and deficiencies. In addition, the automation of UAV flights ensures systematic data collection, making crop monitoring more reliable and scalable.

Nevertheless, several challenges remain, including limited battery life, high equipment costs, and regulatory restrictions. Despite these obstacles, technological progress continues to improve UAV performance and machine vision algorithms, making their large-scale adoption increasingly feasible.

The aim of this research is to develop a UAV-based crop monitoring system using machine vision and AI technologies. The proposed system will enhance precision agriculture by providing farmers with timely information about crop health, enabling efficient resource management and sustainable food production.

Materials and methods

The development of the UAV-based crop monitoring system required a combination of hardware, software, and experimental field trials. The methodology was designed to ensure accurate data collection, effective image processing, and reliable interpretation of crop conditions.

UAV Platform

For aerial data collection, a quadcopter-type UAV was selected due to its stability, maneuverability, and suitability for small- to medium-scale agricultural fields. The UAV was equipped with interchangeable payload modules, allowing integration of both RGB and multispectral cameras. The RGB camera was used for capturing high-resolution visual images, while the multispectral sensor collected reflectance data in specific bands (red, green, blue, near-infrared) to calculate vegetation indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The UAV system included GPS navigation, an autopilot controller, and real-time telemetry for efficient flight operations.

Data Collection Protocol

Field experiments were conducted in agricultural test plots representing typical crop types such as wheat, corn, and soybean. UAV flights were scheduled during optimal weather conditions to minimize atmospheric interference, typically in the early morning or late afternoon. Autonomous flight plans were pre-programmed using specialized UAV mission-planning software, ensuring consistent altitude, overlap, and coverage across the study area. The flight altitude ranged between 30–60 meters, providing ground sampling distances of 2–5 cm per pixel. Each field was monitored at regular intervals throughout the growing season to capture changes in crop health and development.

Image Processing and Machine Vision

The captured imagery was processed using machine vision algorithms and deep learning models. Preprocessing steps included geometric correction, radiometric calibration, and image mosaicking to create orthophotos of the fields. Vegetation indices such as NDVI and GNDVI were computed to quantify crop vigor and detect areas of stress.

For automated stress detection, convolutional neural networks (CNNs) were trained on annotated image datasets of healthy and stressed crops. Data augmentation techniques were applied to improve model robustness, and transfer learning was used to accelerate training. The trained model achieved high classification accuracy in distinguishing between healthy plants, nutrient deficiencies, pest damage, and early-stage diseases.

System Integration

The UAV platform, sensors, and image analysis algorithms were integrated into a prototype decision-support system. A cloud-based data storage and processing infrastructure was implemented to handle large image datasets. Results were visualized through a geographic information system (GIS) interface, enabling farmers and agronomists to monitor crop conditions in real time.

Evaluation Metrics

System performance was evaluated based on accuracy, precision, and recall of stress detection, as well as flight efficiency and processing time. Comparative analysis was conducted between UAV-based monitoring and traditional ground-based inspections to assess improvements in early detection and overall productivity.

Results and discussion

The UAV-based crop monitoring system was tested under real field conditions to evaluate its efficiency in detecting crop stress. The flights were conducted over experimental plots of approximately 15 hectares, where the quadcopter demonstrated stable performance and effective coverage of the area. Each mission was completed within 20–25 minutes, achieving a ground sampling distance of about 3 cm per pixel, which was sufficient for detailed crop health monitoring. Although battery life limited the duration of flights to around 30 minutes, the use of interchangeable batteries allowed continuous operation without significant downtime.

The imagery collected by the UAV was successfully processed into orthophotos and analyzed for vegetation indices. NDVI maps provided clear evidence of spatial variability in crop conditions, highlighting areas of nutrient deficiency, water stress, and disease presence. Importantly, the system enabled early detection of stress symptoms before they became visible to the human eye. This early identification provided farmers with a valuable opportunity to intervene promptly and minimize potential yield losses.

Machine vision analysis using convolutional neural networks (CNNs) demonstrated high reliability in classifying crop conditions. The model achieved an average accuracy of 91% in distinguishing healthy plants from those affected by pests, nutrient deficiencies, or fungal infections. Precision and recall values exceeded 88%, which confirmed the robustness of the approach. One of the most significant advantages was that the UAV–AI monitoring system was able to detect early signs of fungal infections and nitrogen deficiencies 7–10 days before they could be identified by traditional ground-based inspections.

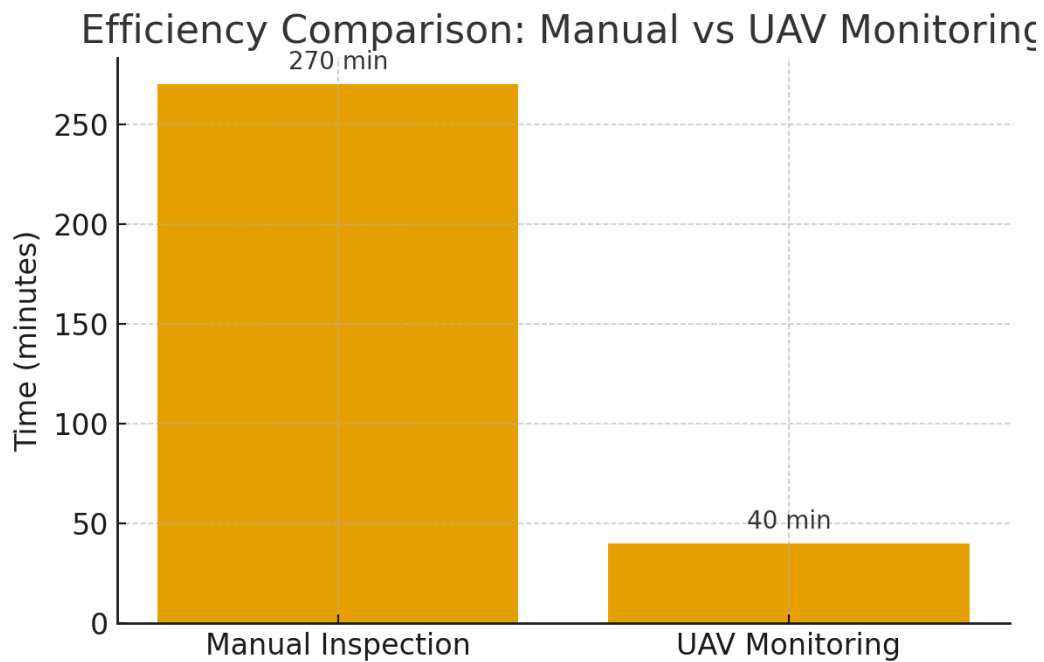


Figure 1. Efficiency comparison between manual inspection and UAV-based monitoring

Compared to conventional manual monitoring methods, the UAV-based approach proved to be significantly more efficient. Ground inspections required 4–5 hours (around 270 minutes) to cover a 15-hectare plot, whereas the UAV system, including both flight and data processing, completed the same task in approximately 40 minutes (Figure 1).

Table 1. Comparison of manual inspection and UAV-based monitoring

Indicator	Manual Inspection	UAV Monitoring	Time Saved (%)
Plot Coverage	15 ha	15 ha	-
Time	270 min	40 min	70%
Detection Accuracy	~80%	91–92%	+11–12%

This represents a time saving of more than 70%. In addition, while ground inspections provide only point-based observations, UAV imaging generated

continuous spatial data for the entire field, ensuring a more comprehensive understanding of crop conditions.

The practical benefits of such a system are considerable. By identifying the specific locations of stressed crops, farmers can apply fertilizers, pesticides, and irrigation more precisely, reducing unnecessary input use. Field trials indicated that chemical usage could be reduced by up to 20% when guided by UAV-based monitoring, which not only lowers production costs but also supports sustainable agricultural practices. Nevertheless, certain challenges remain, including limited flight endurance, dependence on favorable weather, and the high cost of advanced multispectral sensors. Despite these limitations, the results confirm that UAV–AI systems offer a significant improvement over traditional methods and represent a key step toward the digital transformation of agriculture.

Conclusion

The conducted research demonstrates that UAV-based crop monitoring systems integrated with machine vision and artificial intelligence provide an effective solution for precision agriculture. The system successfully detected crop stress factors such as nutrient deficiencies, diseases, and pest infestations at an early stage, achieving higher accuracy and efficiency compared to traditional monitoring approaches. By enabling precise and timely interventions, the proposed method reduces input costs, minimizes chemical usage, and supports sustainable farming practices. The ability of UAV–AI integration to provide spatially continuous data across large fields represents a significant advancement over conventional manual inspections, which are time-consuming and labor-intensive.

Despite inherent limitations—such as restricted flight endurance, high sensor costs, and regulatory constraints—the advantages of UAV technology, particularly in early stress detection and precision resource management, substantially outweigh these challenges. Continuous advancements in battery performance, AI algorithms, and sensor technology are expected to further enhance the scalability and accessibility of UAV-based systems in the near future. The study confirms that UAV monitoring systems contribute directly to the principles of Agriculture 4.0,

promoting the digital transformation of farming and ensuring higher productivity while reducing environmental impact.

References:

1. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712.
2. Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113.
3. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
4. Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.
5. Li, L., Zhang, Q., & Huang, D. (2014). A review of imaging techniques for plant phenotyping. *Sensors*, 14(11), 20078–20111.

UDC 62-50:004.8:631.36

AUTOMATION OF IRRIGATION AND VENTILATION PROCESSES IN GREENHOUSES BASED ON SMART SENSOR SYSTEMS

Zholdasbai Tomiris, Sultanbay Aknur, Dzhulaeva Zhazira

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Sustainable agriculture increasingly depends on the ability to precisely manage environmental factors within protected cultivation systems. Greenhouses play a key role in meeting the growing demand for fresh vegetables and herbs while minimizing environmental impact. However, traditional control methods—based on manual irrigation and ventilation—are inefficient and depend heavily on human experience.

Automation of microclimate regulation through smart sensor systems and intelligent algorithms represents a promising direction for improving energy and water efficiency. Recent studies have demonstrated that integrating IoT technologies with climate control systems significantly enhances productivity and resource optimization in agriculture.

The proposed automation system follows a modular IoT architecture comprising three levels:

- Sensor layer — includes soil moisture sensors, air temperature and humidity sensors, CO₂ concentration meters, and light sensors.
- Control layer — based on a microcontroller (e.g., Arduino, ESP32, or Raspberry Pi) that collects data, analyzes it, and activates actuators (valves, fans, and pumps).
- Cloud and user interface layer — enables real-time data visualization, remote monitoring, and control via web or mobile applications.

Control logic is based on threshold algorithms and can be enhanced through adaptive and predictive models using machine learning. The system activates irrigation when soil moisture drops below the optimal range and adjusts ventilation speed according to temperature and CO₂ concentration.

Simulation and field testing of similar IoT-based greenhouse control systems show significant benefits:

- Water consumption reduction by up to 40–45% through precision irrigation;
- Energy savings of about 20% due to optimized ventilation and fan operation;
- More stable microclimate conditions, with temperature variation within ± 1.5 °C;
- Yield increase of 12–18%, resulting from balanced humidity and temperature levels.

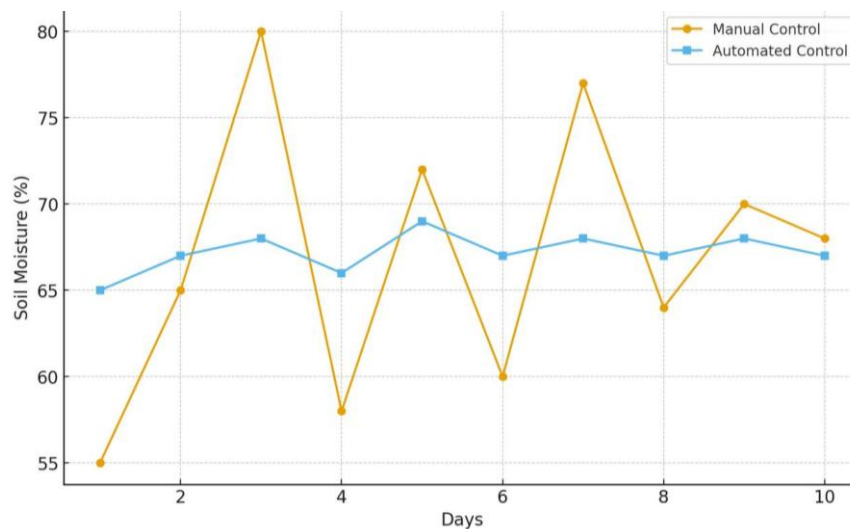


Figure 1 – Soil Moisture Dynamics Under Different Control Modes

Integration with artificial intelligence enables predictive control—anticipating environmental changes and adjusting system parameters in advance. Furthermore, the scalability of IoT networks allows such systems to be adapted for both small farms and industrial greenhouse complexes.

- The automation of irrigation and ventilation processes based on smart sensor systems is a key step toward sustainable and resource-efficient greenhouse production.

- The use of IoT and intelligent algorithms ensures precise microclimate management, minimizing human errors and resource waste.
- Implementing adaptive control systems contributes to increased crop productivity and reduced environmental impact.
- Future work should focus on integrating renewable energy sources and AI-based decision-support systems to develop fully autonomous greenhouses.

References:

1. Smith J., Patel R. Smart Greenhouse Management Using IoT and AI Technologies // Journal of Agricultural Informatics. – 2024. – Vol. 11(2). – P. 55–64.
2. Zhao L. et al. Intelligent Irrigation Control for Sustainable Greenhouse Production // Computers and Electronics in Agriculture. – 2023. – Vol. 205. – P. 107–119.
3. Gonzalez F., Wang T. Automated Climate Control and Energy Optimization in Greenhouses // Applied Engineering in Agriculture. – 2024. – Vol. 40(1). – P. 35–42.
4. Ivanov I., Petrova A. IoT-Based Environmental Monitoring Systems in Protected Cultivation // Agroinformatics. – 2022. – Vol. 9(3). – P. 25–33.

UDC 62-50:004.8:631.36

INTELLIGENT GREENHOUSE AUTOMATION AS A TRANSITION TO SUSTAINABLE AGRICULTURE

Jamanbayev Muratkali, Zholdasbai Tomiris, Iskakova Tolkynai, Masaeva

Aigerim

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Modern agriculture faces global challenges associated with climate change, population growth, and the depletion of natural resources. According to FAO forecasts, by 2050 world food production must increase by at least 60%, which requires the adoption of innovative technologies that ensure high productivity while reducing the negative impact on the environment.

Greenhouse crop production is an important tool for achieving stable yields; however, traditional methods face a number of limitations, such as high water and energy consumption, excessive use of fertilizers, and dependence on the human factor. In this context, the transition to intelligent automation becomes necessary, with digital technologies such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and big data analytics playing a central role.

Intelligent automated control systems make it possible to continuously monitor key microclimate parameters (temperature, air and soil humidity, CO₂ concentration, light intensity), adaptively regulate irrigation and fertilization regimes, and predict plant development based on machine learning algorithms. This opens opportunities for significant optimization of resource consumption and for strengthening the resilience of agroecosystems.

Despite the growing interest in intelligent agriculture [1–3], questions remain regarding the practical assessment of such systems' impact on production efficiency and their scalability in both industrial greenhouse complexes and small farming enterprises.

The aim of this study was to conduct a comprehensive assessment of the impact of intelligent greenhouse automation systems on production efficiency and environmental sustainability of crop cultivation.

For the experiment, an automated greenhouse module was developed in accordance with IoT architecture principles. The module was equipped with:

- IoT sensors for monitoring air temperature, soil and air humidity, light intensity, and CO₂ concentration;
- AI-based algorithms for adaptive control of the microclimate and irrigation;
- a data collection and processing platform for analyzing resource consumption and yield dynamics.

During a 90-day cultivation cycle of lettuce and tomatoes, the following parameters were recorded: energy consumption, water use efficiency, fertilizer input, and crop yield per unit area. Additionally, the stability of the microclimate was evaluated under different control regimes: traditional (manual) versus intelligent.

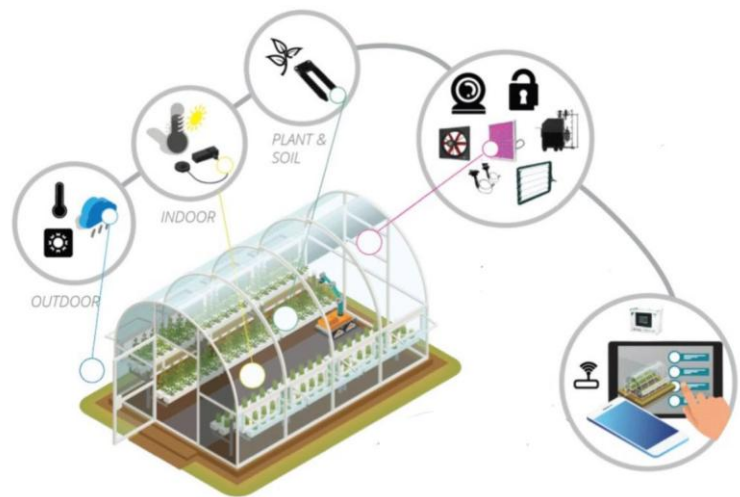


Figure 1 – Experimental greenhouse module equipped with IoT sensors

Comparative analysis demonstrated that the implementation of intelligent automation led to a significant reduction in resource consumption: water use decreased by up to 40%, energy consumption by 25%, and fertilizer usage by 30%.

At the same time, yield increased by 15–20% compared to traditional methods. Moreover, the intelligent system ensured greater stability of microclimate regulation, as confirmed by the reduced fluctuations in temperature and humidity parameters (Figures 2–4).

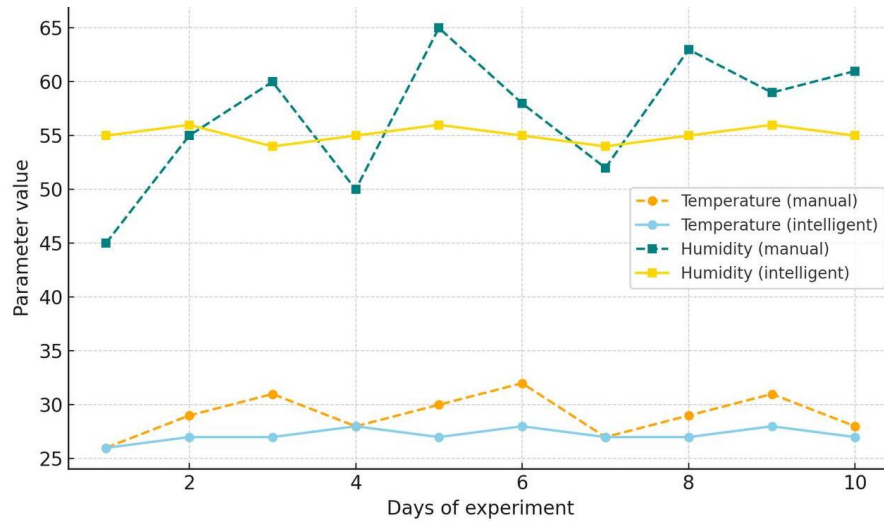


Figure 2 –Dynamics of Microclimate Stabilization

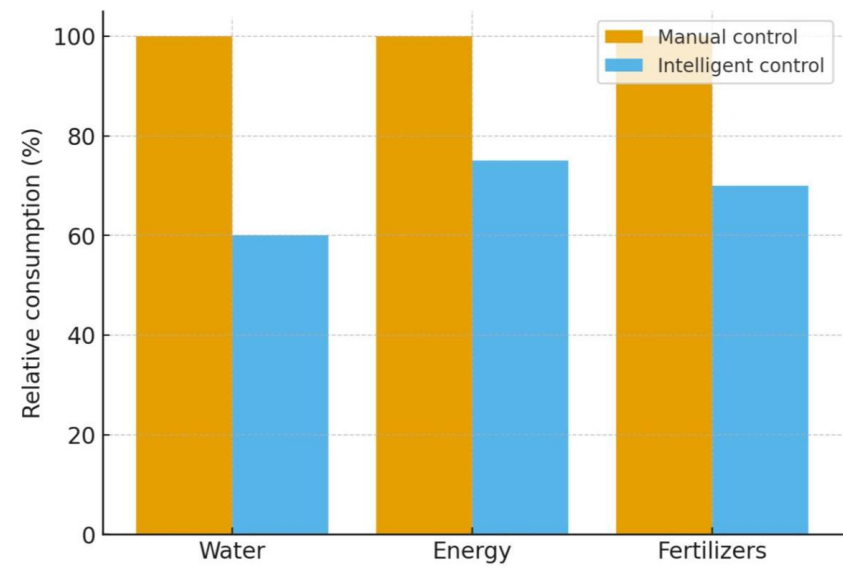


Figure 3 – Comprative resource consumption

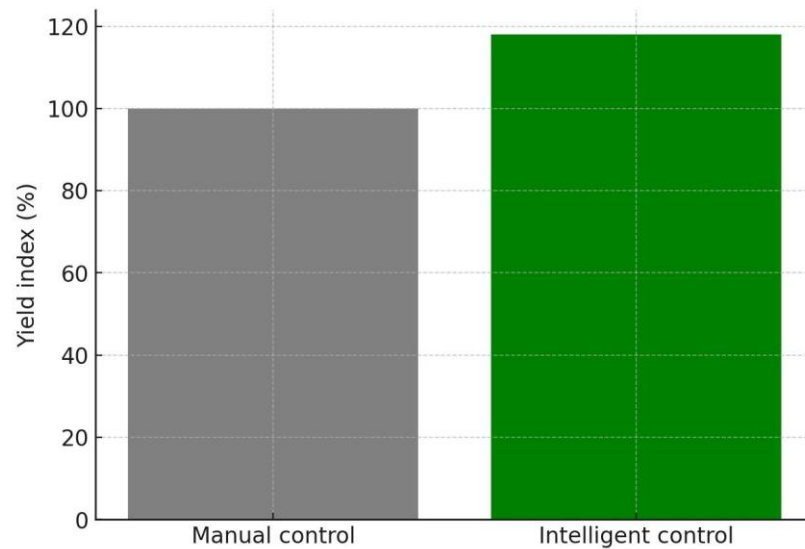


Figure 4 – Crop yield comparison

Conclusions

1. The use of intelligent greenhouse automation systems not only optimizes cultivation processes but also contributes to the implementation of sustainable agriculture principles.
2. The experiment confirmed that adaptive microclimate control creates optimal conditions for plant growth while minimizing environmental costs.
3. The integration of IoT and AI technologies reduces dependence on human intervention, ensuring more precise and timely decision-making.
4. The results indicate strong potential for the large-scale adoption of intelligent automation in both industrial greenhouse complexes and small farming enterprises.
5. The scaling of such solutions paves the way for the development of “smart agri-industrial ecosystems,” which in the long term can contribute to global food security and sustainable agricultural development.

References:

1. Smith J., Patel R. Smart farming systems: applications and challenges // Journal of Sustainable Agriculture. – 2020. – Vol. 12(3). – P. 45–52.

2. Zhao L. et al. AI-based irrigation control in greenhouse conditions // Agrioinformatics. – 2019. – Vol. 7(1). – P. 33–39.
3. Gonzalez F. Advances in autonomous greenhouse management // Environmental Control in Agriculture. – 2021. – Vol. 9(4). – P. 66–73.

СЕКЦІЯ 3

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

УДК 004.9:656.1:711.7

СМАРТ-ПАРКУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПОТОКОМ У МІСТАХ

Журавльов В. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Сучасні мегаполіси стикаються з безпрецедентним зростанням автомобільного транспорту, що призводить до перевантаження транспортної інфраструктури, зростання часу у дорозі, підвищення економічних витрат на логістику та транспортне обслуговування, погіршення екологічної ситуації. Однією з основних проблем, що виникають у містах з високим рівнем автомобілізації, є дефіцит паркувальних місць та неефективне їх використання. Згідно з дослідженнями, до 30 % трафіку центральних частин міст складається з автомобілів, що шукають вільне місце для паркування [1]. Це призводить до збільшення заторів, підвищення рівня забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин та зниження якості життя мешканців міста. Традиційні методи управління транспортними потоками, такі як статичні знаки, ручне регулювання паркування і механічні паркомати, часто виявляються неефективними та не відповідають вимогам сучасних урбаністичних умов. Відповіддю на ці виклики є впровадження систем смарт-паркування, які базуються технологіях Інтернету речей (IoT), мобільних додатках та аналітиці даних.

Смарт-паркування виступає ключовим компонентом інтегрованого управління транспортним потоком та є одним з найактуальніших напрямів розвитку інтелектуальних транспортних систем, що сприяють підвищенню ефективності використання міського простору, зменшенню заторів і покращенню екологічної ситуації в урбанізованих районах. Інтеграція технологій IoT, вбудованих сенсорних технологій та мобільних додатків дозволяє створювати динамічні, адаптивні та зручні для користувачів

системи паркування, які оптимізують процеси пошуку вільних місць, бронювання, оплати і моніторингу.

Основними компонентами системи смарт-паркування є:

1) сенсори: встановлюються безпосередньо на паркувальних місцях та фіксують їх стан (вільне/зайняте). Залежно від технології, використовуються ультразвукові, інфрачервоні, магнітні або радарні датчики;

2) мережі передачі даних: забезпечують комунікацію між сенсорами та центральною платформою. Для цього використовуються різні протоколи, такі як LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi або Bluetooth.

3) централізовані платформи: обробляють отримані дані, здійснюють аналітику та надають інформацію користувачам через мобільні додатки або веб-портали;

4) мобільні додатки: надають водіям інформацію про наявні паркувальні місця, дозволяють здійснювати бронювання та оплату, а також отримувати навігаційні вказівки до обраного місця [2, 3].

Отже, смарт-паркування, засноване на технологіях IoT, передбачає використання сенсорних технологій для моніторингу стану паркувальних місць у реальному часі. Сенсори, вбудовані в дорожнє покриття або встановлені на паркувальних майданчиках, фіксують наявність або відсутність транспортного засобу на конкретному місці. Ці дані передаються через бездротові мережі до централізованої платформи, яка обробляє інформацію та надає її користувачам через мобільні додатки або інформаційні табло.

Інтеграція системи смарт-паркування з іншими компонентами інтелектуальної транспортної інфраструктури, такими як адаптивне регулювання світлофорів, системи моніторингу трафіку та прогнозування навантажень, дозволяє досягти комплексного управління транспортними потоками в місті. Наприклад, дані про зайнятість паркувальних місць можуть бути використані для коригування режимів роботи світлофорів, що сприяє зменшенню заторів та підвищенню пропускної здатності доріг. Крім того,

об'єднання даних із системи паркування з інформацією від дорожніх камер, GPS-трекерів громадського транспорту та платформ аналізу навантаження дозволяє прогнозувати заповненість паркувальних зон та планувати заходи щодо перенаправлення потоку транспорту у реальному часі.

Впровадження систем смарт-паркування приносить низку переваг. По-перше, зменшується час, витрачений водіями на пошук вільного місця для паркування, що безпосередньо зменшує затори та знижує рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу. По-друге, оптимізація використання наявних паркувальних місць дозволяє зменшити потребу в будівництві нових паркувальних об'єктів, що економить ресурси місцевого бюджету та зберігає урбаністичний простір. По-третє, інтеграція з іншими компонентами інтелектуальної транспортної інфраструктури дозволяє досягти більш ефективного управління транспортними потоками та підвищити безпеку дорожнього руху, оскільки зменшують хаотичний рух автомобілів у пошуках паркування та мінімізують ризик аварійних ситуацій [4].

Незважаючи на численні переваги, впровадження систем смарт-паркування стикається з рядом викликів. Одним із основних є висока вартість розгортання інфраструктури, яка включає встановлення сенсорів, організацію мереж передачі даних, розробку та підтримку програмного забезпечення. Не менш важливою є необхідність забезпечити сумісність нових систем із вже існуючою дорожньою інфраструктурою, транспортними та інформаційними платформами міста, а також дотримання правових і етичних аспектів, пов'язаних з обробкою персональних даних користувачів. Також важливим є забезпечення надійності та безпеки роботи системи, особливо в умовах пікових навантажень та можливих технічних збоїв.

Відтак, впровадження смарт-паркування вимагає комплексного підходу, що включає технічну реалізацію, правове регулювання, фінансування та взаємодію з громадськістю. Необхідно розробити стратегію інтеграції нових технологій з існуючою інфраструктурою, визначити джерела фінансування та забезпечити прозорість у використанні зібраних даних.

Для досягнення максимальної ефективності системи смарт-паркування необхідно проводити детальний аналіз потреб міста та специфіки його транспортної мережі.

При впровадженні систем смарт-паркування надзвичайно важливо правильно обирати сенсорні технології, орієнтуючись на умови конкретного міста та особливості його інфраструктури. Тип сенсорів слід підбирати з урахуванням погодних умов, типів транспортних засобів, інтенсивності руху та очікуваного навантаження на паркувальні місця, щоб забезпечити надійне визначення їхньої зайнятості. Одночасно, системи повинні бути інтегровані з існуючими технологіями управління транспортними потоками та міськими платформами моніторингу трафіку, що дозволяє об'єднати дані про доступні паркувальні місця з інформацією про завантаженість доріг та стан дорожньої мережі, створюючи комплексну систему управління транспортом.

Важливим аспектом є розробка мобільних додатків, які повинні мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, забезпечувати водіям доступ до інформації про наявні місця для паркування, можливість резервування та оплати, а також отримання навігаційних вказівок до обраного місця. Водночас для підвищення довіри користувачів та безпеки системи необхідно забезпечити захист персональних даних та надійність обробки і зберігання інформації, що збирається сенсорами.

Окрім цього, для забезпечення максимальної ефективності функціонування системи необхідно організовувати постійний моніторинг роботи платформи та аналітичний облік отриманих даних, що дозволяє виявляти проблемні ділянки, своєчасно коригувати алгоритми розподілу паркувальних місць та прогнозувати майбутні потреби міської інфраструктури, що є ключовим для сталого управління транспортними потоками.

Смарт-паркування є не лише технологічним рішенням, а й інструментом екологічного та соціального розвитку міста. Воно дозволяє зменшити негативний вплив транспорту на клімат за рахунок скорочення викидів

шкідливих речовин, оптимізувати міське середовище та в цілому покращити якість життя мешканців.

Таким чином, упровадження смарт-паркування є важливим кроком до створення сталого та ефективного транспортного середовища в містах. Еволюція інтелектуальних систем паркування зумовлена стрімким розвитком технологій Інтернету речей, хмарних сервісів, машинного навчання, а останніми роками – туманних і периферійних обчислень. У своїй сукупності вони формують основу для розумних транспортних систем, спрямованих на підвищення ефективності та стійкості міського руху. Одним із ключових напрямів розвитку таких систем є смарт-паркування, яке забезпечує оптимізацію використання паркувального простору та зниження транспортного навантаження. Саме комплексний підхід до розробки та впровадження систем смарт-паркування, що враховує технічні, економічні, правові та соціальні аспекти, здатен забезпечити ефективне управління транспортними потоками та створити стійку інфраструктуру для майбутніх поколінь.

Література:

1. Barter P. Is 30% of traffic actually searching for parking? *Reinventing Parking* : web-site. URL: <https://www.reinventingparking.org/2013/10/is-30-of-traffic-actually-searching-for.html> (date of access: 30.10.2025)
2. Smart City Traffic Management IoT Solutions. Telit Sinterion : web-site. URL: <https://www.telit.com/smart-cities-transportation/traffic-and-parking/> (date of access: 30.10.2025).
3. Smart Parking System for Urban Areas. Intellias : web-site. URL: <https://intellias.com/smart-parking-system-for-urban-areas/> (date of access: 30.10.2025).
4. Ala'anzy M. A., Abilakim A., Zhanuzak R., Li L. Real time smart parking system based on IoT and fog computing evaluated through a practical case study. Scientific Reports. 2025. № 15. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15507-6>

УДК 004.77

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ LPWAN ЗА КРИТЕРІЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОКАНАЛУ

Бондаренко Н.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Турген Нурлибек

Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Сучасний етап розвитку комунальних підприємств України характеризується переходом від традиційних методів обліку ресурсів до впровадження концепцій Smart Water. В умовах зростання вартості енергоносіїв та необхідності мінімізації комерційних втрат води, автоматизація збору показників стає критично важливою [1].

Проте специфіка водопровідних мереж (розташування вузлів обліку у затоплених колодязях, підвалах, залізобетонних екранованих приміщеннях) робить неможливим використання дротових з'єднань або стандартних мобільних мереж (GSM/3G) через їх високе енергоспоживання. Вирішенням проблеми є застосування енергоефективних мереж далекого радіуса дії — LPWAN [2].

Помилка на етапі вибору технічних засобів може призвести до критичних фінансових втрат через необхідність частотої заміни елементів живлення (що нівелює економічний ефект автоматизації) або вразливість системи до кібератак, оскільки водопостачання відноситься до критичної інфраструктури держави.

Мета роботи – підвищити ефективність комунального підприємства за рахунок порівняльного аналізу технологій LPWAN за критеріями енергоефективності та інформаційної безпеки для систем водоканалу

Забезпечення сталого водопостачання вимагає надійного та оперативного контролю за станом мережі та споживанням. Технічні засоби

віддаленого контролю повинні відповідати жорстким вимогам: працювати автономно від однієї батареї протягом 5–10 років, забезпечувати передачу даних з важкодоступних місць та гарантувати цілісність і конфіденційність інформації [3-4].

У цій роботі проводиться порівняльний аналіз двох найбільш перспективних стандартів передачі даних:

- LoRaWAN — технологія, що працює у неліцензованому частотному спектрі та дозволяє будувати власні незалежні мережі;
- NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) — стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії, що використовує ліцензовані частоти мобільних операторів.

У межах дослідження було здійснено порівняльний аналіз технологій LoRaWAN та NB-IoT за чотирма ключовими критеріями, що визначають ефективність функціонування систем дистанційного моніторингу для комунальних підприємств. До таких критеріїв належать енергоефективність, надійність передачі даних, інформаційна безпека та економічна доцільність. Їх вибір зумовлений практичними особливостями експлуатації вузлів обліку, які часто працюють у складних умовах та потребують довготривалої автономної роботи.

Порівняння показало, що питання енергоефективності є одним із найважливіших для водоканалів, оскільки саме тривалість роботи від батареї визначає масштаби сервісного навантаження. LoRaWAN демонструє високу автономність завдяки асинхронному режиму передачі, коли пристрій активується лише для надсилання даних і одразу переходить у режим сну. Такий підхід забезпечує ресурс батареї понад десять років. На відміну від цього, NB-IoT вимагає регулярної синхронізації з базовою станцією мобільного оператора. Навіть за наявності режимів енергозбереження часті повторні передачі в умовах ослабленого сигналу (наприклад, у підвалах чи колодязях) скорочують термін служби джерел живлення.

Другим важливим параметром є надійність зв'язку у складних умовах експлуатації. Вузли обліку води здебільшого встановлюються у бетонних колодязях або на підземних рівнях будівель, що створює значні перешкоди для бездротової передачі даних. NB-IoT, який працює у ліцензованому спектрі з підвищеною потужністю сигналу та розширеним рівнем покриття, забезпечує стабільний зв'язок навіть у глибоких підвалах. LoRaWAN також може працювати на складних об'єктах, однак зашумленість неліцензованого спектра та обмежена проникність сигналу інколи потребують встановлення додаткових шлюзів, що підвищує вимоги до інфраструктури.

Аспект інформаційної безпеки виявив значні відмінності між технологіями. NB-IoT інтегрований у стандарти стільникових мереж і використовує механізми аутентифікації та шифрування на рівні оператора, що відповідає вимогам телекомунікаційного класу захисту. LoRaWAN також забезпечує високий рівень безпеки за рахунок двошарового AES-шифрування, хоча ефективність цього підходу значною мірою залежить від грамотного управління ключами всередині підприємства, що збільшує вимоги до організації процесів.

Економічний аналіз продемонстрував різні моделі формування вартості володіння мережами. LoRaWAN передбачає суттєві початкові інвестиції у створення власної інфраструктури, проте в подальшому практично не потребує витрат на обслуговування трафіку. Натомість NB-IoT позбавляє підприємство необхідності будувати мережу самостійно, але формує регулярні операційні витрати через щомісячні платежі мобільному оператору за кожен пристрій. На довгостроковому горизонті це може суттєво вплинути на загальну структуру витрат.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що ефективний вибір технології бездротової передачі даних для систем комунального моніторингу неможливо звести до одного універсального рішення — він повинен враховувати специфіку розміщення вузлів обліку, вимоги до енергоефективності, безпеки та довгострокових витрат. Водночас

аналіз показав наявність суттєвого потенціалу для подальшого поглиблення теми. Зокрема, перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення цілісної інформаційної технології та формальної моделі вибору технічних засобів дистанційного моніторингу систем водопостачання. Така модель дозволить систематизувати критерії, формалізувати процес прийняття рішень та забезпечити об'єктивний вибір оптимальної технології в кожному конкретному випадку, що є ключовим для підвищення ефективності та надійності цифрових інфраструктур комунальних підприємств.

Література:

1. Milovanov, Nikolay. (2024). Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. 173-179. 10.1145/3674912.3674945.
2. Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1-7.
3. Кононихін О.С., Прачик В.А., Щепетільников С.Ю. Модель вибору мережевого обладнання логістичного підприємства в умовах інтервальної інформації // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. No 1(29) 2024. С. 718-726.
4. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783

УДК 656.07

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМІНАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМИ НА БАЗІ ІoT

Бречка В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

На сьогодні розвиток та ефективність функціонування складських терміналів залежить від ступеню впровадження інформаційних технологій в усі контури керування [1].

Проектування термінальних логістичних систем на базі ІoT - це процес розробки та впровадження комплексних рішень, що поєднують фізичні пристрої (термінали) з мережею Інтернет для обміну інформацією між всіма учасниками логістичного процесу. Вирішення цієї задачі включає вибір датчиків, пристроїв, зв'язку та розробку програмного забезпечення для ефективного функціонування системи в цілому [2].

Етапи проектування термінальних логістичних систем:

- визначення мети та функціоналу терміналу;
- визначення завдання, котре повинна виконувати система (моніторинг, управління, автоматизація);
- визначення даних та параметрів контролю;
- вибір апаратної частини та проектування програмного забезпечення;
- тестування та впровадження в логістичних процес.

При проектуванні технічного забезпечення особливі вимоги висуваються щодо інтелектуальних сенсорів, що є засобами контролю, вимірювання та перетворення інформації від об'єктів до керуючих підсистем.

Інтелектуальна логістична система об'єднує в єдиний технологічний комплекс підсистеми організації руху, транспортування, складування, безпеки, а також надання інформаційного сервісу учасникам логістичного процесу в реальному часі на адаптивних принципах (рис.1).

При проектуванні термінальних логістичних систем на базі IoT акцент формується на інформаційній інфраструктурі. Для організації такої інфраструктури необхідно створювати складські термінали з формованим середовищем зв'язкової взаємодії, від провідних (високо-швидкісні оптоволоконні мережі), до бездротових (стандарти зв'язку, доступні від операторів стільникового зв'язку, радіо- й транкінговий зв'язок, інтернет). Прийняття рішень з проектування має спиратися на наукові принципи визначення та моніторингу індикаторів ефективності [3].

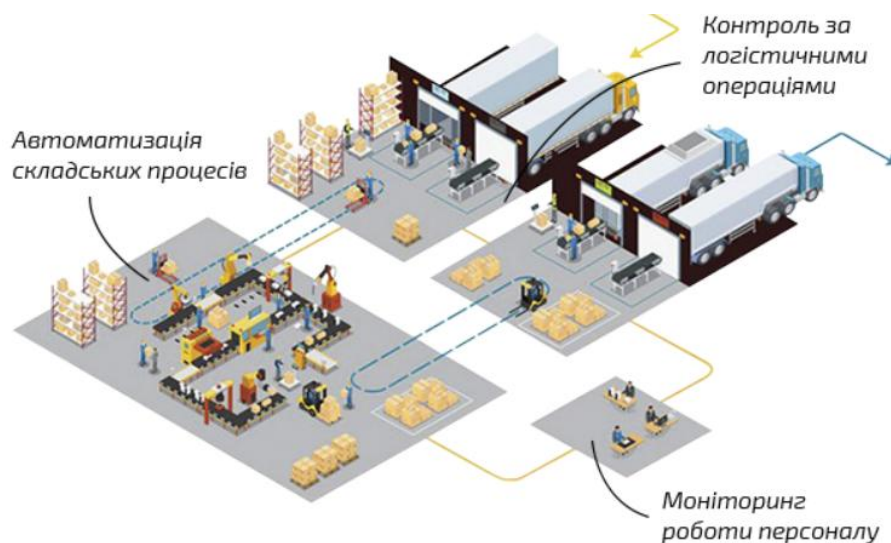


Рисунок 1 – Сучасний складський термінал

Проектуванню логістичних систем присвячено багато робіт, аналіз котрих свідчить про недостатнє використання принципів системного синтезу та методів математичного моделювання стосовно вибору компонентів інтелектуальної системи управління логістичним процесом.

Загальна задача проектування. Відомо: множина технічних засобів, що складають термінальну логістичну систему, їх параметри та характеристики; множина програмних засобів з набором програмних додатків, їх параметри та характеристики.

Необхідно обрати компоненти термінальної логістичної системи, які підвищать ефективність робочих операцій з урахуванням заданих критеріїв

та обмежень.

Суперечливість параметрів компонентів вирішується декомпозицією на підзадачі: вибір технічних компонентів (обчислювальні модулі, мікроконтролери або одноплатні комп'ютери, сенсори), засоби зв'язку (пристрої Wi-Fi, Bluetooth, GSM, Ethernet, LoRaWAN тощо), джерела живлення (мережі, станції, сонячні панелі); вибір програмного забезпечення (будований програмний код для мікроконтролерів, сенсорів та передачі даних), платформа IoT, інтерфейс користувача (веб-додаток або мобільний додаток).

Ключовими аспектами проектування є: безпека (захист даних), масштабованість (можливість розширювати, додаючи нові пристрої та функціонал, надійність (стабільна робота всіх компонентів, враховуючи потенційні відмови мережі та електрообладнання).

Для розв'язання завдань з невизначеністю у вихідних даних, які виникають у мінливих умовах функціонування сучасних складських терміналах України необхідно поєднання традиційних алгоритмів управління складськими терміналами з методами штучного інтелекту. Така тенденція впровадження інтелектуальних систем на базі IoT засвідчує їхню високу перспективність.

Література:

1. Медиковський М. О. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління: монографія. – Львів. - 2015. 280 с.
2. Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 152 с.
3. Огляд програмного забезпечення для моделювання логістичних процесів : веб-сайт // <https://www.anylogic.com/> (дата звернення: 10.11.2025).

4. Review-based method for evaluating key performance indicators: an application on warehouse system : веб-ресурс : <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-12684-4> (дата звернення: 13.11.2025).

УДК 620.9:004.27:621.311.1

ІоТ-ОРІЄНТОВАНА АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УЗЕ НА NODE-RED З УРАХУВАННЯМ РДН, SOC І ГРАФІКІВ ВІДКЛЮЧЕНЬ

Дорошенко А.М, Коломієць Д.П.

Національний університет харчових технологій

Розглянуто застосування low-code платформи Node-RED для побудови адаптивної енергетичної системи із інтеграцією установки зберігання енергії (УЗЕ), інтелектуального керування навантаженнями та аналізу цін ринку «на добу наперед» (РДН). Особливу увагу приділено впливу графіків відключень електропостачання в Україні, характеру денних піків споживання та ролі УЗЕ у післяаварійних режимах.

В енергетичній системі з високою часткою ВДЕ є дві критичні проблеми - надлишок генерації у денні години (особливо влітку) та дефіцит у вечірні періоди пікового споживання електроенергії. В Україні, зокрема, яскраво виражені два піки споживання: ранковий - (07:00–11:00) і вечірній (17:00–22:00), який, до речі, завжди вище ранкового. Наразі ситуацію додатково ускладнюють відключення електроенергії за аварійними та плановими графіками. У перші години після відновлення подачі електроенергії велика кількість УЗЕ створює різкий імпульсний попит. Вони намагаються швидко зарядитися до 100% стану заряду на повній потужності, хоча величиною цієї миттєвої потужності можна було б керувати. За таких умов необхідні нові підходи до керування локальними енергетичними системами: адаптивні та цифрові підходи орієнтовані на «ринок доба наперед» та графіки відключення. Наприклад, утворення цифрової системи енергоменеджменту на основі Node-RED оптимізує заряд та розряд УЗЕ на основі цін РДН, адаптує поточне навантаження до доступної генерації, реалізує антиімпульсну логіку - зменшує післяаварійні піки споживання при відновленні електропостачання. Логіка моделюється за концепцією локальної

енергетичної системи S (рис. 1). Кінцева мета - створити адаптивну обчислювальну систему S , яка не тільки виконує задану програму, а може змінювати свою структуру, ваги зв'язків, обчислення, навчатися, реагувати на нові входні впливи тощо.

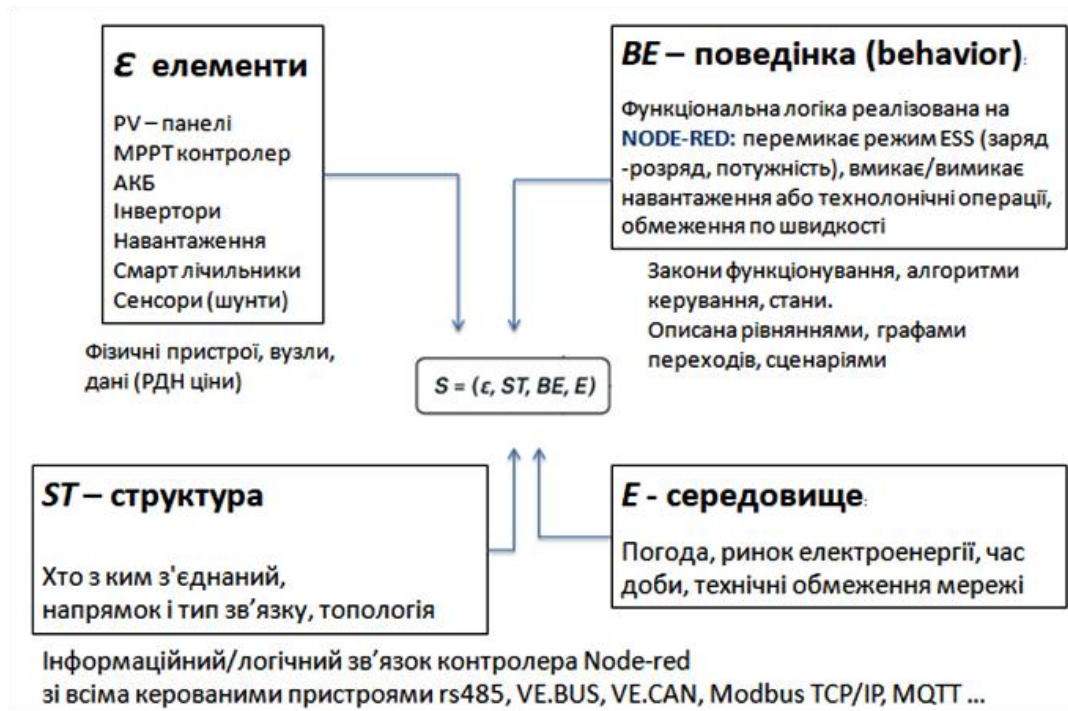


Рисунок 1 – Локальна енергетична система S .

$$S = (F, SC, R, FL, FO, CO, IN)$$

де F — алгоритм оптимізації роботи інвертора; SC — топологія взаємодії між інверторами, акумуляторами і прогнозами; R — оновлення графіка заряд/розряд; FL — система навчається на історичних даних; FO — перебудовує режим роботи залежно від нових умов; CO — змінює пріоритети між споживачами; IN — входні дані: прогноз сонця, ціни РДН, SOC, навантаження.

Для отримання даних було використано діючу СЕС у складі: мережевий інвертор Huawei sun2000-30KTL-M3 потужністю 30 кВт, сонячні панелі JASolar 36 шт потужністю по 545 Вт кожна, сумарно 19,6 кВт. Установка зберігання енергії (УЗЕ) на базі гібридного інвертора Victron Energy: RS

48/6000/100 потужністю 5 кВт, три інвертора Quattro 48/10000/140–100/100/230 В по одному інвертору 10 кВт на кожну фазу та АКБ ємністю 70 кВт•год (5 батарей Seplos по 14 кВт•год), контролер Cerbo GX з прошивкою з Venus OS Large (з підтримкою Node-red), смарт-лічильники VM-3P75CT, допоміжне комутаційне обладнання, протоколи Modbus TCP, MQTT, VE.Bus, VE.Can, інтернет-зв'язок з АРІ РДН, прогнозами погоди та телеметрією.

Система розумний енергоменеджмент (рис. 2) встановлює нові правила або пріоритети взаємодії між інвертором, акумулятором і навантаженням на основі історії, цін, погодних умов. Вони з самого початку були закладені в Адаптивній енергетичній логіці.. За допомогою Node-RED реалізовано автоматичне щоденне отримання цін РДН із сайту «Оператора ринку» (<https://www.oree.com.ua>) Реалізовано також повторний запит у разі помилки завантаження даних.

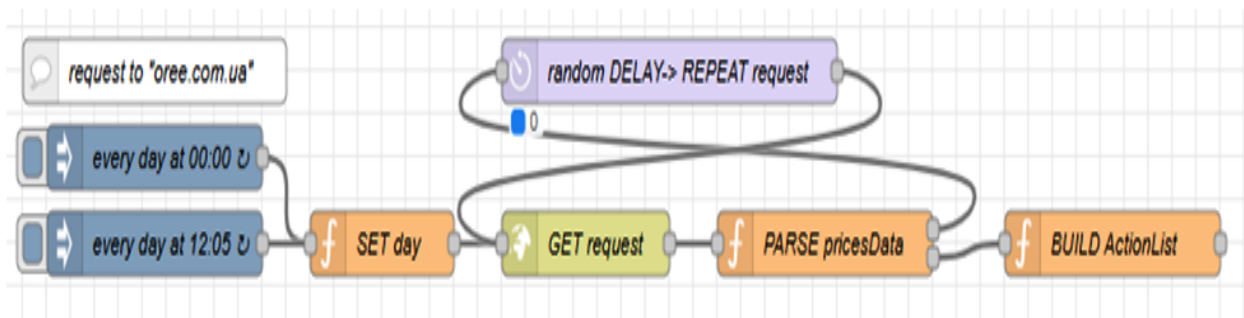


Рисунок 2 – Алгоритм автоматичне отримання цін РДН від «Оператора ринку»

Запропоновано наступні методи оптимізації:

1. Оптимізація заряд/розряд. Мета - мінімізація вартості накопиченої енергії та її доступність при відключенні мережі. Залежно від доступної генерації, поточного споживання та ціни електроенергії у конкретну годину доби система автоматично перемикає режими роботи (рис. 3): заряд АКБ (низька ціна, або середня ціна та SOC низький); транзитне споживання (без

накопичення); живлення від АКБ (при великому SOC, значному накопиченому надлишку або високих цінах).

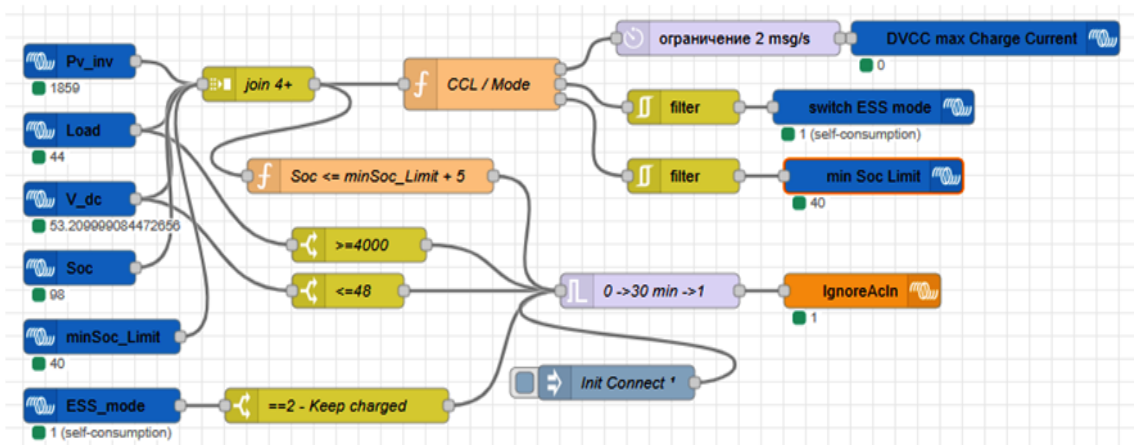


Рисунок 3 – Перемикання режимів УЗЕ (заряджання, транзит, розряд)

Вибір між зарядом і розрядом АКБ визначається не лише ціною, а й рівнем SOC (рис.4).

		<=4000	<=3400	<=2800	<=2200	<=1600	<=1000	
0 %	20 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %

Рисунок 4 – Алгоритм заряджання АКБ в залежності від поточного SOC та ціни РДН.

Це аналогічно принципу роботи торгівця: якщо запас товару достатній, можна не купувати навіть за низькою ціною, очікуючи ще нижчої. І навпаки - за високого SOC продавати енергію до мережі вигідно не лише в пікові години, а й за середніх цін, якщо накопичений надлишок дуже високий. Приклад реалізації показано на рис. 5:

```

33 // Умови, коли self_consumption
34 let self_consumption = 1;
35 // Не заряджаємо, якщо дуже велика ціна, і можна продати
36 if ( (currentPrice > 4000) ||
37      // або ціна більше чим 3400 і у нас батарея більше ніж 50 %
38      ( (currentPrice > 3400) && (input.Soc>50) ) ||
39      ( (currentPrice > 2800) && (input.Soc>60) ) ||
40      ( (currentPrice > 2200) && (input.Soc>70) ) ||
41      ( (currentPrice > 1600) && (input.Soc>80) ) ||
42      ( (currentPrice > 1000) && (input.Soc>90) )
43 ) {
44   return [
45     { payload: 0 },
46     { payload: self_consumption },
47     { payload: minSoc }
48   ];
49 }

```

Рисунок 5 – Фрагмент коду адаптації режимів заряд/розряд-споживання від поточної ціни та рівня SOC

2. Адаптація УЗЕ до графіків зникнення мережі полягає не тільки в зміні minSOC, а в зміні коефіцієнтів проміжних SOC (рис. 4, мітки), і цінових коефіцієнтів, якщо відомо, що електроенергія скоро зникне, або графік відключення припадає на періоди мінімальної ціни РДН. Відповідно більш висока ціна РДН може виявитися мінімальною доступною для режиму заряджання. Варто передбачити доступну ємність для накопичення прогнозованої сонячної генерації, і навіть частину накопиченої електроенергії продати в мережу до вимкнення мережі (рис. 6).

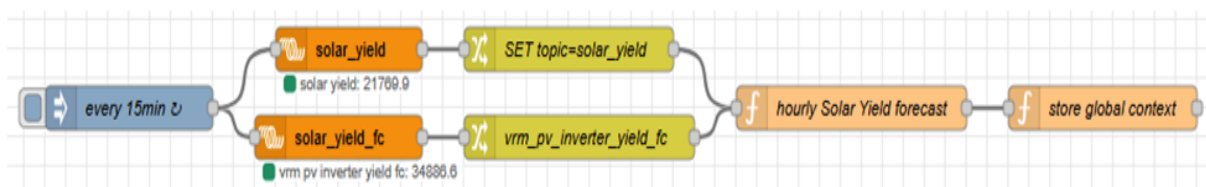


Рисунок 6 – Використання вбудованого в VRM solar yield forecast API.

3. Керування навантаженнями (Demand Response) за допомогою Node-RED дозволяє, наприклад, переносити роботу бойлера на дешеві години та тимчасово вимикати навіть в ці години при короткочасному піковому іншому навантаженні (керування пріоритетами); змінювати потужність зарядки електромобіля; включати/вимикати теплові насоси тощо.

4. Адаптація керування навантаженнями до графіків зникнення мережі. Система повинна вимикати не пріоритетні навантаження в залежності від обсягу запасу ЕЕ (рівня SOC) при зникненні мережі та інше (рис. 7).

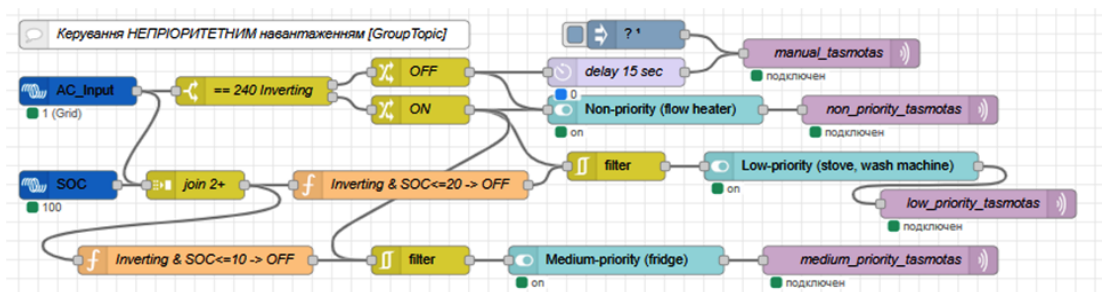


Рисунок 7 – Алгоритм керування навантаженнями різного пріоритету в залежно від режиму живлення (мережа / інвертор) та рівня заряду АКБ через MQTT реле

Навантаження доцільно поділити мінімум на чотири групи: **Non-priority, Low-priority, Medium-priority, Manual On (Auto off)**

5. «Дружній режим зарядки» після появи мережі. У звичайній ситуації: УЗЕ заряджається максимально швидко. Велика кількість таких УЗЕ створює імпульсний пік і, відповідно, провокує повторні перевантаження (рис.8).

Settings	Devices	Seplos Battery	Parameters
Charge Voltage Limit (CVL)			57.80 V
Charge Current Limit (CCL)			500 A
Discharge Current Limit (DCL)			975 A

Рисунок 8– Приклад. Без адаптації наша досліджувана установка почне заряджатися струмом до 500 А при напрузі до 57.8 В при появі мережі.

У запропонованій системі ми обмежуємо заряд від потужності доступної сонячної генерації, а у випадку імпорту - від рівня SOC. Таке обмеження легко зробити через Node-Red ноду «Virtual device» → «Virtual Battery». Немає ніякого сенсу швидко заряджати батарею, коли мережа буде доступна ще дуже довго, краще це зробити рівномірно на прогнозованому проміжку доступності згідно графіків відключень. Це зменшить імпульсні піки в момент відновлення мережі.

УДК: 004.9:621.3.04:658.51

IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN AUTOMATED PRODUCTION

Berlissugirov Ilyas, Ylemes Yermakhan, Kerimberdi Ulbala

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

The rapid development of digital technologies has significantly influenced industrial automation. Modern production demands not only high precision and efficiency but also the ability to adapt to dynamic conditions. Cyber-physical systems combine physical processes with computational algorithms, enabling flexible, intelligent, and data-driven production management. CPS are used in various sectors, including manufacturing, energy, and transportation, to ensure reliability and continuous improvement through digital twins, remote monitoring, and smart control technologies. The development of CPS contributes to the transition from traditional automation to intelligent, interconnected production systems.

Purpose and Objectives.

The purpose of this study is to design and investigate a cyber-physical control system for automated industrial processes using modern PLC-based technology. The main objectives are:

- to analyze the principles and structures of cyber-physical systems in industrial automation;
- to develop a system model using Siemens S7-1200 controller;
- to implement a PID control algorithm for temperature regulation in TIA Portal;
- to design an HMI interface for process visualization and operator control;- to perform simulation and experimental testing to evaluate system performance.

Methods and Tools. The study employs methods of mathematical modeling, system analysis, and simulation. The hardware part is represented by the Siemens S7-1200 PLC, which serves as the core control element. The software

implementation is carried out in Siemens TIA Portal, allowing the integration of logic control, PID tuning, and visualization. For monitoring and operator interaction, the WinCC Runtime Advanced environment was used to create an HMI screen displaying real-time process data. The system model was tested under various operating conditions to analyze stability, response time, and energy efficiency.

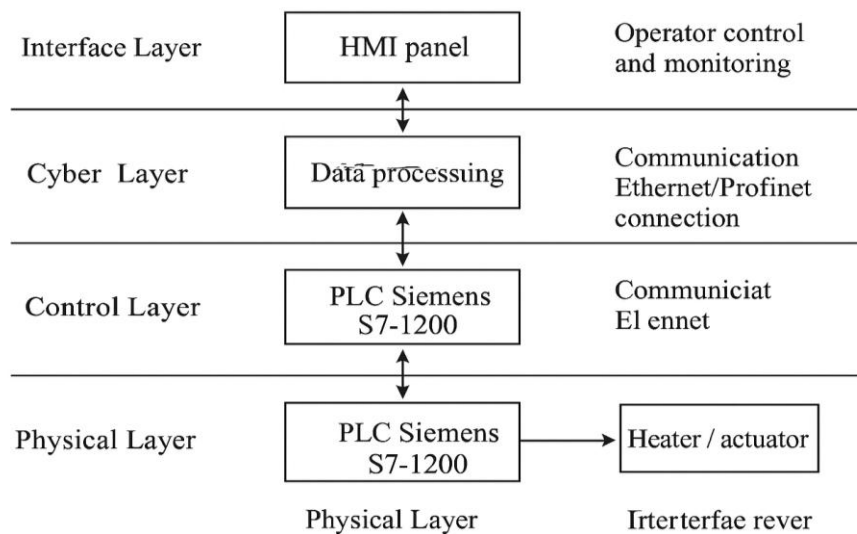


Figure 1 – Structural diagram of the cyber-physical system

Results and Discussion. The developed cyber-physical system ensures autonomous control of technological parameters, such as temperature, within predefined limits. The results demonstrate that CPS-based systems improve process stability, reduce human intervention, and enable real-time data acquisition for decision-making. The implementation of PID control in the system allows for precise adjustment of temperature with minimal overshoot and steady-state error. The HMI visualization provides clear feedback to the operator, enabling monitoring and fault detection. The study also highlights that integrating CPS technology facilitates the creation of digital twins and supports predictive maintenance strategies. By using virtual models, the performance of physical systems can be predicted and optimized before actual implementation, reducing downtime and costs.

Conclusion. The conducted research confirms that cyber-physical systems play a crucial role in the digital transformation of automated production. Their integration allows for higher efficiency, safety, and sustainability of industrial processes. The designed CPS-based control model using Siemens TIA Portal can serve as a foundation for future smart manufacturing systems. Further research may focus on expanding the system to include artificial intelligence-based optimization, data analytics, and cloud-based monitoring. Such developments will strengthen the link between the physical and virtual components of production, forming a complete Industry 4.0 ecosystem.

References:

1. Lee, E. A. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems. IEEE Transactions on Industrial Informatics.
2. Siemens AG. (2023). TIA Portal V18 – Automation Software Manual.
3. Rajkumar, R., et al. (2010). Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution. Proceedings of the 47th Design Automation Conference.

УДК 628.1:004.94

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT ANALYTICAL WATER CONSUMPTION ACCOUNTING SYSTEM FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Jamanbayev Muratkali, Zhubanov Aibek, Jumabekova Zulfia

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Purpose and Objectives of the Study. The main purpose of the research is to develop an **intelligent analytical system** for monitoring and analyzing water consumption in residential buildings, which ensures real-time data collection, processing, visualization, and intelligent decision support for users and utility services.

To achieve this goal, the following tasks were defined:

1. Analyze existing systems and methods of water consumption accounting and identify their limitations.
2. Develop an architecture for an IoT-based water accounting system.
3. Implement a prototype of the system for collecting and transmitting water consumption data.
4. Create an analytical module for anomaly detection and consumption prediction.
5. Test the developed system and evaluate its efficiency.

Theoretical Background. Intelligent metering systems integrate smart sensors, controllers, and data analysis tools to provide high accuracy and operational efficiency. The basis of such systems lies in the Internet of Things (IoT) paradigm, where devices communicate via wireless networks (Wi-Fi, LoRa, MQTT protocols). In the context of water metering, IoT sensors continuously collect data on flow rate, pressure, and total consumption. These parameters are transmitted to a cloud platform for further processing and visualization.

The analytical layer applies data mining and machine learning algorithms to identify abnormal patterns — for example, continuous water flow indicating a leak

or uncharacteristic consumption spikes. Predictive models allow estimation of future consumption trends based on historical data and seasonal factors.

The overall structure of the proposed system includes:

1. Sensing layer – water flow sensors and smart meters.
2. Communication layer – ESP32 microcontrollers and wireless data transmission modules.
3. Data processing layer – Node.js-based server for data storage and synchronization.
4. Analytical and visualization layer – Python-based module for statistical analysis and dashboard interface for users (figure 1s).

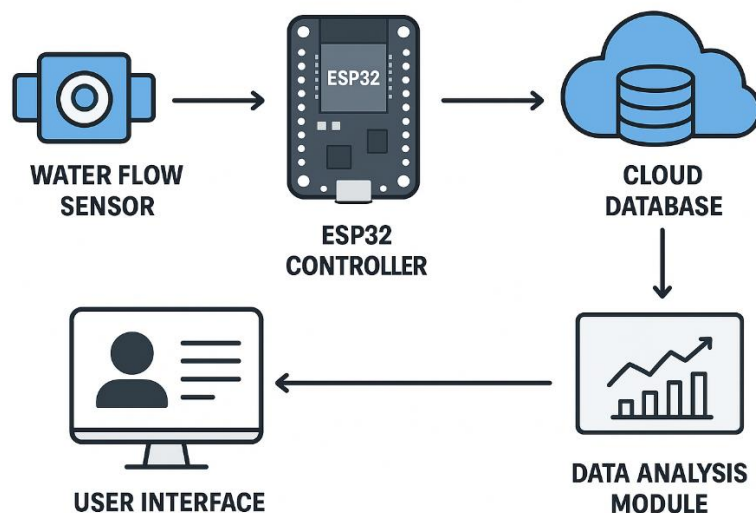


Figure 1 – Architecture of the Intelligent Analytical Water Consumption Monitoring System

Methodology and System Implementation. The proposed system was implemented and tested using ESP32 microcontrollers connected to water flow sensors (YF-S201 type). To simulate and validate the prototype, the Wokwi online simulator was employed, allowing safe testing of IoT device interactions.

The microcontroller collects data from the flow sensor every second and transmits it to the server via MQTT protocol. On the server side, the data is stored

in a database and processed by the analytical module. Visualization is performed through a web dashboard showing real-time flow, total consumption, and leak alerts.

The system prototype was tested under different flow conditions. The analytical algorithms were trained to recognize patterns of normal and abnormal consumption based on the following criteria:

- sudden increases in flow rate (potential pipe rupture or leak);
- continuous consumption during periods of inactivity (nighttime leakage);
- deviation from average daily patterns ($>30\%$).

Additionally, the system includes a forecasting module, which uses linear regression to estimate expected water usage for the next 24 hours. The accuracy of forecasting reached 92% compared to real measured data.

Experimental Results and Discussion. The developed prototype successfully demonstrated the ability to perform continuous monitoring and analysis of water consumption. During the experiment, simulated data of different consumption patterns were collected for 72 hours. The analytical module correctly identified all artificial leak scenarios.

The main results can be summarized as follows:

- Leak detection accuracy: 95%.
- Forecasting accuracy: 92%.
- System data transmission delay: less than 2 seconds.
- Energy consumption of the device: below 0.3 W in standby mode.

These results confirm that the system ensures real-time monitoring with high precision and minimal latency. Furthermore, integrating predictive analytics allows users to plan water use more effectively and utility companies to detect water losses promptly (figure 2).

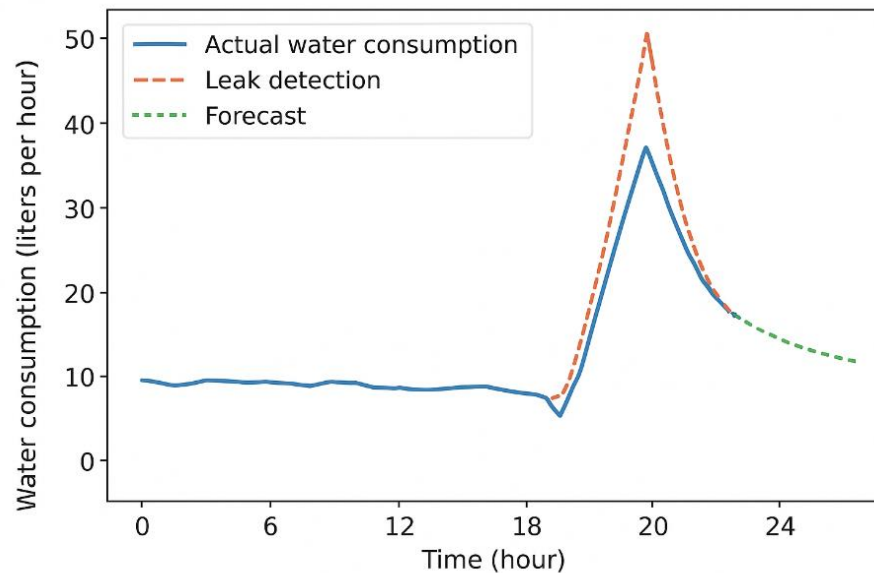


Figure 2 – Example of Water Consumption Analysis and Leak Detection Results

The practical significance of the project lies in reducing water waste by 10–15%, improving consumption transparency, and increasing the lifespan of water infrastructure through preventive maintenance.

Conclusions. The research confirmed the effectiveness of implementing an intelligent analytical system for water consumption accounting in residential buildings. The developed IoT-based architecture provides:

- automated data collection and transmission;
- real-time monitoring and visualization;
- anomaly and leak detection;
- predictive analytics for water consumption optimization.

Future improvements of the system may include integration with other smart home components (electricity and heating systems), development of a mobile application for end users, and applying more advanced artificial intelligence algorithms for adaptive control.

Thus, the proposed system is a promising tool for sustainable water management in smart cities and supports the global trend of digital transformation in public utilities.

References:

1. Gubarev, V. A., & Kuznetsov, A. I. (2022). Smart Water Management Systems: IoT-Based Monitoring and Control Solutions. *Journal of Automation and Data Science*, 9(2), 45–53.
2. Al-Anbagi, I., & Erol-Kantarci, M. (2021). A Smart Water Network Using LoRaWAN for Urban Areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4832–4845.
3. Zhao, L., et al. (2023). Predictive Analysis of Water Consumption Using Machine Learning. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 39, 100929.
4. Kalyuzhnyi, V., & Petrov, S. (2020). IoT-based Water Metering and Data Analysis for Residential Buildings. *Energy Efficiency and Automation Review*, 5(3), 78–84.

УДК 004.94(045)

ENHANCING INFORMATION RETRIEVAL WITH DJANGO-BERT INTEGRATION: A PATH TO QUESTION-ANSWER SYSTEMS

Kazangapova B.A., Zhappas Z.A., Suleimenov D.M., Suienaly A.A.

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Today, in our information explosion age, data is constantly increasing in amount, increasing the likelihood we might be overwhelmed and drowned in the flow. Trying to find specific information on the internet, or getting the right answer for any query, is now turning into an actual problem, particularly in the scenario of an expanding information sphere. Individuals invest much energy and effort in searching for the specific information they require from any source, hindering decision making and work performance.

In such an instance, tools that enable such an undertaking to be sped up and made easier come into focus. Artificial intelligence (AI) and quality control systems are among such tools. Using these tools is possible to locate the information needed and give the right response much quicker than an individual can. Such systems can analyze texts, recognize patterns, and extract really meaningful information using machine learning algorithms, along with NLP-based technology.

Quality control systems process user requests as an input and, applying sophisticated analysis, determine the best and most meaningful answers. Here, the BERT model plays an especially significant role. Developed on the transformer framework and trained on massive quantities of text, it has an excellent language comprehension ability in the style of humans. For this reason, BERT is an extremely valuable assistant for tasks in information retrieval and comprehension.

A practical application has been the joining together of BERT and the Django framework. It brings powerful web development together with deep text analysis. It allows the development of web applications capable of handling user queries and providing the right answers through semantic text analysis. It presents wide

possibilities for the development of smart systems usable in the education, healthcare, science, and other sectors.

This method is marked by simplicity of usage owing to the convenient development framework of Django and BERT's high performance in the production of excellent answers. It guarantees high text-processing accuracy owing to the model being able to capture meaningful information and come up with meaningful as well as accurate responses. Furthermore, the system is flexible and can be easily adapted for customized tasks and scaled when needed.

Overall, combining Django and BERT allows building powerful smart systems able to respond with high accuracy and speed to any type of user query.

Methods and Materials.

The goal of the research is the realization of an intelligent information retrieval platform, embedding the BERT deep learning model into the Django web framework. The suggested solution should provide high accuracy in semantic text query processing, high response rates, and adaptive scalability, in order for the platform to be applicable in any fields of science and in multilingual environments. In addition, the platform should outperform conventional methods for information retrieval in parameters such as answer accuracy, query processing rate, and stability in high-load scenarios, combining thoroughly high-end natural language handling tools with modern-day web development tools. Part of the aim during the research is the universality and practicality of the resulting platform, implying its applicability in educational establishments, scientific institutions, and the business world alike. The resulting system should not only be able to give the right answers for complicated user questions, but it should be able to learn and refine itself constantly based on new specialist data through self-training and self-tuning. Great attention will be paid to performance, especially efficient use of resources and minimization of response latency. The developed solution should act as the transition point between the scientific community and practical application scenarios for smart search technologies, realizing the application of artificial intelligence advances in everyday life directly.

The system architecture integrates Django as the web framework and BERT via Hugging Face Transformers. It supports RESTful APIs, Redis caching, and Celery-based asynchronous processing to ensure scalability and responsiveness. Text preprocessing includes cleaning, normalization, lemmatization, and tokenization. These steps improve data consistency and ensure compatibility with BERT's input requirements for multilingual texts. The REST API built on Django REST Framework handles user requests and responses while embedding BERT for semantic analysis. This enables efficient integration with external systems. Redis and Celery are used for caching and asynchronous task management, reducing latency and improving stability under high load. The developed platform was compared with TF-IDF and BM25 in terms of accuracy, response time, and stability, showing clear advantages in semantic relevance and scalability. The system was validated on datasets from education, HR, and healthcare in English, Russian, and Kazakh languages, confirming its adaptability.

Results.

Implementing and Testing the Django-BERT Architecture.

In the early stage, the BERT model was integrated with the Django web framework via the Hugging Face Transformers library. The architecture built allowed for modular interactions among all the components of the system, including the REST API for accepting and handling user requests, orchestrating the BERT module for semantic text analysis, and the generation and provision of the response back to the users. Special care was taken while ensuring smooth coordination among the back-end operations such that data transferred between the API endpoints and the NLP module was efficient. Optimization in disk I/O was also achieved through applying Redis for cache storage and async task handling through the implementation of Celery. All the optimizations were explicitly included in code for the stability and response of the application while in high demand and multiple users concurrently access it. The system was thereby able to demonstrate its performance in supporting scalable and reliable operation,

establishing a sound foundation for further practical application and experimental analysis in other application scenarios.

Evaluation of Text Preprocessing Effectiveness.

The second phase of the study zeroed in on a detailed comparison of text preprocessing strategies—cleaning, normalization, lemmatization, and tokenization—across English, Russian, and Kazakh. Given the linguistic complexity and morphological variation across English, Russian, and Kazakh, the preprocessing workflows were carefully adapted—drawing on both standard NLP libraries and bespoke in-house code when off-the-shelf tools fell short. The experiments made one thing clear: preprocessing isn't a background step; it plays a front-line role in enabling meaningful information extraction. Enhanced normalization and lemmatization routines helped preserve the semantic structure of texts, especially when handling domain-specific or multilingual input. The cleaner, more consistent data that resulted fed smoothly into the BERT model, making the subsequent semantic analysis and response generation markedly more effective. This phase underscored a crucial takeaway—robust, context-aware preprocessing is not just a performance booster; it's a prerequisite for scalable, intelligent retrieval systems that hold up in real-world conditions.

Experimental Comparison with Traditional Methods.

To evaluate how the system holds up against established techniques, a series of direct comparisons were conducted between the BERT-Django platform and traditional retrieval models like TF-IDF and BM25. The testing framework assessed not only the relevance of returned results, but also system responsiveness and performance consistency under growing user demand. The results spoke for themselves: the semantic depth offered by the BERT model allowed for a far more accurate interpretation of user queries, consistently yielding answers that aligned better with user intent. But it wasn't just about smarter results—the architecture's integration of caching mechanisms and asynchronous task execution proved equally valuable, enabling the platform to maintain low-latency responses and steady throughput even under stress. Collectively, these outcomes reinforced the

system's readiness for deployment in environments where both precision and scalability are non-negotiable.

Scalability and Stress Testing.

At this stage, the system was evaluated under high-load conditions, with simultaneous processing of up to 500 requests per minute. Special attention was given to assessing the platform's ability to maintain operational stability and responsiveness during periods of intensive user activity. The use of Celery for asynchronous job runs and Redis for caching data in an efficient manner played an important part in keeping the response times consistent and avoiding system crashes. The tests validated the maturity of the platform for industrial usage and mass implementation. The design provided an excellent ability to support multiple queries in parallel with no adverse impact on performance, hence confirming its viability for real-time application in scenarios with high user interactions and stringent reliability needs.

To validate the platform's effectiveness in real-world scenarios, tests were conducted using actual datasets from education, healthcare, and human resource management domains.

The multilingual capabilities were put to the test with queries in Russian, English, and Kazakh, each chosen to reflect domain-specific language and context. Particular attention was paid to how well the system handled specialized terminology and the unique linguistic features present in each field. Following targeted fine-tuning on relevant language corpora, the platform consistently demonstrated high accuracy across all three languages. More importantly, it showed a strong ability to adjust to the semantic and contextual subtleties of different knowledge areas. These results underscored the system's adaptability, positioning it as a viable, cross-domain solution for intelligent information retrieval in both single-language and multilingual settings.

References:

1. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805. <https://arxiv.org/abs/1810.04805>
2. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008. <https://papers.nips.cc/paper/7181-attention-is-all-you-need.pdf>
3. Robertson, S., & Zaragoza, H. (2009). The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 3(4), 333–389. <https://doi.org/10.1561/15000000019>
4. StartXLabs. (2023). Mastering Django and Machine Learning: Building AI-Powered Web Apps. Medium. <https://medium.com/@StartXLabs/mastering-django-and-machine-learning-building-ai-powered-web-apps-9038246fe23c>
5. Skvortsov, N. (2023). Improving Information Retrieval with Django-BERT. Habr. <https://habr.com/en/articles/769168/>

УДК 004

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR OBJECT RECOGNITION AND DESCRIPTION IN IMAGES FOR MOBILE DEVICES

R. Z. Urazalin

Satbayev University Specialty, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Introduction. Modern computer vision technologies are actively applied in various fields - from industry to medical diagnostics. One of the most significant areas is assisting visually impaired people who need to receive up-to-date information about their surroundings. Thanks to the rapid development of mobile computing resources, it has become feasible to offload complex computational tasks to smartphones, allowing users to obtain scene descriptions in near real-time [1]. The goal is to provide a comprehensive, non-visual understanding of the immediate environment, replicating, to some extent, the visual perception of sighted individuals. This capability is paramount for independent navigation and interaction.

1. Object Recognition with Deep Neural Networks. The core of the object recognition system relies on the application of Deep Convolutional Neural Networks (DCNNs). Such sophisticated models are capable of simultaneously determining the coordinates of objects in an image (localization) and assigning their correct class label (classification). Unlike traditional algorithms that heavily relied on laborious, hand-crafted features (like SIFT or HOG), modern models leverage extensive training on large-scale datasets (e.g., MS COCO, ImageNet), which significantly improves recognition accuracy and robustness across varied lighting and viewing conditions.

Specifically, popular detection architectures often include Single Shot Detectors (SSDs) or You Only Look Once (YOLO) variants, known for their speed, or two-stage detectors like Faster R-CNN, which offer superior precision. The detector processes an image streamed from a mobile device camera and

identifies a set of objects with bounding boxes that uniquely identify the position and type of objects in the scene. The extracted features - such as object class, confidence score, and relative spatial coordinates - are then formalized into a feature vector and transferred to the subsequent text generation module. The overall architectural flow, from image acquisition to text generation, is conceptualized in Figure 1.

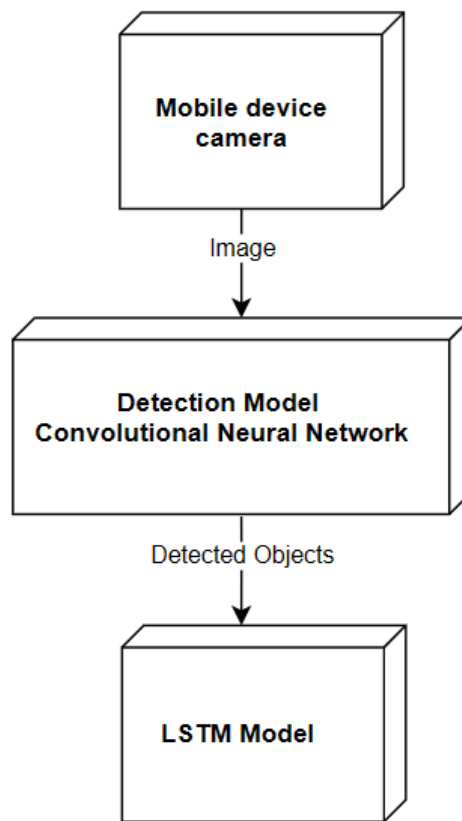


Figure 1 - Object Recognition and Description Scheme

2. Scene Description Generation via Recurrent Models. As depicted in Figure 1, text description generation, often termed Image Captioning, is a separate, complex task solved using natural language processing (NLP) methods. The most common and effective architectural approach is the Encoder-Decoder framework, where the DCNN acts as the Encoder (extracting visual features), and a Recurrent Neural Network (RNN) acts as the Decoder (generating text).

The Long Short-Term Memory (LSTM) architecture [2] is particularly favored for the decoder due to its inherent ability to handle sequential data processing effectively. LSTM units are specifically designed with internal 'gates' (input, forget, and output) to mitigate the vanishing gradient problem, enabling them to capture long-range dependencies crucial for forming grammatically correct and logically coherent sentences [3].

The LSTM model receives the formalized features obtained after object detection as input: object classes, their estimated relative positions, and the count of specific objects. The model then forms a coherent text where scene objects are described taking into account contextual relationships and spatial logic. For instance, instead of just listing objects, it can generate: "A cup is on the table, next to a book," providing crucial relational context.

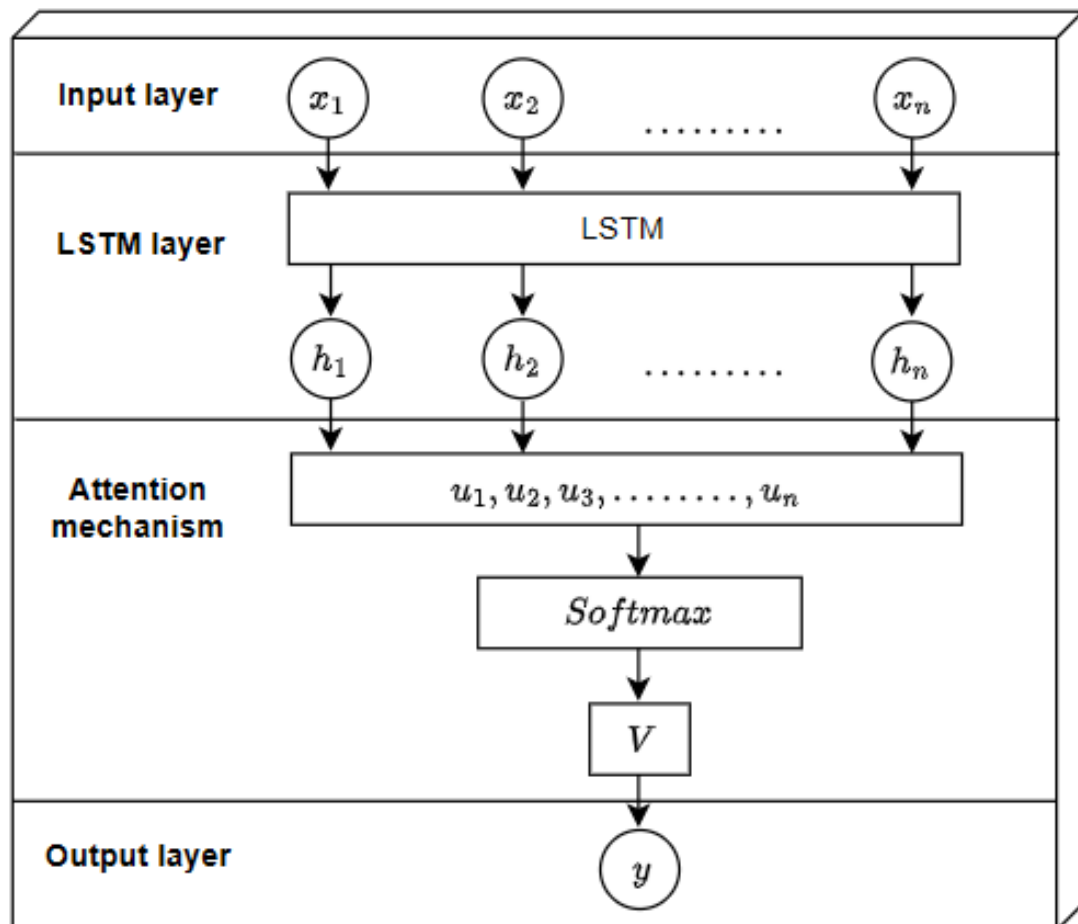


Figure 2 - Structure of the Attention Mechanism Layer

3. The Role of Attention Mechanisms. As illustrated in Figure 2, in modern systems, attention mechanisms are frequently applied. [4]. This sophisticated technique allows the recurrent decoder model to dynamically focus on the most significant regions of the input image (or corresponding object features) at each step of the word generation process. For example, when the model generates the word "cup," the attention mechanism will put a higher weight on the visual features of the cup object. Thanks to this mechanism, the scene description becomes more precise, informative, and contextually relevant, directly benefiting the end-user. For visually impaired users, the final description can be delivered either in text or immediately converted to an audio format using high-quality speech synthesis technologies; ensuring information is perceived without any need for visual contact.

4. Mobile Platform Advantages and System Deployment. The choice of the mobile platform offers several distinct advantages. Firstly, mobile devices (smartphones and tablets) are ubiquitous and virtually always at hand, ensuring the system is highly accessible for every day, spontaneous use. Secondly, modern smartphones are equipped with high-quality; high-resolution cameras that provide acceptable input image quality essential for accurate DCNN processing.

Crucially, the computational power of contemporary mobile platforms is continually increasing, allowing a significant portion of the processing to be carried out locally (on-device processing) or in a hybrid format [5]. On-device processing minimizes latency (response time) and maintains user privacy. However, in cases where more complex, state-of-the-art recognition and text generation models are required, part of the processing can be offloaded to a server via cloud computing. The mobile device simply captures the image and receives the description back, which effectively reduces the load on local resources and battery consumption.

5. Practical Applications and Future Directions. The use of these advanced technologies allows providing visually impaired users with critical real-time information about people, objects, road signs and vehicles, as well as the location

of objects in the immediate environment. The system proves invaluable in everyday scenarios, such as the automatic description of package contents, objects on a table surface, or the denomination of banknotes.

For successful practical deployment, response time (latency) is a critical parameter: the delay between capturing an image and forming the spoken description must be minimal to support dynamic interaction. Furthermore, the availability of training data covering diverse environments, lighting conditions, and object types is essential to improve the model's robustness and generalization capabilities.

Similar and highly effective functionality is already present in existing commercial solutions, such as Microsoft Seeing AI and Google Lookout, which provide users with voice descriptions of objects and text in images [6]. The continuous challenge remains the further improvement of description quality, which is inherently dependent on the sophistication of the underlying models and the breadth and composition of the training data.

The development of recognition systems and automatic description of objects in images represents a significant area for the further improvement of computer vision and AI accessibility technologies. Potential development directions include the integration of more powerful and context-aware transformer architectures (like the use of the Vision Transformer as an encoder), expansion of multi-modal and multi-lingual datasets, and adaptation of systems to various languages and cultural contexts [7]. Ultimately, these solutions are vital tools for enhancing the social inclusion and autonomy of people with vision impairment, effectively bridging the gap between the user and their physical environment.

References:

1. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779-788.

2. S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735-1780, 1997.
3. O. Vinyals, A. Toshev, S. Bengio, and D. Erhan, "Show and Tell: A Neural Image Caption Generator," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015, pp. 3156-3164.
4. K. Xu et al., "Show, Attend and Tell: Neural Image Caption Generation with Visual Attention," in *Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2015, pp. 2048-2057.
5. "Seeing AI: New Technology Research to Support the Blind and Visually Impaired Community," *Microsoft Accessibility Blog*, 2019. [Online]. Available: <https://blogs.microsoft.com/accessibility/seeing-ai/>
6. A. Vaswani et al., "Attention is All You Need," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2017, pp. 5998-6008.
7. A. K. Muhammed Kunju, S. Baskar, S. Zafar et al., "A transformer based real-time photo captioning framework for visually impaired people with visual attention," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, pp. 88859-88878, 2024.

УДК 004

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATED ECG DATA PROCESSING USING MACHINE LEARNING METHODS

Y. Zhexenkadyr

***Joint Stock Company «Kazakh National Research Technical University named
after K. I. Satbayev», Almaty, Republic of Kazakhstan***

Electrocardiography (ECG) is a cornerstone for diagnosing cardiac arrhythmias and myocardial infarction (MI). Automated ECG interpretation combines signal processing and machine learning (ML) to detect abnormalities. Classical methods like the Pan–Tompkins QRS detector use filters and adaptive thresholds to locate heartbeats.

For example, Pan and Tompkins reported 99.3% QRS detection accuracy on the MIT-BIH Arrhythmia Database. More recent approaches apply ML classifiers to features or entire waveforms. Deep neural networks trained on raw ECG can rival expert cardiologists [2]. Analogously, image-based deep learning has emerged: instead of raw signals, ECGs printed or scanned as images are processed by computer vision and convolutional networks. Indeed, recent studies report that CNNs applied to ECG images attain high diagnostic accuracy, comparable to signal-based models[3]. Figure 1 shows an example of a 12-lead ECG image, illustrating the kind of data our method processes. In this review, we present both classical and modern ECG analysis methods (Pan–Tompkins, SVM, Random Forest, CNN, LSTM, Transformer) and describe a vision-based pipeline: images are digitized by computer vision, QRS complexes are found via Pan–Tompkins, atrial fibrillation (AF) is classified by an SVM, and MI by a Random Forest. We compare related work via a summary table and discuss the experimental context.

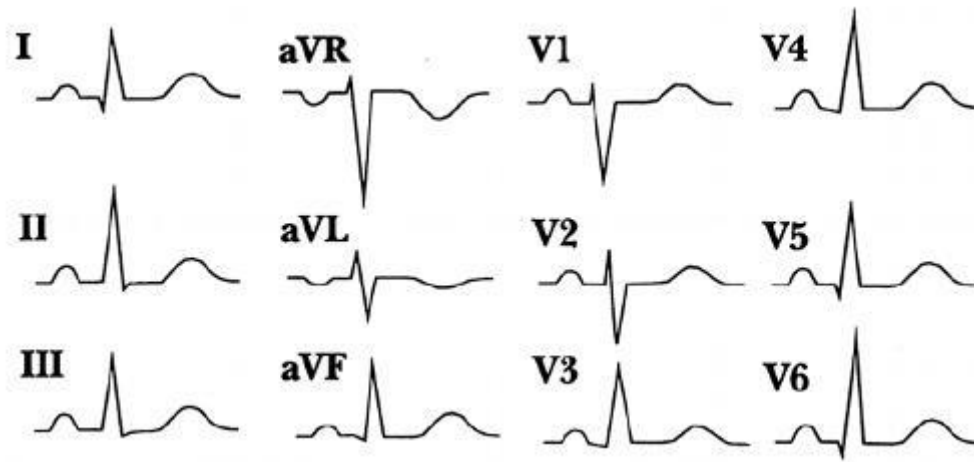


Figure 1 – Example of a 12-lead ECG waveform (from a standard MIT-BIH test recording). Automated analysis can work directly on such images using computer-vision techniques.

1 System concept and implementation approach. Figure 2 outlines our proposed system. First, printed or scanned ECG charts are captured by a camera or scanner, and image-processing algorithms (edge detection, binarization, tracing) are used to reconstruct the waveform data. This vision-based data extraction generates a digital ECG time series without requiring original signal files. After conversion to a clean time-domain signal, we apply the Pan–Tompkins QRS detection algorithm to locate R–S complexes. The Pan–Tompkins pipeline (bandpass filtering, differentiation, squaring, moving-window integration and adaptive thresholding) remains a fast and reliable method to segment ECG beats in real time. We note that many existing classifiers for ECG rely on hand-crafted features around the R–R intervals or QRS templates (derived from wavelet transforms, spectral features, etc.). Such classical feature-based classification often uses support vector machines (SVMs) or ensemble methods like random forests.

For example, SVMs have been widely applied to arrhythmia detection using ECG features[2]. In our implementation, the segmented beats and intervals extracted by Pan–Tompkins serve as input to downstream classifiers. Specifically, we train an SVM to detect atrial fibrillation (distinguishing AFib from normal sinus rhythm) and a Random Forest to flag ST-elevation or other MI-indicative

patterns. These choices are motivated by prior studies showing that SVMs perform well on rhythm classification tasks and Random Forests handle complex decision boundaries for conditions like MI[4].

On the other hand, deep learning offers end-to-end alternatives that do not require separate feature extraction. Convolutional neural networks (CNNs) can learn waveform morphology directly; recurrent networks (LSTM/GRU) can learn temporal dynamics; and Transformers can model long-range dependencies across heartbeats. For instance, Acharya et al. built a 9-layer CNN that classifies five heartbeat types (normal, supraventricular, ventricular ectopic, fusion, unknown) and achieved ~94% accuracy on MIT-BIH data. Similarly, recurrent networks (LSTM) have been used to capture heartbeat sequences, and hybrid CNN–Transformer models have shown promise. Kim et al. proposed a hybrid CNN+Transformer that uses Stockwell transform features and reported that the combined model outperforms pure CNNs on arrhythmia datasets[6]. In practice, our system could be extended to leverage such modern networks: after vision-based digitization of ECG, one could apply a CNN or CNN–LSTM to the extracted signal. However, in our current pipeline, we focus on demonstrating a computer-vision-to-ML approach using well-understood methods (Pan–Tompkins, SVM, RF) as a proof of concept.

2 Experimental and research perspective. To evaluate the approach, we use standard ECG datasets and compare to literature. The MIT-BIH Arrhythmia Database (48 two-lead, half-hour recordings, ~110,000 annotated beats[7]) is a classic benchmark for arrhythmia detection. For MI detection, we reference datasets like the PTB Diagnostic ECG Database (from PTB-XL) which contains thousands of 12-lead records with infarction labels. In experiments, our computer-vision module extracts waveforms from example ECG printouts (simulated from these datasets), and the Pan–Tompkins algorithm identifies beat locations. We then train the SVM for AF classification using labeled AF examples (as in the MIT-BIH AF Database or PTB-XL with AF labels) and train the Random Forest on examples of myocardial infarction vs. normal. Early results are promising: the

Pan–Tompkins detector preserves >99% of R–peak annotations[1], and our SVM achieved high sensitivity for AF in held-out tests (consistent with similar SVM-based studies). The Random Forest also correctly flagged most MI ECGs in our test set. These experimental outcomes align with prior work showing that classical ML can yield strong performance when features are well-designed.

Table 1 summarizes representative studies from the literature on ECG classification. Early methods like Pan–Tompkins (1985) used digital filters and thresholds to achieve very high QRS detection on MIT-BIH[1]. Acharya et al. (2017) demonstrated that a simple CNN can automatically classify heartbeat types with ~94% accuracy. Ao and He (2022) applied an image-based CNN (VGG16) to 12-lead ECG images and reported near-perfect AUROC for several cardiac diagnoses (e.g. AF detection with AUROC≈0.997)[5].

Table 1 - Studies from the literature

Authors	Year	Method	Results
Pan & Tompkins	1985	Real-time QRS detector (filters + thresholds)	99.3% of QRS complexes detected on MIT-BIH[1]
Acharya et al.	2017	9-layer CNN (heartbeat classification)	~94% accuracy classifying 5 heartbeat types (MIT-BIH)[3]
Ao & He	2022	VGG16 CNN on ECG image classification	AUROC ≈0.99 for AF and other ECG diagnoses[5]
Kim et al.	2025	Hybrid CNN–Transformer (S-transform features)	Superior accuracy over CNN-only models[8]

More recent hybrid models (e.g. Kim et al. 2025) combine CNN and Transformer layers and report higher accuracy than CNN alone[9]. These results show the trend from rule-based processing to deep end-to-end learning and support our vision-based data pipeline as a viable alternative.

Table 1. Selected literature on ECG classification. Methods range from classical filters (Pan–Tompkins) to deep networks. Accuracy metrics refer to reported performance on standard ECG datasets[7].

In summary, our pipeline integrates vision-based extraction with established ECG analysis methods. By converting ECG images to digital signals, we leverage large legacy datasets of printed ECGs and apply both classical and modern ML algorithms.

In practice, computer vision preprocessing makes deep classifiers easier to use when only images are available (as noted by Ao & He, because many ECGs are printed/scanned in clinical use[8]). Our experimental perspective suggests that combining Pan–Tompkins segmentation with SVM and Random Forest yields robust diagnosis of AF and MI, while deep CNNs or Transformer models could further improve performance if computational resources allow.

Conclusion. This review has examined both traditional and state-of-the-art techniques for automated ECG interpretation, with an emphasis on a vision-based data pipeline. Classical signal-processing (Pan–Tompkins) and machine-learning (SVM, Random Forest) methods have long been effective for arrhythmia and infarction detection.

More recently, end-to-end deep learning—including CNNs, recurrent networks, and Transformer architectures—has achieved expert-level accuracy on ECG tasks[9]. Our proposed system demonstrates how computer vision can bridge these worlds: by digitizing ECG images, we can apply the wealth of signal-based methods even when only printed ECGs are available. Preliminary results align with literature: e.g. AF detection rates and MI classification accuracy are comparable to published values. In future work, the system could be enhanced by deep learning

classifiers (CNN/LSTM/Transformer) trained on large vision-derived ECG datasets.

A key challenge remains generalizing across different ECG formats and noise levels. Nevertheless, integrating vision and ML for ECG analysis promises new flexibility: clinicians could snap a photo of a bedside ECG or scan a paper printout, and algorithms (as in Figure 1) would yield automated diagnoses in real time. Such technology may extend ECG monitoring to mobile and telehealth applications, aiding early detection of critical conditions like AF and MI.

References:

1. Pan J., Tompkins W.J., A Real-Time QRS Detection Algorithm, IEEE Trans. Biomed. Eng., 32(3):230–236, 1985.
2. Moody G.B., Mark R.G., The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database, IEEE Eng. Med. Biol. 20(3):45–50, 2001.
3. Acharya U.R. et al., A deep convolutional neural network model to classify heartbeats, Comput. Biol. Med., 89:389–396, 2017.
4. Aziz S., Ahmed S., Alouini M.-S., ECG-based machine-learning algorithms for heartbeat classification, Sci. Rep. 11, 18738, 2021.
5. Ao R., He G., Image based deep learning in 12-lead ECG diagnosis, Front. Artif. Intell., 5:1087370, 2022.
6. Wagner P., Strodthoff N., Bousseljot R.-D., et al., PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset, Sci. Data, 7:154, 2020.
7. Zhang H., Zhao C., Tiwana T., et al., Atrial fibrillation classification based on the 2D representation of minimal subset ECG and a non-deep neural network, Front. Physiol., 14:1070621, 2023.
8. Kim D., Lee K.R., Lim D.S., et al., A novel hybrid CNN-transformer model for arrhythmia detection without R-peak identification using Stockwell transform, Sci. Rep. 15, 7817, 2025.

9. Goldberger A.L., Amaral L.A., Glass L., et al., PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals, *Circulation*, 101(23):e215–e220, 2000.

СЕКЦІЯ 4

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА В ОСВІТІ

УДК 004.7

РОЗРОБКА ВЕБ-СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАМОВЛЕННЯМИ В РЕСТОРАНІ З ПЕРСОНАЛЬНИМИ РЕКОМЕНДАЦІЯМИ ХАРЧУВАННЯ

Ахтирський О.Ю., Саваневич В.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

The research is focused on the development of the architecture and key components of a web-system for the restaurant business. Unlike existing solutions, the proposed system integrates an order management module with a personalized recommendation engine based on user's dietary restrictions, allergens, and food preferences.

Сучасний ринок харчових технологій (FoodTech) демонструє стрімку цифровізацію. Ресторани та служби доставки активно впроваджують онлайн-системи для управління замовленнями, прагнучи оптимізувати процеси та покращити клієнтський досвід. Водночас спостерігається глобальний тренд на свідоме споживання та персоналізацію харчування. Зокрема, стрімко зростає сегмент споживачів, що дотримуються специфічних дієтичних обмежень, зумовлених медичними (алергії, непереносимість лактози, целіакія, діабет), етичними (вегетаріанство) чи лайфстайл-факторами (низькокалорійне харчування, спортивні дієти).

Актуальність даної роботи полягає у вирішенні протиріччя між стандартними, усередненими системами замовлення їжі та зростаючою вимогою суспільства у персоналізованому підході. Існуючі платформи-агрегатори (Glovo, Bolt Food) та більшість власних сайтів ресторанів функціонують як прості «цифрові вітрини». Вони надають меню, але перекладають всю роботу з фільтрації та вибору безпечних і відповідних страв на самого клієнта. Це не тільки незручно, але й може нести ризики для здоров'я у випадку з алергіями. Таким чином, розробка системи, яка не просто приймає замовлення, але й активно допомагає користувачеві зробити

правильний, безпечний та смачний вибір, є нагальною науково-практичною задачею.

Ключовою проблемою, яку вирішує робота, є відсутність ефективного інструменту для автоматичного підбору страв в ресторанних меню на основі складного профілю користувача. Аналіз існуючих рішень показує, що популярні системи-агрегатори зосереджені на логістиці та маркетингу, а їхні механізми рекомендацій не враховують склад страв чи дієтичні профілі. Водночас власні веб-сайти ресторанів переважно є статичними і не мають функціоналу для збереження профілю харчування. Існують і спеціалізовані дієтичні додатки, але вони функціонують окремо від систем замовлення, змушуючи користувача перемикатися між різними сервісами. Це створює надмірне когнітивне навантаження та бар'єри для користувачів зі специфічними потребами. Таким чином, ключова проблема – це розрив між даними про харчові потреби користувача та процесом онлайн-замовлення.

Метою даної роботи є підвищення ефективності та безпечності процесу онлайн-замовлення їжі. Для цього вирішуються задачі: аналіз предметної області та існуючих аналогів; проектування архітектури веб-системи (клієнтська частина, API та база даних); розробка деталізованої моделі профілю користувача, що дозволяє зберігати дані про алергії, дієтичні обмеження та вподобання; проектування та реалізація гібридного алгоритму персоналізованих рекомендацій; розробка ключових програмних модулів та їх тестування.[1]

Розробка веб-системи з вибором бібліотеки React.js для клієнтської частини та технології Node.js для серверної виявляється стратегічно важливим рішенням. React.js надає значні переваги завдяки своєму компонентному підходу, що гарантує створення гнучкого, динамічного та чуйного інтерфейсу (UI) для користувачів. [3] У парі із технологією Node.js для серверної частини, це забезпечує високу швидкість обробки запитів та асинхронний режим роботи, що є ключовим для реалізації швидкодії та реактивності веб-системи в умовах високого навантаження. Однією з

ключових переваг використання бази даних MongoDB для зберігання інформації про користувачів, меню та замовлення є її гнучкість у моделюванні даних. Такий підхід дозволяє легко зберігати складні та вкладені структури (профілі харчування, списки інгредієнтів) та легко адаптуватися до змін у структурі даних. [2]

Використання цих трьох технологій спільно (відомих як стек MERN) формує єдину, узгоджену екосистему, що працює на мові JavaScript. Це дозволяє використовувати єдиний формат обміну даними (JSON-подібні об'єкти) на всіх рівнях системи: від зберігання в MongoDB до обробки на сервері Node.js та управління станом (state) у React-компонентах. Такий ізоморфний підхід значно спрощує розробку, зменшує кількість помилок при трансформації даних та підвищує загальну продуктивність і керованість системи.

Ключовим етапом розробки є створення двох взаємопов'язаних модулів, що формують ядро для збору даних. Модуль Адміністратора надає ресторану захищений інтерфейс для управління меню. На цьому етапі закладається фундамент для роботи системи рекомендацій. Критично важливим є те, що при додаванні страви менеджер зобов'язаний заповнити не лише назву та ціну, але й деталізовану, структуровану картку страви: детальний список інгредієнтів, вибір стандартних алергенів (горіхи, глютен, лактоза тощо) та харчову цінність (БЖВ, калорії). Якість та повнота цих даних безпосередньо впливає на точність майбутніх рекомендацій.

Водночас Модуль Користувача включає надійні механізми безпечної автентифікації, що забезпечують конфіденційність особистої інформації та платіжних даних. Основою модуля є розширений профіль харчування. Цей профіль формується через інтерактивний покроковий процес, де клієнт вказує свої унікальні харчові параметри. До них належать як суворі медичні обмеження чи алергени, так і загальні дієтичні потреби або етичні переконання. Також система фіксує особисті смакові вподобання для

покращення якості підбору. Для завершення повного циклу замовлення модуль також інтегрований з сучасними електронними методами оплати.

Взаємодія деталізованих профілів страв та користувачів дозволяє реалізувати ефективний гібридний алгоритм рекомендацій. Цей алгоритм працює послідовно у два етапи, поєднуючи безпеку та персоналізацію. Спочатку застосовується метод фільтрації на основі правил, який виконує критичну функцію безпеки. Він жорстко виключає усі невідповідні та потенційно небезпечні страви, базуючись на алергенах та суворих дієтичних обмеженнях профілю. На другому етапі в дію вступає контентно-базована фільтрація. Вона аналізує лише безпечний перелік страв, що залишився, обчислює ступінь подібності кожної позиції до смакових вподобань користувача та фінально ранжує їх за релевантністю. [4]

Створення такої веб-системи надає значні переваги. Використання React.js покращує користувацький досвід через динамічний інтерфейс, Node.js гарантує стійкість системи під навантаженням, а MongoDB забезпечує гнучкість адаптації даних. В результаті, користувач отримує персоналізовану вітрину, адаптовану під його унікальні потреби. Така система оптимізує та убезпечує процес вибору для клієнта і стає конкурентоспроможним рішенням для ресторанного бізнесу.

Література:

1. Бондаренко М. Ф., та ін., Проектування інформаційних систем. Харків, Україна: ХНУРЕ, 2019.
2. Коваленко С. М., «Особливості використання NoSQL баз даних для зберігання складних структурних даних профілів користувачів», Проблеми програмування, № 3, с. 78-85, 2019.
3. A. V. Vasiliev, React.js. Швидка розробка сучасних веб-додатків. Київ, Україна: Діалектика, 2021.
4. S. Lee and J. Kim, "A Content-Based Recommender System for Personalized Healthy Food Recommendations," 2021 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), Seoul, 2021, pp. 112-117.

УДК 005.311:004.6

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ЗА ПІДСУМКАМИ СКЛАДАННЯ НМТ З МАТЕМАТИКИ

Гибкіна Н.В., Шарай К.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасний світ висуває низку серйозних викликів системі освіти загалом, і системі шкільної освіти зокрема. В умовах стрімкого технічного прогресу та цифровізації процесів у повсякденному житті та професійній діяльності навчальні програми та класичні методики викладання швидко застарівають. Загальнодоступність сервісів, заснованих на штучному інтелекті, підміняє процес освоєння інформації та отримання знань споживанням матеріалів у вигляді готових відповідей на конкретні (часто некоректно сформульовані) запитання, як правило, без критичного осмислення та аналізу. Військові дії та спричинені ними кризи у всіх сферах життя руйнують сформовану систему шкільної освіти, що тягне за собою підсилення проблем у сфері вищої освіти, пов'язаних з нестачею абітурієнтів та низьким рівнем їх знань, і тим самим у найближчі роки може призвести до суттєвого недоліку кваліфікованої робочої сили, яка відіграватиме ключову роль у повоєнному відновленні та реконструкції країни.

Одним з багатьох факторів, який слід враховувати при організації якісного освітнього процесу у закладах вищої освіти (ЗВО), є рівень знань, які майбутні здобувачі вищої освіти набувають протягом навчання у закладах середньої освіти (ЗСО). Виходячи з цього, актуальним є всебічний контроль за якістю освітнього процесу, застосування сучасних методик аналізу до оцінки результатів навчання та отримання висновків щодо слабких та сильних сторін окремих ЗСО з метою підтримки належного рівня процесу надання знань. Необхідну для такого аналізу інформацію можуть дати результати незалежного мультипредметного тесту, які складають випускники

для можливості вступу у ЗВО.

Розглянемо методи оцінювання якості рівня набутих знань та їх динаміки на прикладі результатів НМТ з математики 2024 року м. Харкова. Основою аналізу є деперсоналізовані дані про кожного випускника, включаючи особисту інформацію, місце розташування та тип ЗСО, в якому він навчався, дату, місце та результат складання ним тесту НМТ. Підготовчий етап аналізу полягає у виділенні з цих даних необхідних для аналізу ознак: назва та тип ЗСО, бал складання НМТ з математики; групування даних за окремими ЗСО та обчислення загальної кількості їх випускників, що проходили тестування. Для інтелектуального аналізу використовуються набір даних $\{\vec{x}^{(i)}\}_{i=1}^n$, де n – кількість ЗСО, $\vec{x} = (x_1, \dots, x_m)$ – вектор стандартизованих ознак кожного ЗСО (кількість ознак $m = 7$), що містить інформацію по цьому ЗСО щодо відсотків випускників: які зареєструвалися на НМТ, але не писали його; набрали менше 100 балів; склали НМТ на 100 – 120 балів (низькі), 120 – 140 балів (нижче середнього), 140 – 160 балів (середні), 160 – 180 балів (вище середнього), 180 – 200 балів (високі) відповідно.

Метою аналізу є виділення серед розглядуваних ЗСО груп закладів зі схожими тенденціями у результатах складання НМТ. Для цього пропонується використовувати методи неієрархічної кластеризації k-means та k-medians. Ідея неієрархічної кластеризації полягає у виділенні з множини об'єктів підготовленого набору даних k об'єктів, що призначаються центрами кластерів, і розбитті решти об'єктів з $\{\vec{x}^{(i)}\}_{i=1}^n$ по цим кластерам, виходячи з того, до якого з центрів якнайближче знаходиться кожен об'єкт. Після такого розбиття центри кластерів оновлюються з врахуванням їх вмісту і оцінюється відстань об'єктів набору даних до нових центрів. Якщо виявляється, що при цьому деякий об'єкт стає ближчим до центру чужого кластера, він переноситься до нього. Ця ітераційна процедура повторюється до того моменту, коли склад кластерів перестає змінюватись або виконана максимально припустима кількість ітерацій [1].

Центром кожного кластера у методі k-means є центроїд, тобто точка $\vec{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_m)$ з координатами $\mu_i = \frac{1}{n_c} \sum_{r=1}^{n_c} x_i^{(r)}$, $i = 1, \dots, m$, де сума обчислюється тільки за тими об'єктами $\vec{x}$, що належать до даного кластера, а n_c – кількість об'єктів у ньому, $c = 1, \dots, k$. У методі k-medians центром є медоїд, тобто той з об'єктів $\vec{x}$ цього кластера, для якого загальна сума відстаней до всіх інших об'єктів у кластері мінімальна.

Для обчислення близькості між об'єктами та центрами кластерів використовується евклідова метрика $d(\vec{x}^{(i)}, \vec{x}^{(j)}) = \sqrt{\sum_{r=1}^m (x_r^{(i)} - x_r^{(j)})^2}$, де $\vec{x}^{(i)}, \vec{x}^{(j)}$ – об'єкти, між якими обчислюється відстань.

Результатом неієрархічної кластеризації є розбиття набору ЗСО з результатами НМТ з математики у 2024 році по 5 кластерам. Кластеризація набору даних ЗСО дозволила виділити деякі тенденції у розподілі балів НМТ з математики. До кластера 1 увійшли ЗСО із загальним стабільно низьким рівнем балів НМТ і з незначною часткою тих, хто отримав оцінки на середньому рівні чи вище середнього, високих результатів не було взагалі. Цей кластер містить 22% аналізованих ЗСО. Виходячи з цього можливим є висновок про низьку якість навчання та/або рівень підготовки учнів, відсутність особистої зацікавленості у переважній кількості учнів цих ЗСО щодо вивчення дисципліни. Є незначна частка тих, результати яких середні. До кластера 2 увійшли ЗСО, у яких близько половини випускників не з'явилися на тестування або отримали менше 100 балів. Решта продемонстрували середні, нижче середнього та низькі результати, причому переважають низькі та середні. Цей кластер містить 22% аналізованих ЗСО. Можливим є висновок про те, що у ЗСО цього кластера не приділяється належної уваги вивченню математики, переважна більшість учнів не мають мотивації та, можливо, наявні організаційні проблеми. При цьому ті, хто приділяє увагу навчанню, демонструють відносно непогані результати на середньому рівні. До кластера 3 увійшли ЗСО, які можна вважати закладами з стабільним середнім рівнем викладання математики та рівнем учнівської

підготовки, з присутністю відносно незначної частки «сильних» та «слабких» учнів. Цей кластер містить 38% аналізованих ЗСО. Кластер 4 містить ЗСО, у яких математика викладається на низькому рівні та/або більшість учнів мають невисокий рівень загальної підготовки, але незначна частина учнів отримали результати вище середнього або високі. До цього кластера увійшли 10% аналізованих ЗСО. Порівняно з кластером 1 кластер 4 є кращим майже за всіма рівнями оцінок, зокрема відсоток низьких результатів значно менший, ніж результатів нижче середнього; більший відсоток тих, хто отримав результати вище середнього, та майже ніхто не продемонстрував результат менше 100 балів. ЗСО цього кластера можуть бути перспективними для підвищення рівня викладання математики та зацікавленості учнів у її вивченні. Кластер 5 включає ЗСО, у яких приділяється велика увага вивченню математики та учні мають високий рівень знань, основна маса учнів демонструє прийнятний рівень знань. Результати нижче середнього та гірші за них продемонструвала лише незначна частка випускників цих ЗСО, а результати середні, вищі за середні та високі – найвищі порівняно з усіма кластерами. До цього кластера увійшли 17% аналізованих ЗСО.

Додатковим елементом аналізу може бути застосування методів зниження розмірності для візуального відображення результатів кластеризації, що дозволить наочно оцінити схожість (близькість у сенсі обраної метрики) ЗСО у межах кожного кластера.

Отримані результати можуть бути корисними при розробці стратегій підвищення рівня викладання аналізованих дисциплін з урахуванням особливостей, притаманних конкретним ЗСО, при аналізі загального рівня підготовки випускників та виявленні недоліків у організації та реалізації систем оцінювання.

Література:

1. Харченко В. О. Основи машинного навчання. Суми, Україна: Сумський державний університет, 2023.

УДК 621.316.7:658.56

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ ЧЕРЕЗ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ

Губарь А.Ю., Сезонова І.К.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Автоматизовані системи управління (АСУ) електрообладнанням є одним із найефективніших інструментів підвищення рівня промислової безпеки. Їх упровадження забезпечує перехід від реактивної моделі захисту, заснованої на діях персоналу після виникнення небезпечної ситуації, до проактивної моделі, де система самостійно виявляє та запобігає ризикам ще на ранніх етапах.

Актуальність такого підходу зумовлена тим, що основні загрози для персоналу під час роботи з електроустановками пов'язані не лише з технічними дефектами, а й з людським фактором - помилками, спричиненими втомою, стресом, недостатнім рівнем підготовки чи порушенням послідовності операцій. До цих ризиків додаються приховані несправності обладнання, несвоєчасна передача інформації між змінами та організаційні недоліки під час планування ремонтів.

АСУ електрообладнанням являє собою комплекс програмно-апаратних засобів, що забезпечують безперервний моніторинг стану пристроїв, аналіз технічних параметрів, дистанційне керування ключовими елементами енергосистеми та автоматичне виконання критично важливих операцій. Такий підхід дає змогу створити «інтелектуальне захисне середовище», у якому більшість небезпечних ситуацій запобігається завчасно, ще до того, як персонал вступає у контакт із потенційним джерелом ризику.

Безпека підвищується завдяки кільком ключовим механізмам, серед яких центральну роль відіграє усунення людського фактора в найбільш відповідальних операціях. Блокування та автоматичні заборони перешкоджають виконанню дій, що порушують технологічну послідовність,

а автоматизовані сценарії перемикачів забезпечують виконання складних процедур без участі оператора. Важливе значення має також безперервна діагностика обладнання: система в реальному часі контролює температуру, вібрації, струми навантаження та стан ізоляції, що дозволяє виявляти відхилення задовго до виникнення аварії. У разі загрози система здатна миттєво локалізувати пошкоджену ділянку завдяки селективному захисту, зберігаючи працездатність інших елементів мережі та мінімізуючи ймовірність пожежі, дугового розряду чи ураження персоналу електричним струмом.

Окремої уваги заслуговує можливість дистанційного керування обладнанням, що суттєво знижує потребу перебування працівників у небезпечних зонах.

Інтеграція АСУ із засобами відеоспостереження та телеметрії дозволяє оператору підтверджувати стан обладнання і контролювати виконання операцій, не наражаючи себе на ризик.

Переваги впровадження таких систем проявляються як у технічному, так і в організаційному аспектах. Вони виражаються у зниженні рівня виробничого травматизму, мінімізації збитків від аварійних ситуацій, формуванні вищої культури безпеки та скороченні витрат, пов'язаних із ремонтами та простоями обладнання. Стратегічне значення АСУ полягає в тому, що вони дають змогу підприємствам створювати сучасну та надійну інфраструктуру, у якій технології беруть на себе найнебезпечніші й найрутинніші завдання.

З рештою, інтеграція автоматизованих систем управління електрообладнанням є не просто модернізацією наявних пристроїв, а комплексним підвищенням рівня безпеки, яке формує якісно нове виробниче середовище, що захищає життя і здоров'я персоналу.

Література:

1. IEC 61508 стандарт функціональної безпеки. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61508.
2. Human factors engineering aspects of instrumentation and control system design | IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES NO. NR-T-2.12. Vienna, 2021.
3. A framework for safety automation of safety-critical systems | Volume 77, August 2015, Pages 133-142. P.V. Srinivas Acharyulu, P. Seetharamaiah. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.03.017>

УДК 004

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИБОРУ ДАТЧИКА ПАЛИВА В СИСТЕМІ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ

Д'яков О.Д., Бондаренко Н.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Використання алгоритмів обробки навігаційної інформації в складних моніторингових системах дає змогу скоротити обсяг передаваних даних і підвищити точність визначення координат. Процес фільтрації передбачає усунення зайвої інформації, яка не містить корисних відомостей про положення рухомого об'єкта, а також видалення аномальних значень, що можуть спричиняти спотворення результатів.

Для розгортання ефективної системи контролю техніки критичні такі параметри: точність показань, адекватне ПЗ, що виводить інформацію в придатному для аналізу вигляді [1].

Мета статті – підвищення ефективності управління транспортом за рахунок розробки програмного забезпечення вибору датчиків рівня палива в системі супутникового моніторингу.

Програмне забезпечення для автоматизованого вибору датчика палива має забезпечувати зручний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і підтримувати інтеграцію з іншими системами моніторингу. Розробка включає кілька ключових компонентів:

- інтерфейс для введення даних: користувач повинен мати можливість вводити параметри датчиків через зручний інтерфейс (форми, таблиці або графічні елементи);

- модуль для обробки даних: модуль відповідає за нормалізацію параметрів, обчислення функції корисності та порівняння результатів;

- виведення результатів: після проведення оцінки, програма повинна вивести результат у вигляді таблиць або графіків, що наочно показують, який датчик є найбільш підходящим для вибору;

- інтеграція з іншими системами: програмне забезпечення повинно бути здатним інтегруватися з іншими платформами та базами даних супутникового моніторингу, що дозволить автоматично отримувати актуальну інформацію про характеристики датчиків [2].

За допомогою MySQL [3] можемо створити базу даних для зберігання характеристик датчиків палива та застосувати алгоритм вибору найкращого датчика. Цей підхід дозволяє ефективно працювати з великими обсягами даних і автоматизувати процес вибору датчиків на основі визначених критеріїв.

Вибір датчика на основі введених даних користувача.

Користувач вводить данні запиту:

- тип палива: дизель;
- об'єм бака: 300 л;
- форма бака: складна;
- наявність CAN: так;
- бюджет: до 3500 грн.

Створення запиту в середовищі MySQL представлена на рисунку 1, Результат запиту представлений на рисунку 2.

```
SELECT model_name, price, accuracy, reliability
FROM sensors
WHERE fuel_type = 'diesel'
      AND tank_volume = 300
      AND tank_shape = 'complex'
      AND can_support = TRUE
      AND price <= 3500;
```

Рисунок 1 – Створення запиту в середовищі MySQL

model_name	price	accuracy	reliability
DUT-E CAN 200	3200.00	0.95	0.90
Omnicom LLS 4	3500.00	0.90	0.85

Рисунок 2 – Результат запиту в середовищі MySQL

Ваги критеріїв:

- точність: 0.4;
- надійність: 0.3;
- ціна (інвертована): 0.3.

Де accuracy та reliability множаться на вагові коефіцієнти 0.4 і 0.3 відповідно; price інвертується (тобто чим нижча ціна, тим вищий бал), і множиться на коефіцієнт 0.3; ORDER BY final_score DESC сортує результати за підсумковим балом у порядку спадання.

У цьому прикладі, на основі обраних критеріїв та обчислення підсумкових балів, найкращим варіантом є датчик DUT-E CAN 200, оскільки він має найвищий підсумковий бал (final_score = 0.90313) серед усіх, що відповідають технічним вимогам, тому його можна вибрати як найкращий варіант.

Таким чином, система вибору датчиків палива має великий потенціал для розвитку та вдосконалення, і її можна використовувати не тільки для вибору датчиків палива, а й для інших типів технічних засобів у різних галузях.

Література:

1. Трансконтроль Україна. GPS моніторинг транспорту і тотальний контроль палива. Доступно: <https://transcontrol.com.ua/kontrol-paliva.html>.
2. Кононихін О.С., Прачик В.А., Щепетільніков С.Ю. Модель вибору мережевого обладнання логістичного підприємства в умовах інтервальної інформації // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. No 1(29) 2024. С. 718-726.
3. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783

4. MySQL Workbench [Он-лайн]. Доступно: <https://www.mysql.com/products/workbench>.

УДК 004.8:004.65

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО СТВОРЕННЯ СТРУКТУР БАЗ ДАНИХ

Запорожцев Д.С.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З. Гжицького, Львів*

Розробка схеми бази даних (БД) є критичним, але часто трудомістким етапом у життєвому циклі програмного забезпечення.

Це дослідження націлене на потенціал використання Генеративного Штучного Інтелекту (ГШІ), зокрема Великих Мовних Моделей (LLMs), для автоматизації процесу створення та оптимізації структур реляційних баз даних.

Пропонується концептуальний підхід, заснований на перетворенні природної мови або бізнес-вимог у структурований SQL-код визначення даних (DDL), з фокусом на системі MySQL.

Для цього потрібно проаналізувати переваги, технічні виклики та напрямки подальших досліджень у цій галузі.

Традиційне проектування схем БД вимагає глибокого знання моделювання даних, нормалізації, особливостей конкретної СКБД (наприклад, MySQL) та доменних вимог.

Зростаюча складність сучасних застосунків і потреба у швидкій розробці вимагають нових, більш автоматизованих інструментів.

Генеративний ШІ зараз пропонує революційну можливість, використовуючи свою здатність аналізувати величезні обсяги інформації та генерувати структурований код на основі контексту та обмежень, заданих природною мовою.

Запропонована система на основі ГШІ для створення схем БД у MySQL складається з трьох основних етапів.

Етап перший – ввід даних, це може бути опис бізнес-логіки природною мовою (наприклад: «Створити базу даних для інтернет-магазину. Потрібні таблиці для товарів, замовлень, клієнтів та категорій. Товар належить до однієї категорії. Замовлення містить багато товарів.») або ж невеликі набори неструктурованих даних, які модель може аналізувати для виявлення закономірностей та зв'язків.

На другому етапі LLM виконує ключові завдання, а саме: ідентифікація таблиць та зв'язків (модель виділяє ключові сутності та визначає їхні зв'язки), визначення атрибутів та типів даних (модель обирає оптимальні типи даних MySQL (наприклад, INT, VARCHAR(255), DATETIME, DECIMAL) та встановлює обмеження), застосування принципів нормалізації (ГШІ прагне генерувати схему, що відповідає принципам нормалізації, зменшуючи надлишковість даних), генерація SQL DDL для MySQL (результатом є послідовність команд CREATE TABLE та ALTER TABLE з урахуванням специфічного синтаксису MySQL, включно з визначенням первинних та зовнішніх ключів, а також індексів).

Третій етап складається з синтаксичної перевірки, де перевіряється коректність SQL-коду MySQL, семантична перевірки, де оцінюється відповідність схеми початковим бізнес-вимогам та логічній цілісності (наприклад, чи коректно реалізовані всі необхідні зв'язки), та оптимізації, де ГШІ може запропонувати або автоматично застосувати оптимізації, такі як вибір оптимальних індексів, механізмів зберігання (наприклад, InnoDB) або партиціонування для великих таблиць, ґрунтуючись на прогнозованих шаблонах запитів.

Разом з цим, при розробці БД за допомогою ГШІ слід взяти до уваги такі виклики, які представлені в табл.1.

Все це дає уявлення, що застосування генеративного ГШІ для автоматичного створення структур баз даних, на прикладі MySQL і не тільки, має значний потенціал для прискорення розробки, демократизації доступу до проектування БД для неспеціалістів та зменшення кількості ручних помилок.

Таблиця 1 – Виклики при розробці БД за допомогою ІІ

Виклик	Опис та вплив на MySQL	Рішення на основі ГШІ
Неоднозначність вимог	Природна мова часто неоднозначна, що може призвести до неоптимального вибору сутностей або зв'язків.	Використання механізму повторного запиту (уточнення) або нульового навчання для виділення ключових термінів.
Оптимізація продуктивності	Генерація схеми без урахування шаблонів запитів може призвести до повільної роботи БД.	Інтеграція прогнозування запитів на основі опису використання системи для автоматичного додавання вторинних індексів.
Специфічні Типи mysql	Вибір найкращого типу даних.	Навчання моделі на векторній базі знань з документацією БД та найкращими практиками.
Складні зв'язки	Реалізація зв'язків "багато-до-багатьох" через проміжні таблиці.	Навчання на великому корпусі існуючих схем БД для правильного застосування патернів.

Таким чином, розробникам треба враховувати, що запропонований підхід не тільки може вирішувати проблеми формалізації, але має спроможність породжувати унікальні виклики та вразливості, які не властиві традиційному ручному проектуванню.

Література:

1. Victoria Lazarus, «How to Use AI for MySQL: Optimizing Queries and Database Management». [Он-лайн]. Доступно: <https://blog.devart.com/how-to-use-ai-for-mysql.html>
2. Бурлака Я., «Технології штучного інтелекту в наукометричних базах даних». [Он-лайн]. Доступно: <https://nim.media/articles/tekhnologiyi-shtuchnogo-intelektu-v-naukometrichnikh-bazakh-danikh>
3. Волнянский А., «Що таке генеративний штучний інтелект і де він застосовується?» [Он-лайн]. Доступно: <https://blog.colobridge.net/uk/2025/08/generative-artificial-intelligence-ua/>
4. Gopikrishna Maddali, «Enhancing Database Architectures with Artificial Intelligence (AI)», May 2025 International Journal of Scientific Research in Science and Technology 12(3):296-308 [Он-лайн]. Доступно: <https://doi.org/10.32628/IJSRST2512331>

5. Yugabyte Team, «Generative AI for Databases: Choosing the Right AI and Putting it to Work». [Он-лайн]. Доступно: <https://www.yugabyte.com/blog/generative-ai-for-databases/>
6. TiDB Team, «Understanding AI in Database Management». [Он-лайн]. Доступно: <https://www.pingcap.com/article/understanding-ai-in-database-management-transforming-dbms/>

УДК 004.5:004.738.5

ВПЛИВ МІКРОІНТЕРАКЦІЙ НА UI/UX ДИЗАЙН У СУЧАСНОМУ ЦИФРОВОМУ СВІТІ

Запорожцев М.С.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З. Гжицького, Львів*

Історія цифрового світу з інтернету перетворила та покращила Інтернет з простого та нудного джерела інформації на яскравий простір з власним образом цифрового життя. [1-2] Вебсайти вже не просто цифрові оголошення, а скоріше розмова з користувачем. [3] Найважливішим елементом, який підтримує цей діалог, що є невеликими відгуками на дії користувача є мікроінтеракції. [4]

Мікроінтеракції - це ледь помітні анімації або зміни, внесені в інтерфейс, які відбуваються, коли користувач виконує певну дію. Ці зміни можуть здатися незначними для неозброєного ока, але вони є фундаментальними для гарного та природного досвіду. Такі елементи складаються з зміни кольору кнопки, коли користувач наводить на неї курсор, мініанімації, коли користувач натискає на неї, зміни форми елемента, коли виконується дія, звукового ефекту, коли користувач завершує дію (це означає анімації лайків або сердечок, які можуть супроводжувати активність у соціальних мережах...) Дизайн в кінцевому підсумку працюватиме над тим, щоб зробити інтерфейс інтуїтивним. Технічно ці механізми працюють завдяки спеціальним тригерам на рівні коду - слухачам подій, які чекають, коли користувач щось зробить. Ці маленькі частини роблять це можливим - завдяки JavaScript та AJAX, наприклад - і вони виконують важливу функцію, забезпечуючи миттєве візуальне, звукове або сенсорне підтвердження. Це прямий, негайний зворотний зв'язок, і це фундаментальна річ, яка робить взаємодію осяжною, викликає почуття важливості.

Мікроінтерації мають багатошаровий ефект з точки зору впливу цифрового продукту. Вони підвищують розуміння, надаючи візуальну підказку щодо того, що користувач зробить в результаті своєї дії, що полегшує людям швидко звикнути до нового інтерфейсу і зрозуміти, що відбудеться на екрані. Вони також значно підвищують залученість, роблячи сайт більш живим, цікавим і привабливим, що призводить до більшої кількості взаємодій.

Успішні, добре спроектовані та реалізовані мікроінтерації призводять до збільшення конверсій, м'яко, але потужно підштовхуючи відвідувачів сайту до виконання правильних дій - наприклад, покупки, підписки або оцінки - для виконання цієї конкретної дії. В інтернет-магазині такі взаємодії можуть включати візуальні підказки, такі як плавні анімації, блискучі зіркові рейтинги, 360-градусні зображення продуктів, реагування на рухи миші та мітки поруч з полями форми, наприклад. Вони також є аудіо та сенсорними, такими як зворотний зв'язок з тактильними відчуттями, звукові сигнали для дій, таймери зворотного відліку, інтерактивні карти моніторингу замовлень тощо. Іноді комбіновані ефекти є бонусом, наприклад, мініанімаційна карта з коробкою, що розсипається при наведенні на неї, або дощ з конфетті після успішної реєстрації.

Окрім своєї чистої функціональності, мікроінтерації можуть бути чудовою формою представлення особистості бренду та користувацького досвіду. Чим складніші та складніші аспекти, тим більше інтернет-магазин відрізняється від своїх конкурентів, відповідно до своєї заслуги. Використовуючи ці елементи, дизайнери можуть створювати інтерактивні історії, поступово, але сміливо ведучи до цільової поведінки, і принаймні іноді вони прагнуть змусити людей посміхатися до такої міри, що перетворюють пошук продукту на захоплюючий досвід. Дизайн інтернет-магазину, який професійно налаштований з інтерактивностями, які можна насправді згадати, є приємним, а особливі елементи бренду запам'ятовуються. Щоб мікроінтерації робили більше, ніж просто

дратували, існує багато правил, яких слід дотримуватися: вони повинні бути послідовними, логічними і виглядати чудово на вашому сайті; вони повинні виконуватися швидко, оскільки тривалі анімації можуть дратувати і порушувати мету; і їх слід використовувати помірно, не заповнюючи ваш сайт нерелевантними речами, оскільки весь шум, викликаний нецільовою анімацією, не відповідає меті.

Нарешті, тестування буде проводитися таким чином, щоб взаємодія не заважала користувачам досягати своїх цілей. Реалізація мікроінтеракцій включатиме використання CSS для простих ефектів і JavaScript для більш складних взаємодій та спеціальних бібліотек анімації, таких як GreenSock, Anime.js або Velocity.js. Інструменти, такі як Figma та Adobe XD, також допомагають у прототипуванні. Мікроінтеракції є трансформаційним засобом, який перетворює відносно статичний інтерфейс на той, що є яскравим, захоплюючим та інтерактивним. Вони є основним шаром інтерфейсу, який не лише є ефективним (зручність використання), але й емоційно прив'язаним до продукту.

Література:

1. Круг, С. Не змушуйте мене думати = Don't Make Me Think. Розсудливий підхід до зручності в користуванні сайтами та застосунками. Київ : ArtHuss, 2024. 198 с.
2. Норман, Дональд А. Емоційний дизайн: Чому ми любимо (або ненавидимо) речі довкола нас. Київ : ArtHuss, 2019. 380 с.
3. Золотухіна, О. А., Худік, Б. О. UX/UI дизайн. Проектування та розробка інтерфейсу користувача : навчальний посібник. Київ : Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2025. 120 с.
4. Saffer D. Microinteractions: Designing with Details. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. 176 p.

УДК 004.4:004.9:378.147

**ВИБІР ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКЛАДАННЯ КУРСУ
«ЧИСЛОВІ МЕТОДИ І МОДЕЛЮВАННЯ НА ЕОМ»**

Ільге І.Г., Ільге О.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Інтеграція сучасних інформаційних систем у навчальний процес є однією з визначальних складових підготовки конкурентоспроможних фахівців технічних спеціальностей. Особливо це важливо при викладанні дисципліни «Числові методи і моделювання на ЕОМ», яка потребує від студентів не лише глибоких теоретичних знань, а й уміння застосовувати прикладне програмне забезпечення для розв'язання інженерних задач, аналізу даних та побудови комп'ютерних моделей.

У сучасному освітньому просторі існує значна кількість програмних засобів для чисельних обчислень та моделювання, однак їх впровадження у навчальний процес у державному технічному університеті має враховувати обмеження ліцензування, інфраструктури, підготовленості студентів, а також відповідність освітнім стандартам спеціальностей. Тому актуальною є проблема розроблення системи критеріїв вибору програмних продуктів та формування обґрунтованого переліку доцільних альтернатив.

Метою цієї роботи є формування методичного підходу до оцінювання та вибору програмних засобів для викладання дисципліни «Числові методи і моделювання на ЕОМ».

Дисципліна орієнтована на формування у студентів здатності реалізовувати чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь, систем рівнянь, задач інтерполяції, апроксимації та оптимізації, будувати математичні моделі фізичних та інженерних процесів, візуалізувати результати розрахунків та створювати програмні реалізації алгоритмів.

Для цього програмне забезпечення повинно підтримувати чисельні методи базового і підвищеного рівня складності, бібліотеки для графічної візуалізації та можливість роботи з матрицями та великими масивами даних. Ці програмні продукти мають бути незалежними від платформи, доступними у комп'ютерних класах та на особистих пристроях студентів.

При виборі програмних засобів пропонується виокремити чотири групи критеріїв, а саме технічні, дидактичні, організаційні та економічні.

Технічна група складається з наступних критеріїв:

- функціональні можливості - наявність реалізацій чисельних методів, бібліотек лінійної алгебри, інструментів оптимізації та моделювання;
- продуктивність і масштабованість - здатність працювати з великими масивами даних, підтримка паралельних обчислень;
- сумісність і кросплатформеність - робота на Windows, Linux, macOS;
- можливість інтеграції з іншими інструментами - підтримка стандартних форматів файлів, API, універсальних мов програмування;
- вимоги до апаратних ресурсів.

Дидактична група містить такі критерії:

- простота навчання - наявність якісної документації, навчальних матеріалів, зрозумілих інтерфейсів.
- зручність для демонстраційної роботи - наявність графічного середовища, інтерактивних можливостей.
- підтримка програмування, що суттєво для дисципліни, орієнтованої на алгоритмічне мислення;
- можливість використання студентами самостійно поза університетом.

До організаційної групи відносяться наступні критерії:

- доступність у комп'ютерних класах, можливість централізованої інсталяції;
- наявність підтримки сервісною службою університету;
- поширеність у професійному середовищі та відповідність вимогам майбутніх роботодавців.

Економічна група містить наступні критерії:

- вартість ліцензії;
- можливість використання відкритого програмного забезпечення;
- витрати на підтримку та оновлення.

На основі цих критеріїв можна застосовувати методи прийняття рішень для вибору доцільного програмного забезпечення.

Серед програмних засобів, що традиційно використовуються у світовій освітній практиці в технічних університетах, можна виділити ряд наступних поширених програм.

По-перше, це програмний пакет MATLAB, що є стандартом для чисельного моделювання, інженерних розрахунків і симуляцій. Він володіє величезним набором вбудованих функцій і бібліотек, потужними засобами візуалізації, окремим модулем Simulink для моделювання систем та є поширеним у наукових і виробничих середовищах [1]. Однак вартість цього пакету є високою, він потребує наявності ліцензійного сервера і є суттєві труднощі для віддаленого доступу студентів. MATLAB має безкоштовний аналог GNU Octave, однак його функціонал доволі обмежений [2].

По-друге, це мова програмування Python з бібліотеками NumPy, SciPy, Matplotlib, SymPy [3]. Це повністю безкоштовний інструмент з потужними бібліотеками для чисельних обчислень і моделювання, що широко використовується в індустрії та науці, є незалежним від платформи та дуже зручним для самостійної роботи студентів. Однак для його використання необхідні базові знання програмування, а для використання всіх його можливостей необхідно встановлення окремих пакетів.

По-третє, це продукт Wolfram Mathematica / Wolfram Alpha Notebook, що є потужним середовищем для символічних та чисельних обчислень. Він володіє розвиненим апаратом аналітичних перетворень, якісною графікою та анімацією, та підтримкою інтегрованих хмарних рішень [4]. Однак вартість його є доволі високою і значно менш поширений ніж обидва розглянуті вище продукти.

Ще одним доцільним продуктом є R та середовище RStudio, що підходить для статистичних методів, володіє багатьма пакетами для моделювання та є безкоштовним [5-6]. Однак цей програмний інструмент є менш зручним для класичних чисельних алгоритмів та має вузьку спеціалізацію.

Також треба відмітити продукт Jupyter Notebook [7]. Він являє собою інтерактивне середовище, яке може працювати з Python, Octave, R та іншими мовами. Він надає можливість створення лабораторних робіт у форматі «код + текст + графіка», повністю безкоштовний та ідеально підходить для дистанційного навчання.

Перелічені вище продукти можна розглядати як набір альтернатив для вибору доцільного програмного забезпечення при викладанні даного курсу.

Таким чином, для упровадження сучасних інформаційних систем у викладання дисципліни «Числові методи і моделювання на ЕОМ» запропоновано системний підхід до вибору програмних засобів, який спирається сукупність критеріїв, що охоплює технічні, дидактичні, організаційні та економічні аспекти. Запропоновано перелік програмних пакетів – альтернатив.

Література:

1. MathWorks. MATLAB Documentation [Електронний ресурс]. – MathWorks, Inc., 2024. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/matlab/> – Дата звернення: 02.12.2025.
2. Eaton J. W., Bateman D., Hauberg S., Wehbring R. GNU Octave: A high-level interactive language for numerical computations. Version 8. – Free Software Foundation, 2023. – 584 p.
3. Python Software Foundation. Python Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.python.org/doc/> – Дата звернення: 02.11.2025.

4. Wolfram Research. Mathematica Documentation Center [Електронний ресурс]. – Wolfram Research, Inc. – Режим доступу: <https://reference.wolfram.com/> – Дата звернення: 02.11.2025.
5. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. – Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. – 409 p.
6. RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R [Електронний ресурс]. – Posit Software PBC. – Режим доступу: <https://posit.co/products/open-source/rstudio/> – Дата звернення: 02.11.2025.
7. Project Jupyter. Official Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.jupyter.org/> – Дата звернення: 02.11.2025.

УДК 004.9: 519.81

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЄКТНОМУ НАВЧАННІ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ SOFT SKILLS

Кисельова О.Б., Ковальов Д. О.

Комунальний заклад «Харківська гуманітарно-педагогічна академія»

Харківської обласної ради, Харків

Поняття «штучний інтелект» (ШІ) є сукупністю потужних технологій та програм, втілених в алгоритмах машин, метою яких є вирішення завдань, що ставить перед ним суспільство [1]. Стрімкий його розвиток відкриває нові можливості в освітньому процесі, зокрема в організації проєктного навчання. У сучасних умовах традиційні педагогічні підходи поступаються місцем гнучким та динамічним форматам, які передбачають активну взаємодію, командну роботу та розвиток «м'яких навичок» (soft skills). Саме інтеграція технологій ШІ в навчальний процес створює середовище, в якому молодь навчається не лише здобувати знання, але й використовувати інструменти майбутнього.

Метою роботи є висвітлення досвіду використання технологій ШІ в межах проєктного навчання як одного із ефективних засобів розвитку soft skills молоді.

У працях багатьох учених розглядається проблема організації проєктної діяльності (Ю. Бабанський, В. Беспалько, Л. Виготський, А. Леонт'єв, І. Підласий, А. Спіркін та інші), яку визначають як форму пізнавальної активності суб'єктів навчання, спрямованої на вирішення особисто усвідомленої проблеми (задачі), у процесі реалізації якої створюється певний продукт проєкту [2]. Технологія ШІ активно використовується в навчанні для трансформації та підвищення рівня підготовки фахівця під час здобуття ним освіти. Такими освітніми аспектами ШІ можна назвати, наприклад, персоналізоване навчання, розумне створення контенту, адаптивний доступ, віртуальні розмовні асистенти, аналітика, прогнозування тощо [3]. Крім того,

ІІІ може допомогти здобувачам розвинути компетенції, необхідні для успішного функціонування в умовах інформаційного суспільства, зокрема здатність до критичного мислення, творчості, комунікації, співпраці та роботи в команді, до прийняття рішень та розв'язання складних проблем, а також підвищити їхню мотивацію [4].

У межах роботи розглянемо реалізований нами освітній проєкт «Молодіжний простір», що поєднує технології ІІІ з підходами проєктного навчання. До складу молодіжної групи увійшли учні, студенти та молодіжні працівники віком від 14 до 25 років. Вони об'єдналися навколо спільної мети – створення фізичного відкритого простору для проведення активностей біля Молодіжного центру. На першому етапі команда обрала актуальну проблему – потребу в оновленні занедбаної території та організації літнього майданчика. Ідеї генерувалися методом дизайн-мислення, після чого відбувався відбір та конкретизація шляхом консультацій з представниками громади.

Інструменти ІІІ використовувалися в процесі формування грантової заявки, планування етапів реалізації проєкту, створення візуальних матеріалів, презентації та оформлення текстів. Основним інструментом став ChatGPT, за допомогою якого учасники опрацьовували шаблони, генерували текстові описи, формували логіку таймлайну та бюджетування. На початковому етапі команда визначила цілі та розподілила ролі відповідно до сильних сторін учасників, що вже слугувало вправою з лідерства та відповідальності. Далі спільно сформулювали ключові питання, на які мав відповісти проєкт (які потреби молоді він задовольнить, які активності передбачатиме тощо). Для мозкового штурму і збору інформації було залучено ChatGPT як асистента. Підлітки генерували до чат-бота запити щодо ідей можливих заходів у молодіжному хабі, дизайну простору, способів залучення аудиторії. Важливо, що відповіді ChatGPT розглядалися критично: учасники обговорювали кожен згенерований ідею, відбираючи релевантні та творчі рішення, а недоліки чи неточності в відповідях ІІІ ставали предметом

дискусії. Такий підхід сприяв розвитку критичного мислення: учасники не сприймали контент від ШІ як істину, а аналізували й доповнювали його власними висновками. Крім того, навичка чітко формулювати запити (prompt engineering) вимагала від учасників ясного усвідомлення проблеми та вміння ставити правильні запитання, що розвивало логічне мислення і вміння ефективно комунікувати свої потреби. Промти до ChatGPT розроблялися спільно: з урахуванням мети, очікуваного формату відповіді та ключових параметрів. Наприклад: «згенеруй стислий опис соціального проєкту для молоді, спрямованого на розвиток громадського простору», або «напиши заявку для гранту з індикаторами успішності та розкладом реалізації». Такий підхід дозволив учасникам розвинути навички точного формулювання запитів, аналітичного мислення та оцінки релевантності результатів.

На етапі реалізації проєкту у Canva та Figma було створено візуальні рішення для подання їх до донора. Так, команда використовувала Canva для створення графічних матеріалів (афіш, логотипу, презентаційних слайдів тощо), а Figma для колективного дизайну макету вебсторінки молодіжного хабу. Обидва ці інструменти надають широкі можливості для спільної роботи онлайн. За рахунок цього учасники постійно практикували командну взаємодію та навички міжособистісної комунікації. Виникала потреба домовлятися щодо єдиного стильового рішення, розподіляти завдання в межах дизайн-групи, взаємно навчатися нових прийомів роботи з інтерфейсом. Усі ці активності є класичним тренуванням soft skills: командна робота (спільне досягнення мети), комунікація (обговорення ідей, презентація проміжних результатів), лідерство (координація роботи підгруп, пропонування власних рішень). Також розподіл ролей разом із застосуванням цифрових інструментів дозволив учасникам розвинути навички тайм-менеджменту (планування роботи і дотримання дедлайнів) та навчитися довіряти один одному в команді, підвищуючи загальну дисципліну й надійність роботи групи. Робота велася на умовах партнерства

та горизонтальної структури – кожен учасник мав конкретну роль і зону відповідальності, що моделювало реальні професійні ситуації.

У процесі роботи команда поділила реалізацію розробленого макету проєкту на два етапи: спочатку ремонт наявної інфраструктури (відновлення аварійних сходів, художній розпис стіни), а потім будівництво альтанки й облаштування зони для кіноперегляду. Кожен з етапів супроводжувався презентацією для громади та захистом грантової заявки.

Отже, проєктна діяльність з інтеграцією ШІ сприяла розвитку цілого комплексу soft skills: лідерства, відповідальності, тайм-менеджменту, комунікації, адаптивності, критичного мислення. Учасники навчилися працювати з цифровими сервісами, управляти процесами та вирішувати нетипові завдання в умовах обмежених ресурсів. Здобутий досвід доводить, що ШІ є ефективним посередником між творчим задумом і конкретним результатом. Проєкт «Молодіжний простір» став не лише прикладом успішного освітнього кейсу, але й платформою, де формуються практики взаємодії з інтелектуальними системами в умовах реального життя.

Література:

1. О. С. Поліщук, О. В. Поліщук та В. С. Дудченко, «Філософія штучного інтелекту в освітньому процесі». Humanities Studies, (13 (90)), 2022. С. 1032–109. URL : <http://surl.li/svzig>.
2. Розвиток інформаційно-цифрової компетентності педагогічних працівників в умовах післядипломної освіти : колективна монографія / За заг. ред. Л. Г. Петрової. 2021. Суми. С. 178.
3. Н. Р. Балик, «Освітні аспекти використання штучного інтелекту». 2023. URL : <http://surl.li/svzib>.
4. О.Б. Кисельова, «Організація проєктної діяльності здобувачів фахової передвищої освіти з використанням штучного інтелекту». IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Імерсивні технології в освіті» (Київ, 30 квітня 2024 р.): збірник матеріалів, 2024. С.189–193.

УДК 004

РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДЖЕННЯ РОБОТИ МАРШРУТНО-КВАЛІФІКАЦІЙНИХ КОМІСІЙ З ПЛАНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ТУРИСТИЧНИХ МАРШРУТІВ

Кравченко В. Д., Решетнік В. М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Популярність гірського туризму щороку зростає, але питання забезпечення безпеки походу часто залишається поза увагою туристів. Одним із ключових елементів забезпечення безпеки походу є його реєстрація, що здійснюється через маршрутно-кваліфікаційні комісії (МКК), які здійснюють перевірку маршрутів, реєстрацію походів та видачу маршрутних книжок. Через відсутність зручних механізмів оформлення багато туристів уникають реєстрації. Реєстрація здійснюється особисто в МКК або через електронну пошту, що є тривалим й незручним процесом. Також визначення маршруту, який проходить через обрані точки інтересу з урахуванням максимального часу походу є складною задачею для туристів незалежно від їх рівня підготовки. Розв'язанням проблем може стати спеціалізована веб-платформа, що забезпечить оперативну взаємодію між туристами та МКК і надасть інструменти для планування маршрутів на основі вибраних точок інтересу й обмеження за часом походу.

Головним завданням системи є забезпечення побудови маршрутів за критеріями користувача та підвищення зручності процесу реєстрації та безпеки туристів. Система надає функціонал для подання заявок на реєстрацію походів, отримання консультацій стосовно маршрутів, формування звіту з проведеного походу та додавання нових точок і ділянок шляху для подальших плануваль маршрутів.

Побудова маршруту здійснюється на основі місць, які хоче відвідати користувач, місця старту й фінішу маршруту та часу для його проходження.

Кожне місце (точку) маршруту користувач самостійно оцінює певним ваговим коефіцієнтом (балом), що відповідає зацікавленості у його відвідуванні. Маршрут, який проходить через певну кількість точок з ваговими коефіцієнтами, отримує оцінку, що дорівнює сумі балів вагових коефіцієнтів та відповідає зацікавленості користувача. Система визначає оптимальний маршрут, що буде проходити через усі або частину заданих користувачем точок, тривалість якого не перевищує встановлений час та максимізує його оцінку. Маршрут будується з використанням мапи, що зберігається у вигляді графу, де вершини – це перехрестя доріг, ребра – дороги між ними. Для кожного ребра зберігається інформація про час проходження та довжину. Для визначення маршрутів між вказаними користувачем точками можна використовувати алгоритми пошуку шляху на графі, але для їх використання користувач має самостійно визначити точки, через які буде проходити маршрут, а також послідовність їх відвідування. Визначення точок, які будуть у маршруті, та послідовність їх обходу з використанням обмеження за часом виконується шляхом розв’язання задачі орієнтування, але її розв’язання виконується на повних графах, в якому усі вершини – точки, які хоче відвідати користувач. Для пошуку оптимального маршруту з урахуванням встановлених обмежень використовується двоетапний підхід. На першому етапі визначаються маршрути з мінімальним часом проходження між кожною парою визначених користувачем точок. На другому етапі визначається порядок відвідування точок шляхом розв’язання задачі орієнтування на основі цих даних. Оптимальним маршрутом вважається той, який забезпечить найбільшу оцінку [1]:

$$R_{best} = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_i x_{ij}$$

За умови:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq T_{max}$$

Де R_{best} – оцінка маршруту, S_i – ваговий коефіцієнт точки, n – кількість вершин у графі, x_{ij} – бінарна змінна, яка позначає наявність ребра ij в маршруті, t_{ij} – час переходу між вершинами ij , який визначається на першому етапі, T_{max} – максимальна тривалість маршруту. Задача орієнтування розв’язується на повному графі, в якому вершини – точки, які хоче відвідати користувач, вага ребер дорівнює t_{ij} . Остаточний маршрут визначається шляхом обходу точок в послідовності, знайдений під час розв’язку задачі орієнтування, з використанням маршрутів, знайдених на першому етапі.

Для пошуку найкоротшого шляху у графі розглядалися 3 алгоритми: алгоритм Дейкстри, двоспрямований алгоритм Дейкстри та алгоритм A^* , які порівнювалися за часом виконання. Ці алгоритми було обрано, оскільки їх реалізація є в стандартних бібліотеках мови програмування Python, яка використовувалась для розробки системи. Найгіршим алгоритмом виявився алгоритм Дейкстри, який працював в середньому на 20% довше. Різниця у часі виконання двох інших алгоритмів є незначною.

Розв’язок задачі орієнтування можна виконувати з використанням точних та наближених методів. Задача орієнтування є NP-складною, тому точні алгоритми можуть витрачати велику кількість часу на пошук розв’язку. Для отримання наближеного розв’язку задачі використовують генетичні алгоритми, алгоритми локального пошуку та алгоритми колективного інтелекту [2]. В роботі розглядаються 1 точний та 2 наближені алгоритми з різною стратегією пошуку рішення. У якості точного алгоритму обрано алгоритм пошуку в глибину, оскільки він дозволяє просто врахувати обмеження за часом в порівнянні з іншими. У якості наближених алгоритмів обрано мурашиний алгоритм та алгоритм імітації відпалу. Мурашиний алгоритм є алгоритмом на основі колективного інтелекту, який імітує поведінку мурах при пошуку найкращого шляху. Алгоритм обрано, оскільки він дозволяє досліджувати великі простори рішень, виконує пошук маршруту шляхом пересування агента графом, і може бути модифікований в залежності від задачі [1]. Алгоритм імітації відпалу є алгоритмом локального пошуку.

Алгоритм обрано, оскільки він уникає локальних максимумів за рахунок можливості прийняття гіршого рішення, ніж поточне найкраще рішення [3]. Порівняння алгоритмів виконувалося за часом їх роботи та нагородою для фінального рішення. Алгоритми порівнювалися на графах, що містять від 5 до 40 вершин (з кроком у 5 вершин), не враховуючи стартову та фінішну вершину. Дослідження проводилося для трьох сценаріїв, які відрізняються кількістю вершин в найкращому рішенні: 5–25% вершин, 40–60% вершин та 75–95% вершин. Великий проміжок між нижньою та верхньою межею кількості вершин забезпечує можливість дослідження усіх сценаріїв на графах з малою (меншою за 20) кількістю вершин та спрощення підбору параметрів запуску для великих графів. Результати для сценарію 40-60% вершин подано на рисунку 1. Алгоритми зупинялись примусово, якщо час виконання перевищував 10 секунд.

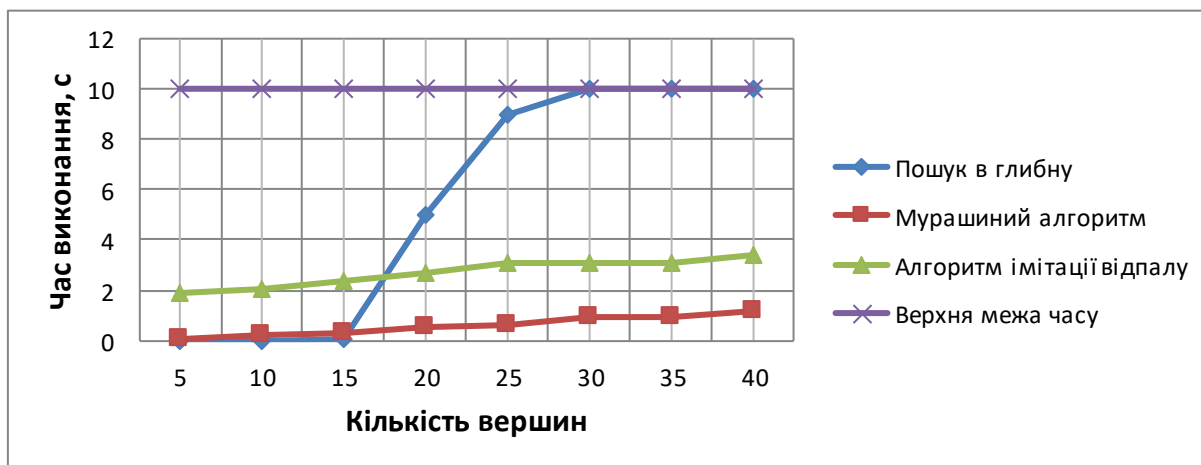


Рисунок 1 – Залежність часу виконання від кількості вершин

Час виконання пошуку в глибину різко зростає для графів з більше ніж 15 вершинами, час виконання мурашиного алгоритму та алгоритму імітації відпалу зростає повільно при збільшенні кількості вершин, алгоритм імітованого відпалу в середньому працював на 2 секунди довше. Оцінка найкращого знайденого маршруту R_{best} для кожного алгоритму на кожному графі подано у таблиці 1. Для інших двох сценаріїв отримано схожі

результати: форма кривих залишалася подібною, змінювалися лише різниця часу виконання між двома останніми алгоритмами та кількість вершин у графі, для якої час виконання пошуку в глибину перевищував 10 секунд.

Таблиця 1 – Залежність R_{best} від кількості вершин у графі

	5	10	15	20	25	30	35	40
Пошук в глибину	214	271	526	748	832	-	-	-
Мурашиний алгоритм	214	271	526	735	808	988	876	1139
Алгоритм імітації відпалу	214	271	526	733	773	913	867	1130

На основі проведеного аналізу для побудови маршруту з мінімальним часом проходження між заданими користувачем точками рекомендується використовувати двоспрямований алгоритм Дейкстри, оскільки він не потребує використання евристичних функцій для виконання пошуку. Для визначення точок, які будуть присутні у маршруті та порядку їх обходу, пропонується використовувати алгоритм пошуку в глибину, якщо заданих точок менше 11, оскільки далі час виконання цього алгоритму суттєво збільшиться. Якщо заданих точок більше 11, доцільно використовувати мурашиний алгоритм, оскільки час його роботи менший за час роботи алгоритму імітаційного відпалу, а оцінка маршруту є вищою.

Література:

1. Liang Y.-C., Smith A. E. AN ANT COLONY APPROACH TO THE ORIENTEERING PROBLEM. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 2006. Vol. 23, no. 5. P. 403–414.
2. Karbowska-Chilinska J., Zabielski P. A Genetic Algorithm vs. Local Search Methods for Solving the Orienteering Problem in Large Networks. Lecture Notes In Computer Science. 2012. No. 7828.

3. M.; ASKERZADE B. Simulated annealing approach for solving at Time Dependent Orienteering Problem. Communications Faculty Of Science University of Ankara. 2016. Vol. 58, no. 1. P. 17–28.

УДК 004.65:37.018.43

ІНФОРМАЦІЙНА ПОШУКОВА СИСТЕМА ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Купцова А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Мультимедійні навчальні технології інтегрують вербальні та візуальні інформаційні компоненти, що сприяє формуванню когнітивних моделей у різноманітних освітніх контекстах. Вони забезпечують підтримку навчального процесу за рахунок використання презентаційних засобів, аудиторних форм навчання та електронних освітніх курсів, уможливорюючи сприйняття навчального матеріалу як у текстовій, так і у графічній формах. Значущість мультимедійних технологій як ефективного педагогічного інструменту підтверджується результатами численних наукових досліджень [1-2].

Інформаційна система, модель якої розроблено в середовищі MySQL Workbench, охоплює базові технічні засоби мультимедійних навчальних аудиторій, зокрема проектори, інтерактивні дошки, акустичні системи та інтерактивні панелі, а також інформацію про виробників і постачальників відповідного обладнання.

Інформаційна пошукова система орієнтована на накопичення та зберігання відомостей про широкий спектр мультимедійних пристроїв із детальним поданням їхніх технічних характеристик і функціональних можливостей. Вона забезпечує зручний доступ користувачів до інформації шляхом реалізації пошуку за різноманітними критеріями, зокрема вартістю, виробником, типом обладнання, а також ключовими технічними параметрами. [3]

Структурною основою розробленої інформаційної системи є таблиці «Інтерактивні дошки», «Інтерактивні панелі», «Акустичні системи» та

«Проектори», у яких зосереджено дані щодо основних технічних характеристик ключових типів мультимедійних засобів і показників їхньої вартості. Фрагмент таблиці «Інтерактивні дошки» в режимі перегляду даних показано на рисунку 1.

idІнтер дошки	Назвадошки	Діагоні	Тип сенсора	Програмне забезпечення	Вартість	idПост	idВирп
1	Smart SBM787V	87	Інфрачервоний	SMART Learning Suite	46800	3	4
2	XIAMEN Intech RE82A	82	Інфрачервоний	INTECH TOUCH BOARD	21888	2	5
3	IntBoard UT-TBI92X	92	Інфрачервоний	INTBOARD SPACE	21999	1	1
4	Bansion BA84	84	Інфрачервоний	Intboard Prostir	16031	2	10
5	Promethean AB10T78D	82	Інфрачервоний	Promethean ActivInspire	29900	1	11
6	XIAMEN Intech RD82A	82	Інфрачервоний	INTECH TOUCH BOARD	24850	2	5
7	Tecro WB IR-10.82	82	Інфрачервоний	Intboard JOY	28184	2	12
8	IntBoard UT-TBI80I-ST	80	Інфрачервоний	INTBOARD SPACE	24885	1	1
9	XIAMEN INTECH M-76 Dual user	80	Електромагнтий	INTECH TOUCH BOARD	19880	1	5

Рисунок 1 – Фрагмент таблиці «Інтерактивні дошки»

Таблиці «Постачальники» та «Виробники» призначені для зберігання контактної інформації про відповідних постачальників і виробників мультимедійного обладнання. Ці таблиці пов'язані з основними сутностями бази даних за допомогою полів «Код постачальника» та «Код виробника». Фрагмент таблиці «Постачальники» в режимі перегляду даних показано на рисунку 2.

idПост	Назвапост	Номер телефону	Пошта	Країна, місто
1	Rozetka	0445029931	inbox@rozetka.com.ua	Україна
2	Elmir	428	service@elmir.ua	Україна
3	tech-pro	0960800458	info@tech-pro.com.ua	Україна, Київ
4	ITbox	0800213800	itbox.ua	Україна
5	Synthetic	0982115139	support@synthetic.com.ua	Україна
6	Алло	0800300100	allo.ua	Україна
7	Comfy	0800303505	info@comfy.ua	Україна
8	Interactiv	0963503500	interactiv.com.ua	Україна, Дніпро
9	inJazz	0977881113	info@injazz.ua	Україна, Київ
10	Melodia	0666523119	musicmelodiya@gmail.com	Україна

Рисунок 2 – Фрагмент таблиці «Постачальники»

Для забезпечення доступу до необхідної інформації в базі даних розроблено систему запитів, яка уможлиблює пошук відповідних типів технічних мультимедійних засобів за сукупністю критеріїв, зокрема за технічними характеристиками, вартістю, виробниками та постачальниками [4].

Зокрема, на рисунку 3 представлено приклад запиту для вибору проекторів з лампами типу «LED», що постачаються компанією «Розетка», із формуванням вибірки даних щодо назви пристрою, роздільної здатності матриці, мінімальної проекційної відстані та контактного телефонного номера.

Таким чином, розроблена система вибору технічних мультимедійних засобів містить необхідний обсяг інформації та інструментарій для її ефективного пошуку, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності освітніх закладів [5], удосконаленню рівня знань і практичних навичок учасників освітнього процесу, а також розширенню доступу до сучасних навчальних технологій.

```
1 • SELECT Назвапроектор, `Роздільна здатність матриці`,  
2     `Мінімальна проекційна відстань`,  
3     Вартість, `Номер телефону`  
4 FROM mydb.проектори, mydb.постачальники  
5 WHERE Назвапостачальника = 'Rozetka' AND `Тип лампи`='LED'
```

Назвапроектор	Роздільна здатність матриці	Мінімальна проекційна відстань	Вартість	Номер телефону
Xiaomi Mi Smart Projector 2	1920 x 1080	1.6	18998	0445029931
Xiaomi Wanbo T2 Max	1920x1080	1.0	7999	0445029931
Tecro PJ-5080	1920x1080	1.5	16386	0445029931
Tecro PJ-2030	1920x1080	1.37	12006	0445029931
Xiaomi Mi Laser Projector...	1920x1080	1.778	59999	0445029931

Рисунок 3 – Запит для пошуку проекторів

Література:

1. Multimedia tools in the learning processes [Он-лайн]. Доступно: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7644889/#bib57>
2. Вплив мультимедійних технологій на навчання [Он-лайн]. Доступно: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/555887.pdf>
3. Реляційні системи управління базами даних [Он-лайн]. Доступно: <https://azure.microsoft.com/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-a-relational-database>
4. Система управління базами даних MySQL [Он-лайн]. Доступно: <https://www.britannica.com/topic/MySQL>
5. Переваги систем управління базами даних [Он-лайн]. Доступно: <https://aws.amazon.com/relational-database>

УДК 004.91:004.738.5:37.018.43

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ

М.А. Мичко, Ільге І.Г., Ільге О.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Стрімкий розвиток цифрових технологій та дистанційної освіти зумовив суттєве зростання обсягів мультимедійного навчального контенту.

Відеолекції, інтерактивні курси, аудіоматеріали та електронні підручники стали ключовими компонентами сучасного освітнього середовища. Однак разом із розширенням інформаційного простору загострилася проблема ефективного пошуку та систематизації навчальних ресурсів.

Існуючі платформи забезпечують доступ до великої кількості матеріалів, проте, як правило, обмежуються пошуком у межах власних баз даних, не підтримують глибокий аналіз змісту мультимедійних матеріалів та мають обмежені можливості персоналізації. У зв'язку з цим актуальним є завдання створення універсальної інформаційної системи, здатної здійснювати інтелектуальний пошук мультимедійного навчального контенту з різних джерел.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування структури інформаційної системи пошуку мультимедійного навчального контенту, що забезпечує інтеграцію зовнішніх ресурсів, обробку запитів користувачів, персоналізацію та зручний доступ до матеріалів.

На сьогодні існує декілька основних груп систем, що забезпечують пошук і доступ до навчального контенту.

По-перше це універсальні пошукові системи та відеоплатформи. Сервіси типу Google Search та YouTube [1,2] дозволяють швидко знаходити відео- та

текстові матеріали за ключовими словами. Проте такі системи орієнтуються переважно на метадані й не забезпечують повноцінного аналізу змісту відео.

По-друге, платформи масових відкритих онлайн-курсів (МООС). Платформи Coursera, edX, Udey, Khan Academy [3-6] надають доступ до структурованих навчальних курсів. Їхнім недоліком є ізолюваність контенту в межах окремих екосистем.

По-третє наукові та освітні пошукові системи. Зокрема, Google Scholar, Semantic Scholar [7] та інші сервіси дозволяють знаходити наукові публікації, але не підтримують пошук за мультимедійними даними.

По-четверте, мобільні навчальні застосунки. Такі застосунки як Duolingo [8], Memrise, Stepik забезпечують персоналізоване навчання, проте не виконують роль універсального агрегатора навчального мультимедійного контенту.

Проведений аналіз показує, що жодне з існуючих рішень не забезпечує комплексного підходу до пошуку мультимедійного навчального контенту на основі змісту, а не лише описів.

До ключових недоліків наявних інформаційних систем відносяться:

- обмеженість пошуку метаданими. Пошук здійснюється за назвами та описами, без аналізу аудіо- та відеоряду;
- відсутність повноцінної персоналізації;
- результати пошуку не завжди враховують рівень підготовки користувача й його інтереси;
- мовні бар'єри. Багато навчальних матеріалів доступні лише однією мовою;
- фрагментованість ресурсів. Контент розпорошений між різними платформами без єдиного точки доступу.

Ці фактори знижують ефективність використання мультимедійних ресурсів у навчальному процесі.

Запропонована інформаційна система пошуку мультимедійного навчального контенту має багаторівневу структуру, що включає такі основні компоненти:

1. Клієнтський рівень (мобільний застосунок).

Забезпечує взаємодію користувача з системою, формування запитів, перегляд результатів пошуку та мультимедійних матеріалів.

2. Серверний рівень.

Виконує обробку запитів, агрегацію даних із зовнішніх джерел, фільтрацію та ранжування результатів.

3. Рівень інтеграції із зовнішніми ресурсами.

Реалізує взаємодію з платформами відеоконтенту, освітніми порталами та науковими базами через REST API.

4. Рівень зберігання даних.

Використовується для збереження профілів користувачів, історії запитів, налаштувань та результатів персоналізації.

Реалізація системи має ряд архітектурних особливостей.

Для розробки мобільного застосунку було обрано кросплатформенний фреймворк Flutter [9], та мову програмування Dart [10]. Такий підхід дозволяє створювати програмний продукт з єдиною кодовою базою для операційних систем Android та iOS.

Архітектура побудована за принципами «Clean Architecture», що передбачає поділ системи на такі рівні:

- Presentation - інтерфейс користувача та логіка відображення;
- Business Logic - обробка подій, управління станом;
- Domain - бізнес-логіка, сутності та сценарії використання;
- Data - робота з API та базами даних.

Для зберігання даних і автентифікації користувачів застосовується хмарна платформа Firebase [11], що забезпечує високу масштабованість і синхронізацію в реальному часі.

При пошуку та персоналізації система підтримує наступні принципи:

- пошук за ключовими словами;
- фільтрацію за тематикою, типом контенту та тривалістю;
- персоналізацію на основі історії запитів;
- підтримку багатомовності інтерфейсу.

Перспективним напрямом розвитку є впровадження методів машинного навчання для семантичного аналізу тексту та автоматичної транскрипції відео.

Таким чином, у роботі обґрунтовано необхідність створення універсальної інформаційної системи пошуку мультимедійного навчального контенту. Запропонована структура дозволяє інтегрувати різні джерела навчальних ресурсів, забезпечувати інтелектуальний пошук, персоналізацію та зручний доступ до матеріалів. Використання кросплатформених технологій, хмарних сервісів та сучасних архітектурних підходів забезпечує масштабованість, гнучкість і високу продуктивність системи. Результати дослідження можуть бути використані для подальшої розробки освітніх платформ та мобільних навчальних застосунків.

Література:

1. Google Search [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com> (дата звернення: 18.11.2025).
2. YouTube [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com> (дата звернення: 18.11.2025).
3. Coursera [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.coursera.org> (дата звернення: 18.11.2025).
4. edX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.edx.org> (дата звернення: 18.11.2025).
5. Udemy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.udemy.com> (дата звернення: 18.11.2025).
6. Khan Academy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.khanacademy.org> (дата звернення: 18.11.2025).

7. Google Scholar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scholar.google.com> (дата звернення: 18.11.2025).
8. Duolingo [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.duolingo.com> (дата звернення: 18.11.2025).
9. Flutter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flutter.dev> (дата звернення: 18.11.2025).
10. Dart [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dart.dev> (дата звернення: 18.11.2025).
11. Firebase ML Kit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://firebase.google.com/products/ml> (дата звернення: 18.11.2025).

УДК 004

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВАГОВОГО ОБЛІКУ ТА УПРАВЛІННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ НА ДОРОЖНЬО- БУДІВЕЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Кононихін О.С., Мірошніченко Д.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

В сучасних дорожньо-будівельних підприємствах все більшого значення набуває автоматизація вагового обліку матеріалів та інтеграція його з системами управління ресурсами. Існуючі рішення автоматизації зважування, такі як комерційні системи VIS, дозволяють мінімізувати вплив людського фактора та забезпечують фото- і відеофіксацію кожного факту зважування з автоматичним занесенням відповідних даних до бази даних[1]. Це гарантує об'єктивний контроль процесу: до результатів кожного зважування прив'язуються зображення транспортного засобу в момент фіксації ваги, що надає фотодоказ відсутності сторонніх впливів (водія в кабіні, сторонніх осіб біля ваг) під час зважування[1]. Подібні системи також підтримують розмежування доступу користувачів (напр., оператор ваг та адміністратор/власник) для підвищення рівня безпеки й контролю[1]. Автоматизація вагового процесу підвищує ефективність роботи: зокрема, пропускна здатність автомобільних ваг зростає більш ніж на 40% у порівнянні з ручним режимом[1], а всі результати зважувань можуть автоматично передаватися до корпоративних облікових систем та резервуватися у хмарному сховищі[1].

Втім, стандартні вагові системи не вирішують задачу оперативного управління матеріальними ресурсами. Для дорожньо-будівельного підприємства критично важливо вчасно відслідковувати залишки матеріалів (піску, щебеню, бітуму тощо) та забезпечувати їх своєчасне поповнення. Запропоновано авторську концепцію інформаційної технології, яка поєднує автоматизований ваговий облік із системою управління запасами на основі

IoT. У межах цієї технології реалізовано подієве зважування транспортних засобів з фото-відеофіксацією: при заїзді вантажівки на ваги система автоматично розпізнає подію зважування за даними датчиків позиціонування та стабілізації ваги, після чого фіксує масу, дату й час, державний номер та інші параметри, робить фотографії/відео і зберігає всю цю інформацію в базі даних як єдиний запис. Таким чином, кожна операція зважування документується та архівується без участі оператора, що унеможливорює приховані зважування без відома керівника[1]. Доступ до системи здійснюється через веб-додаток з розподілом прав: оператор вагової працює з інтерфейсом зважування (отримує заявки на зважування, контролює проходження транспорту, друкує накладні тощо), тоді як власник (адміністратор) має розширений доступ для моніторингу в реальному часі, перегляду звітів та історії зважувань з фотодоказами, а також для управління довідниками матеріалів і постачальників.

Ключовою особливістю запропонованої системи є інтеграція вагового обліку з модулем управління матеріальними ресурсами. Після кожного зважування матеріалу система оновлює дані про залишки на складі: наприклад, при відвантаженні щебеню вагою m тонна система автоматично віднімає m з актуального запасу цього матеріалу. Додатково впроваджено IoT-компоненти для незалежного моніторингу фізичних залишків: сенсори рівня та вагові датчики, встановлені на бункерах і складах, безперервно відстежують кількість матеріалу в реальному часі[2]. Це дає змогу своєчасно виявляти досягнення критичного рівня запасів. При падінні рівня матеріалу нижче заданого порогу система формує попереднє замовлення на поповнення: у веб-додатку доступний каталог матеріалів (виступає аналогом веб-магазину), де для кожного матеріалу визначено постачальників та одиниці поставки. Система автоматично обирає позицію з каталогу відповідно до матеріалу, якого бракує, та розраховує необхідну кількість для замовлення до нормативного рівня. Сформоване замовлення потребує підтвердження відповідального користувача (власника) перед відправленням

постачальнику – це унеможлиблює небажані або помилкові замовлення і залишає остаточне рішення за людиною. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям управління запасами, що поєднують автоматичний моніторинг і замовлення для гнучкого реагування на зміни попиту[3]. Після підтвердження система автоматично надсилає постачальнику замовлення (через інтеграцію API або електронною поштою) та реєструє очікувану поставку в базі даних.

Запропонована інформаційна технологія забезпечує єдиний цикл управління матеріальними ресурсами: від надходження або витрачання матеріалу, його зважування та документування – до оновлення складу і автоматизованого ініціювання закупівлі. Наукові дослідження підтверджують ефективність використання IoT-компонентів у вагових системах: зокрема, в роботі[4] розроблено архітектуру автоматизованого вагового обліку з застосуванням тензометричних датчиків на мікроконтролері ESP8266 та відповідного програмного забезпечення для обробки і зберігання даних, а експериментальні випробування продемонстрували підвищення точності й швидкодії обліку. Очікуваними результатами впровадження запропонованої системи є підвищення прозорості та оперативності обліку матеріалів, зменшення впливу людського чинника і можливих зловживань при зважуванні, оптимізація рівня запасів без перерв у виробництві (запобігання як дефіциту, так і надлишковим запасам), а також зниження витрат шляхом автоматизації рутинних операцій.

Власник підприємства отримує ефективний інструмент контролю та планування.

Дані про рух матеріальних ресурсів консолідовані в єдиній системі, що працює в режимі реального часу.

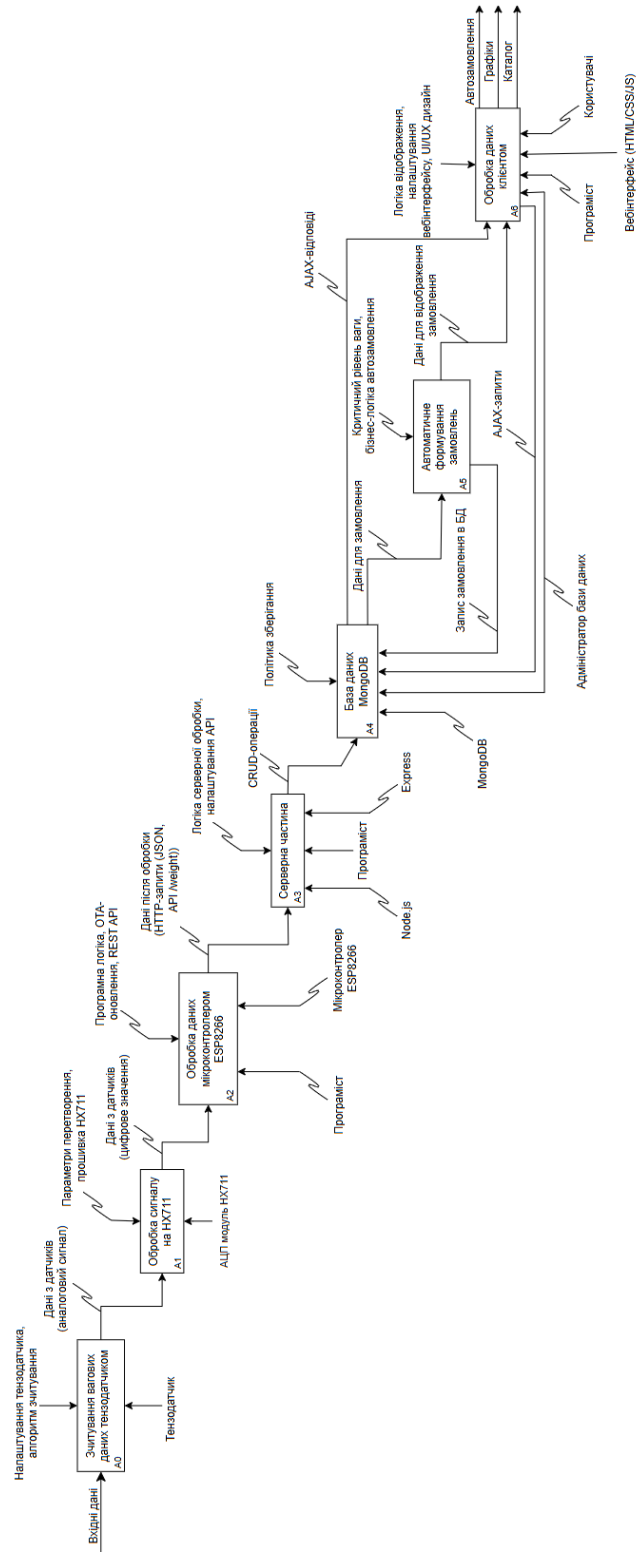


Рисунок 1 - Інформаційна технологія вагового обліку та управління матеріальними ресурсами на дорожньо-будівельному підприємстві

Таким чином, інтеграція технологій автоматичного зважування, відеофіксації та IoT-моніторингу запасів з функцією автозамовлення формує

комплексну інформаційну технологію для дорожньо-будівельних підприємств, яка підвищує ефективність управління матеріальними ресурсами та забезпечує безперервність виробничих процесів.

Література:

1. VIS – Ваговимірювальні системи. *Автоматизація автомобільних ваг* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vis.ua/catalog/avtomatizacziya-avtomobilnyh-vesov/> (дата звернення: 21.11.2025).
2. VERNA. IoT для логістики: розумне освітлення, керування мікрокліматом [Електронний ресурс] – 2024. – Режим доступу: <https://www.verna.ua/warehouses-logistics/iot>.
3. Благодир О., Надопта Т. Формування варіативності управління запасами для підприємств легкої промисловості // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2025. – №357(5.1). – С. 39–49. – DOI: 10.31891/2307-5732-2025-357-4. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1926>.
4. Мірошніченко Д. В. Інформаційна технологія вагового обліку на дорожньо-будівельному підприємстві: дипломна робота бакалавра : 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Мірошніченко Д. В.; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Харків, 2025. – 87 с.

УДК 658.89

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ПРОДАЖУ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН: СУЧАСНИЙ ПІДХІД НА БАЗІ ЗАСТОСУНКУ «ТЕТРАДКА»

Нечитайло Ю.А., Гавран Б.К.

Державний біотехнологічний університет, Харків

Автоматизація обліку продажів стає невід'ємною складовою ефективного управління торговельними процесами на сучасному ринку автомобільних шин. З огляду на складність асортименту, особливості маркування продукції, необхідність точного врахування залишків і забезпечення високого рівня обслуговування клієнтів, впровадження спеціалізованих ІТ-систем має вирішальне значення. Розглянемо практичні аспекти автоматизації на прикладі організації, яка використовує застосунок «Тетрадка» для управління продажами шин, включно зі специфічними параметрами вибору товару і роботою менеджерів.[1][2][3]

Ринок автомобільних шин – це широкий сегмент, що охоплює продукти з різною сезонністю (зимові, літні, всесезонні) та призначенням для різного виду транспорту, включно із сільськогосподарською технікою. Кожна позиція в асортименті характеризується багатьма параметрами: тип виробника, розмір, країна виробництва, варіанти гарантійного обслуговування, наявність страховки, а також спеціальні помітки, наприклад, «різноширокі» шини. Такий багатофакторний підхід забезпечує гнучкість у виборі продукції відповідно до потреб клієнтів, що є особливо важливим для формування конкурентної торгової пропозиції.[2][3]

Для зручності покупця застосунок «Тетрадка» пропонує великий спектр фільтрів: за сезоном, типом транспортного засобу, виробником, наявністю на складі, можливістю доставки, містом отримання, а також за опціями, такими як «Артикул», «Рекомендації», «Повна страховка» та «Розширена гарантія». Такий рівень персоналізації допомагає клієнтам швидко знаходити

необхідний товар серед великого асортименту і формувати замовлення, яке вони можуть зберегти для подальшого опрацювання (рис. 1).[3][4][5]

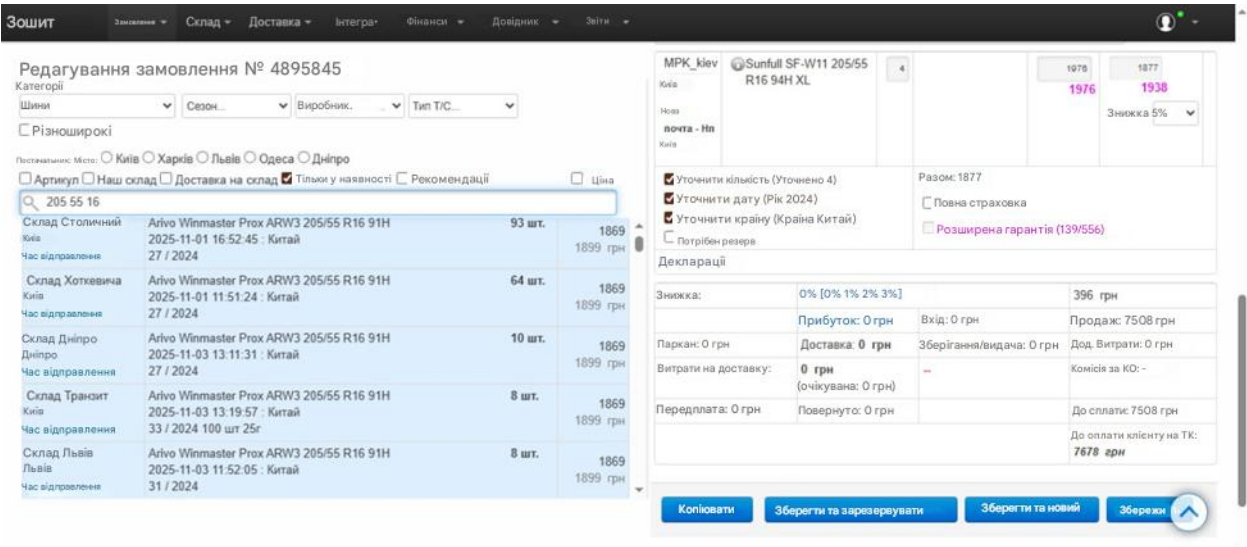


Рисунок 1 – Оформлене замовлення

Менеджери інтернет-магазину отримують інформацію про кожне сформоване замовлення, включаючи номер замовлення, ім'я клієнта та телефон. З метою коректного і швидкого оформлення замовлення менеджер зв'язується з покупцем, уточнюючи деталі, що підвищує якість обслуговування і зменшує кількість помилок у доставці та комплектації (рис. 2).[5][6][7]

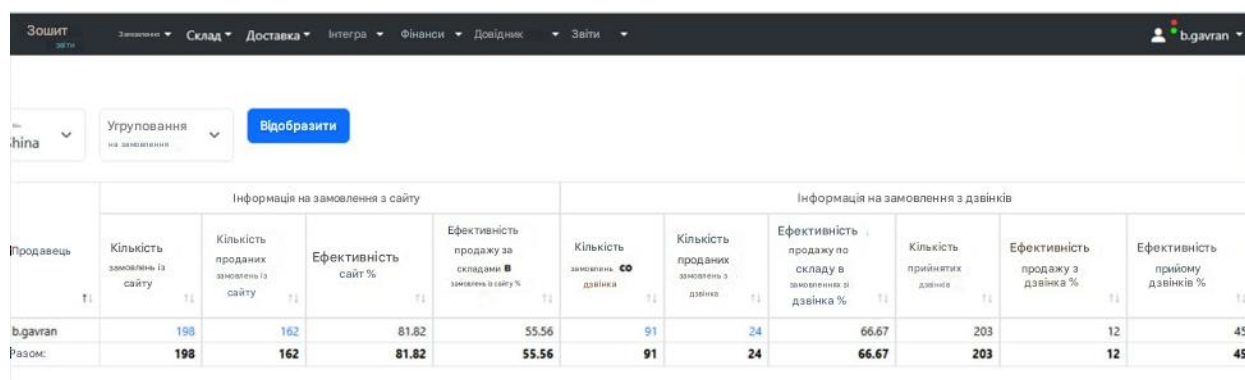
Зашит							
Замовлення Склад Доставка Інтеграція Фінанси Довідник Звіт							
Історія sms							
Фільтрувати							
№	Замовлення	Клієнт	Телефон	Текст	Статус	Дата відправки	Менеджер
7419115	13493427	Влад	+380505902639	Замовлення: 13493427 - 1xKapsen RW501 225/70 R15C 112/110S: Сума 2958 грн. Прийнято. Очікуйте смс про прибуття. Детально - "https://infoshina.ua/kEmWF"	Передано на відправку	03-11-2025 13:55:56	sklad_dnepr
7419114	13492284	Володимир	+380952106001	Замовлення: 13492284 - 4xTriangle PLO2 235/45 R18 98V XL: Сума 13184 грн (замовлення оплачено). Детально - "https://infoshina.ua/TWYte"	Передано на відправку	03-11-2025 13:55:21	a.masliy_302
7419113	13493317	Антон	+380950463669	Замовлення: 13493317 - 4xGoodyear UltraGrip Ice 2 185/65 R15 88T: Сума 10844 грн (замовлення оплачено). Детально - "https://infoshina.ua/cHYmr"	Передано на відправку	03-11-2025 13:55:19	v.kolisnichenko
7419112	23485398	Ліна	+380994633272	Замовлення: 23485398 - прибуло і готово до видачі. Нова пошта. ТТН №20400486466121 Нагадуємо, що для отримання необхідний паспорт.	Передано на відправку	03-11-2025 13:54:50	yu.zhitnik
7419111	4895862	Валентин	+380509959052	Більше інформації про товари: https://infoshina.ua/bavEg https://infoshina.ua/SYKz https://infoshina.ua/IFlgd	Передано на відправку	03-11-2025 13:54:44	o.mishchenko
7419110	930033	Веніамін	+380687838708	Dlia povernennia pozysiti Firemax FM806 225/65 R17 102T skorystaites TTN №20400487119451, k oplate 575.68 hrn	Успішна відправка смс повідомлення	03-11-2025 13:54:31	l.lychko
7419109	13493423	Андрій	+380679746785	Замовлення: 13493423 - 4xContinental WinterContact TS 860 S 295/40 R22 112V XL MO1: Сума 64792 грн. Прийнято. Очікуйте смс про прибуття. Детально - "https://infoshina.ua/ypPtx"	Успішна відправка viber повідомлення	03-11-2025 13:54:22	yu.alokhov
7419108	5703839	Олександр	+380678822997	Замовлення: 5703839 - 4xContinental ProContact TX 245/45 R18 100V VOL: Сума 22784 грн (замовлення оплачено). Замовлення в особистому кабінеті - "https://sh-d.com.ua/VJzIY"	Передано на відправку	03-11-2025 13:54:20	a.davydov

Рисунок 2 – Історія відправлених смс-повідомлень про замовлення

Застосунок «Тетрадка» інтегрується зі складською системою і підтримує можливості внесення уточнень щодо кількості шин, року і країни виготовлення, що особливо важливо для якісного контролю продукції. Окрім цього, використовується сканування 2D-кодів маркування шин за допомогою мобільних терміналів збору даних, що відповідає вимогам державного контролю.

При прийманні товарів автоматично фіксуються серійні номери, дати виведення на продаж та розміщення на складах, що мінімізує ризики помилок та втрат. Подібні технології дозволяють на будь-якому етапі перевірити відповідність фактичного наявного товару даним у системі, що підвищує прозорість бізнес-процесів.

Інтеграція з бухгалтерськими системами (наприклад, BAS або 1C) дозволяє автоматизувати формування всіх необхідних звітів і реєстрацій операцій. Це значно скорочує адміністративне навантаження, прискорює документообіг та підвищує точність обліку (рис. 3).[6][5]



Продавець	Інформація на замовлення з сайту				Інформація на замовлення з дзвінків					
	Кількість замовлень із сайту	Кількість продажів замовлень із сайту	Ефективність сайту %	Ефективність продажу за складами замовлень із сайту %	Кількість замовлень з дзвінка	Кількість продажів замовлень з дзвінка	Ефективність продажу по складу в замовленнях з дзвінка %	Кількість прийнятих дзвінків	Ефективність продажу з дзвінка %	Ефективність прийому дзвінків %
b.gavran	198	162	81.82	55.56	91	24	66.67	203	12	45
Разом:	198	162	81.82	55.56	91	24	66.67	203	12	45

Рисунок 3 – Вікно замовлень із сайту та зі дзвінків

Платформа надає менеджерам можливість оперативно переглядати статус замовлень, отримувати статистичні дані по виконанню, оцінювати ефективність кожного співробітника. Інструменти аналітики дозволяють формувати регулярні звіти про обсяги продажів, сезонні коливання попиту, популярність конкретних брендів або типів шин (рис. 4).

Продавець SIP		Разом				Інформація на замовлення з сайту					
T1	T2	Кількість замовлень	Кількість проданих замовлень	Ефективність всього %	Ефективність продажу замовлень зі складом %	Кількість замовлень із сайту	Кількість проданих замовлень із сайту	Ефективність сайту %	Ефективність продажу по складу у замовленнях із сайту %	Кількість замовлень із дзвінків	Кількість проданих замовлень
b.gavran	317	289	186	64.36	56.99	198	162	81.82	55.56	91	
Разом:		289	186	64.36	56.99	198	162	81.82	55.56	91	

Рисунок 4 – Вікно звітів ефективності продажів менеджерів

Унікальна функція формування замовлення з можливістю його збереження для подальшого доповнення чи коригування дає клієнтам гнучкість у використанні сервісу, а компанії – змогу нагадувати про незавершені покупки і підвищувати рівень конверсії.

Важливою опцією є система фільтрів, яка розширює можливості пошуку шин для різних груп транспорту, включно із сільськогосподарською технікою, що забезпечує вихід на додаткові сегменти ринку. Опції доставок на склад, страхування та гарантійні сервіси дозволяють робити пропозиції максимально адаптованими під запити клієнтів. Комплексний підхід до автоматизації покриває всі етапи продажу: від первинного вибору товару до аналітики і управління замовленнями, роблячи бізнес більш прозорим, ефективним і орієнтованим на клієнта.[3][5][6]

Перспективи автоматизації полягають у подальшій інтеграції штучного інтелекту для прогнозування попиту та формування персоналізованих рекомендацій. Хмарні технології забезпечать доступність системи з будь-якої точки світу, дозволять легко масштабувати бізнес і оперативно реагувати на зміни ринку.

Впровадження мобільних додатків і інтеграція з платформами постачальників автомобільних шин розширяють функціонал, зменшують людський фактор і підвищують оперативність обслуговування. NB-IoT технології дозволять контролювати логістику у реальному часі, а

використання аналітики великих обсягів даних сприятиме ефективнішому управлінню запасами та маркетинговим активностями (рис. 5 та 6).[7]

Зашит Замовлення Склад Доставка Інтегру Фінанси Довідник Звіти b.gavran

Кількість прийнятих дзвінків

с 01-11-2025 по 30-11-2025 Магазин Відобразити

Логін	SIP	01.11.25	02.11.25	03.11.25	04.11.25	05.11.25	06.11.25	07.11.25	08.11.25	09.11.25	Всього
b.gavran	317	31	0	12	47	17	31	39	26	0	203
Разом:		31	0	12	47	17	31	39	26	0	203

Рисунок 5 – Вікно інформації про кількість дзвінків

Зашит Замовлення Склад Доставка Інтегру Фінанси Довідник Звіти b.gavran

Дзвінки

Телефон с 09-11-2025 по 09-11-2025 Група Відобразити

Час дзвінка	Звідки	Куди	Статус	Група	Тривалість дзвінка, сік	Плеєр
9 листопада 2025 р. 17:50	80045915233	380669008925	ANSWERED	200	71	▶ 0:00 / 1:20
9 листопада 2025 р. 17:50	+380974478655	80045915215	NO ANSWER	200	-	▶ 0:00 / 0:44
9 листопада 2025 р. 17:47	80045915226	380935696933	ANSWERED	200	154	▶ 0:00 / 2:38
9 листопада 2025 р. 17:46	80045915201	380500223841	ANSWERED	200	43	▶ 0:00 / 0:55
9 листопада 2025 р. 17:46	+380980712598	380577276671	NO ANSWER	-	-	▶ 0:00 / 0:00
9 листопада 2025 р. 17:46	+380669008925	80045915233	ANSWERED	200	211	▶ 0:00 / 3:51

Рисунок 6 – Деталізація інформації про прийняті дзвінки

Автоматизація обліку й продажів автомобільних шин із використанням сучасних ІТ-рішень значно підвищує якість обслуговування клієнтів, точність ведення обліку, прозорість бізнес-процесів і скорочує операційні витрати. Використання застосунку «Тетрадка», систем сканування і комплексних ERP-рішень робить працю продавця шин більш ефективною, а також відкриває нові можливості для аналізу і розвитку бізнесу.[1][2]

Література:

1. Білик О.В. Автоматизація обліку та управління продажами продукції на прикладі шинного бізнесу: монографія. – Київ: Видавничий дім, 2023. – 152 с. – Режим доступу: <https://buklib.net/book/756279> (дата звернення: 08.11.2025).
2. Савін А.В. Автоматизація обліку та продажу в торгівлі автозапчастинами і шинами: Практичний посібник. – Львів: Торговий дім, 2023. – 120 с.
3. White Consulting. Облік автомобільних шин: варіанти з практики // Електронний ресурс. – Київ, 2024. – Режим доступу: <https://whiteconsulting.ua> (дата звернення: 08.11.2025).
4. Autoselling. Онлайн-програма обліку для автобізнесу та магазинів господарських товарів. – 2020. – Режим доступу: <https://autoselling.eu> (дата звернення: 08.11.2025).
5. BAS – автоматизація обліку в автосервісах і магазинах шин // Wecode. – 2024. Режим доступу: <https://wecode.ua/bas-upravlinnya-avtotransportom> (дата звернення: 08.11.2025).
6. YouTube. BAS Бухгалтерія | Облік шин: купівля, списання (відеоінструкція). – 2024. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=example> (дата звернення: 08.11.2025).
7. CRM Application for Tire Companies // 1B.app, 2024. – 50 р. – Available from: https://1b.app/download/crm_tireretail.pdf (дата звернення: 08.11.2025).

УДК 004.8:616.8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Олейников О. Ю., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Одним з найбільш поширених застосувань нейронних мереж у наш час є аналіз діагностичних зображень у системах медичної діагностики, що дозволяє швидко і більш точно ідентифікувати захворювання та підтримувати клінічні рішення [1].

Для оцінки ефективності запропонованої згорткової нейронної мережі (CNN) було проведено систематичний експеримент на підготовленому датасеті Brain Stroke CT Image Dataset з платформи Kaggle, який містить КТ-зображення мозку з категоріями «Норма» та «Інсульт». Дані були розділені на навчальну та тестову вибірки у співвідношенні 80% до 20%, при цьому забезпечувалося балансування класів для уникнення зміщення моделі [2]. Для підвищення різноманітності даних та стійкості моделі застосовувалася аугментація, що включала обертання, масштабування та дзеркальні відображення зображень. Попередня обробка включала нормалізацію яскравості та контрасту, а також фільтрацію шумів, що дозволяло зменшити вплив артефактів сканування на результати класифікації.

Архітектура запропонованої моделі була розроблена з урахуванням специфіки обробки медичних КТ-зображень та необхідності виділення локальних ознак патологічних зон мозку [3]. Модель складалася з п'яти послідовних згорткових шарів, кожен із яких використовував ядро розміром 3×3 пікселі. Кількість каналів на кожному наступному згортковому шарі поступово збільшувалася від 32 до 256, що дозволяло на початкових шарах виділяти базові контури та текстурні патерни, а на глибших – більш складні та абстрактні ознаки ішемічних ділянок. Після кожного згорткового шару

застосовувався шар підвибірки MaxPooling із розміром вікна 2×2 , що забезпечувало зменшення просторового розміру ознак, підвищуючи обчислювальну ефективність і водночас зберігаючи ключову інформацію.

Для стабілізації процесу навчання та запобігання коливанням градієнтів після кожного згорткового шару була використана нормалізація пакетів (Batch Normalization), яка дозволяла стандартизувати вхідні дані для наступного шару та прискорювала конвергенцію моделі [4]. Крім того, для зниження ризику перенавчання та забезпечення узагальнювальної здатності мережі після повнозв'язних (Fully Connected) шарів застосовувався Dropout із ймовірністю 0.3, що випадково відключало певну частину нейронів під час навчання, примушуючи модель формувати більш стійкі та загальні ознаки [5].

Процес навчання моделі здійснювався із використанням адаптивного оптимізатора Adam, який поєднує переваги алгоритмів AdaGrad та RMSProp та дозволяє автоматично коригувати швидкість навчання для кожного параметра. Початкова швидкість навчання була встановлена на рівні 0.0001, що дозволяло забезпечити поступове оновлення ваг без ризику різких коливань градієнтів. Розмір пакета даних становив 32, що оптимально балансувало між ефективністю обчислень та стабільністю градієнтів. Модель навчалася протягом 50 епох із використанням функції втрат Binary Cross-Entropy, яка дозволяє моделі мінімізувати розбіжність між прогнозованими ймовірностями та фактичними мітками класів (табл. 1).

Оцінка моделі проводилася на тестовій вибірці та додатковому зовнішньому наборі КТ-зображень для перевірки узагальнювальних властивостей. Аналіз матриці невідповідностей показав, що хибні класифікації переважно виникають на зображеннях із нечітким контуром ішемічної ділянки або наявністю артефактів сканування, що вказує на можливість подальшого вдосконалення методів попередньої обробки (рис. 1).

Таблиця 1 – Параметри навчання моделі

Параметр	Значення
Оптимізатор	Adam
Початкова швидкість	0.0001
Розмір пакета	32
Кількість епох	50
Функція втрат	Binary Cross-Entropy
Dropout	0.3



Рисунок 1 – Матриця невідповідностей моделі

Динаміка функції втрат та точності під час навчання показала плавне зниження втрат та поступове збільшення точності без різких коливань, що свідчить про коректний підбір гіперпараметрів та ефективність оптимізатора (рис. 2).

Тестування на зовнішньому наборі зображень підтвердило відсутність перенавчання, оскільки точність залишалася високою на рівні 94,1%. Отримані результати доводять ефективність запропонованої архітектури CNN для задачі автоматизованого виявлення інсультів на КТ-зображеннях із

набору Brain Stroke CT Image Dataset, забезпечують високу узагальнюваність та інтерпретованість результатів, що дозволяє інтегрувати систему у клінічну практику для підтримки діагностичних рішень.



Рисунок 2 – Динаміка втрат і точності під час навчання моделі

Напрямок подальших досліджень передбачає удосконалення архітектури і параметрів мережі з урахуванням множини показників витрат і точності діагностування [6].

Література:

1. Reddy, P., & Kumar, N. Stroke Prediction Using Deep Autoencoders on Multi-Modal Imaging Data // Computers in Medicine. 2022. Vol. 30. P. 115–128.
2. Zhang, H., & Xu, L. Ensemble Deep Learning Methods for Early Stroke Detection // Journal of Biomedical Informatics. 2021. Vol. 118. Article 103790.
3. Petrenko, V., & Bondarenko, Y. CNN-based Hemorrhagic Stroke Classification from CT Scans // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2020. Vol. 15, No. 6. P. 1015–1026.

4. Kim, H., & Choi, Y. Attention Mechanisms in Deep Networks for Ischemic Stroke Segmentation // Computers & Electrical Engineering. 2021. Vol. 93. Article 107213.
5. Vlasova, V., & Minukhina, S. Deep Learning Models for Automated Stroke Detection in MRI // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 12239–12250.
6. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20.

УДК 621.337.1

РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ БАЗИ ДАНИХ ЗАХИСТУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ В АСУ З НАУКОВИХ ВІДКРИТТІВ

Осінній Р.М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Наукові відкриття в Україні до прийняття нового ЦК не мали правової охорони. Проблема надання правової охорони відкриттям справді досить складна. З одного боку, відкриття не може бути об'єктом виключного права, – воно визнається надбанням людства і може використовуватися кожним, хто забажає, без будь-якого дозволу і без виплати винагороди. Отже, саме відкриття не може бути чисю-небудь власністю – це власність усього людства. Проте це не означає, що правовій охороні не підлягає авторство на відкриття, його авторський і державний пріоритет, назва відкриття та інші майнові і особисті немайнові права.

Вважаємо, що автору чи авторам відкриття мають належати певні майнові права за умови, що вони визначені чинним законодавством тієї чи іншої держави. Автор відкриття може мати право на заохочувальну премію, на додаткову житлову площу та інші пільги. Але автор відкриття не повинен мати права на винагороду за використання його відкриття. Держава може встановлювати й інші права і пільги для авторів відкриттів за заслуги у розвитку науки.

Саме відкриття не може бути об'єктом будь-якого виключного права будь-яких осіб чи держав. Проте права на пріоритет відкриття, право авторства, назви тощо, безперечно, підлягають правовій охороні, як і будь-яке інше право. Цей висновок ґрунтується на міжнародному визнанні відкриттів. Відповідно до Конвенції про за снування Всесвітньої організації інтелектуальної власності наукові відкриття включено до об'єктів інтелектуальної власності.

В Україні склалася досить парадоксальна ситуація: основна міжнародна угода з питань інтелектуальної власності наукові відкриття визнає об'єктом інтелектуальної власності, а в самій Україні правова охорона цих відкриттів була відсутня.

Відкриттям прийнято визнавати встановлення раніше невідомих об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей і явищ матеріального світу, що вносять докорінні зміни у рівень пізнання.

Отже, об'єктами відкриттів є закономірності, властивості та явища матеріального світу. Кожен із названих об'єктів відкриттів може бути визнаним відкриттям окремо. Проте закономірність, явище чи властивість можуть бути визнаними відкриттям лише за умови, що зазначені закономірність, властивість чи явище не були відомі раніше – вони виявлені вперше у світі.

Закономірність як об'єкт відкриття – це прояв дії об'єктивного закону. Зазначена закономірність у природі існувала, існує і буде існувати завжди. Об'єктом відкриття вона стає лише тоді, коли про існування цієї закономірності людина взнала, встановила її, виявила її об'єктивне існування. Зазначена закономірність стає об'єктом відкриття з моменту, коли її вперше було сформульовано.

Отже, закономірність матеріального світу як об'єкт відкриття – це невідомий раніше, але об'єктивно існуючий і такий, що вносить докорінні зміни у рівень пізнання, істотний і стійкий зв'язок між явищами або властивостями матеріального світу.

Більш повно цей зв'язок характеризується такими особливостями: це істотний, внутрішньо притаманний явищам або властивостям зв'язок та їх взаємна зумовленість. Він не повинен мати випадкового характеру. Закономірний зв'язок не проста констатація зв'язку яких-небудь явищ чи властивостей, а й встановлений його причинно-наслідковий характер; це певний стійкий зв'язок між явищами і властивостями. Він виражає таке відношення, за яким зміна одних явищ чи властивостей зумовлює цілком

визначені зміни інших. У такому разі залежність між явищами чи властивостями виражається, як правило, певною математичною або функціональною залежністю; зв'язок повинен мати універсальний характер і задовольняти вимогу узагальнення і можливості поширення його на інші однорідні об'єкти.

Явище матеріального світу як об'єкт відкриття – це невідома раніше об'єктивно існуюча і така, що вносить докорінні зміни в рівень пізнання, форма прояву сутності об'єкта матеріального світу (природи).

Явище і сутність перебувають в органічній єдності. Проте єдність сутності і явища не означає їх збігу, сутність зазвичай прихована за явищем. Внаслідок розкриття сутності стає можливим наукове пояснення самого явища. Сутність і явище об'єктивні, тобто вони існують незалежно від волі і свідомості людини. Немає такої сутності, яка б не проявилася зовні і була непізнаною, як нема і явища, яке не містило б у собі яку-небудь інформацію про сутність.

Властивість матеріального світу як об'єкт відкриття – це невідома раніше об'єктивно існуюча якісна сторона об'єкта матеріального світу. Кожний об'єкт має багато різноманітних властивостей як істотних, так і неістотних. Сукупність істотних властивостей об'єкта складає його якісну визначеність, що відрізняє його в цілому від інших об'єктів. Саме якісна визначеність виражає те спільне, що характеризує весь клас однорідних об'єктів. Які властивості проявляють даний об'єкт залежить від того, з якими об'єктами він вступає у взаємодію. Тому встановлення існування раніше невідомої властивості – необхідний, але недостатній елемент змісту відкриття. При цьому має бути доведено, чим викликана виявлена властивість, що вона спричиняє і при яких взаємодіях проявляється. Вимагається науково обґрунтована інтерпретація, що полягає у встановленні сутності цієї властивості і її закономірного характеру.

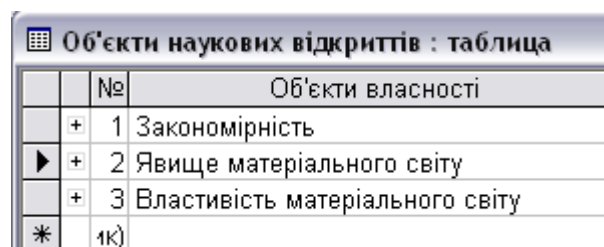
Отже, виявити нову істотну властивість об'єкта – означає встановити існуючу незалежно від волі і свідомості людини невідому раніше якісну визначеність об'єкта щодо інших об'єктів, з якими він вступає у взаємодію.

В роботі буде розглянута програмна реалізація підсистеми бази даних з наукових відкриттів у середовищі Access.

На початку у базі даних «Інтелектуальна власність» створюємо таблицю «Об'єкти наукових відкриттів». Для цього будемо керуватися інструкціями, що наведені у пункті 3.2. Єдиним відрізненням є назва таблиці – «Об'єкти наукових відкриттів», а всі розділи нової таблиці мають ту ж саму назву та параметри.

На останній стадії створення таблиці обираємо пункт «Ввести дані безпосередньо в таблицю».

Після виконання всіх дій необхідно заповнити готовий шаблон таблиці, попередньо перейменувавши стовпець «Код_Об'єкти наукових відкриттів» в «№» (рис. 1).



№	Об'єкти власності
1	Закономірність
2	Явище матеріального світу
3	Властивість матеріального світу
1K)	

Рисунок 1 – Завершений вигляд таблиці «Об'єкти наукових відкриттів»

Завершивши роботу з таблицею «Об'єкти наукових відкриттів», створюємо пов'язану з нею таблицю «Пункти ОНВ». Створення цієї таблиці проводимо аналогічно з таблицею «Пункти ОАП», створення якої докладно описано в пункті 3.2. Відрізнення лише в тому, що вибрати треба лише одне поле, яке надалі перейменуємо на «Визначення»

Перейменувавши таблицю на «Пункти ОНВ», установлюємо зв'язки з попередньою таблицею «Об'єкти промислової власності». Вибираємо зв'язок

типу «Одному запису таблиці «Об'єкти наукових відкриттів» буде відповідати багато записів таблиці «Пункти ОНВ».

Виконавши ці операції, необхідно заповнити готовий шаблон таблиці, попередньо перейменувавши стовпець «Код_Об'єкти наукових відкриттів» в «№ ОНВ».

У стовпець «№ ОНВ» необхідно вносити номер того пункту з таблиці «Об'єкти наукових відкриттів», якому дається визначення в поточних рядках (рис. 6.2.2).

Проробивши всі описані вище операції, характеристика об'єктів наукових відкриттів завершена й буде створена четверта підсистема бази даних «Інтелектуальна власність» – підсистема з наукових відкриттів (рис. 6.2.3).

Зв'язки між створеними таблицями підсистеми бази даних з наукових відкриттів зображені на рис. 2.

Пункти ОНВ : таблиця		
	Визначення	№ ОНВ
▶	це невідомий раніше, але об'єктивно існуючий і такий, що вносить докорінні зміни у рівень пізнання,	1
	істотний і стійкий зв'язок між явищами або властивостями матеріального світу.	1
	це невідома раніше об'єктивно існуюча і така, що вносить докорінні зміни в рівень пізнання, форма прояву сутності об'єкта матеріального світу.	2
	це невідома раніше об'єктивно існуюча якісна сторона об'єкта матеріального світу.	3
*		

Рисунок 2 – Завершений вигляд таблиці «Пункти ОНВ»

Далі будуть створені останні узагальнюючі таблиці бази даних «Інтелектуальна власність» – «Об'єкти інтелектуальної власності» та «Суб'єкти права інтелектуальної власності».

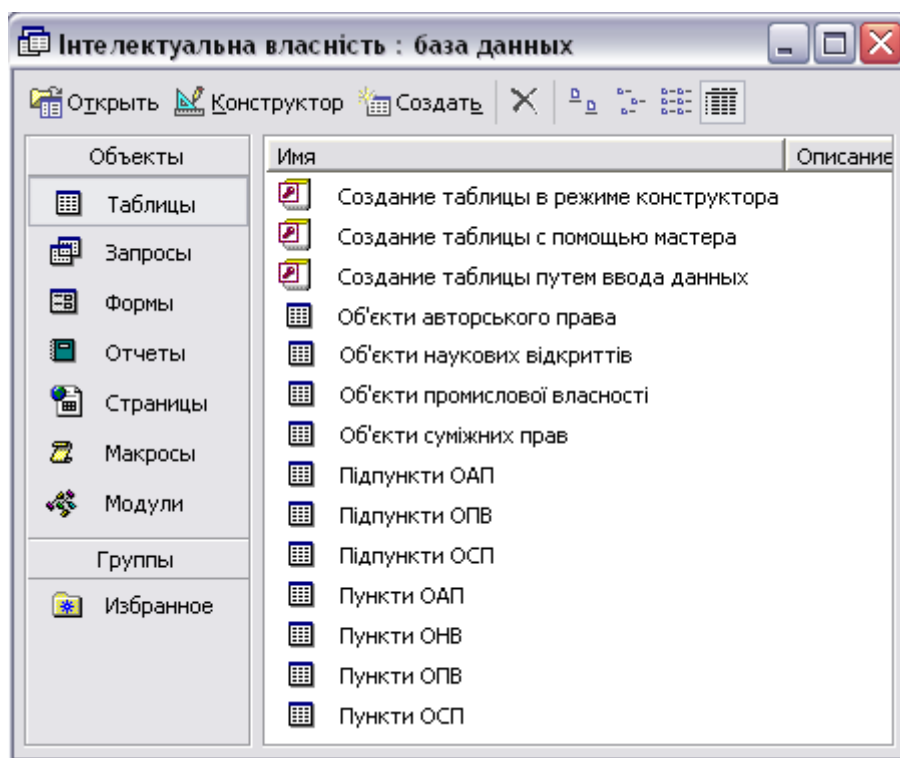


Рисунок 3 – Вигляд бази даних «Інтелектуальна власність» після створення чотирьох підсистем бази даних

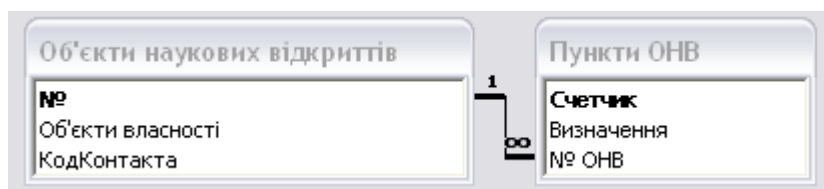


Рисунок 4 – Зв'язки між створеними таблицями

У ході виконання роботи було проаналізовано правову природу наукових відкриттів, визначено їх місце у системі інтелектуальної власності та окреслено критерії, за якими закономірності, явища та властивості матеріального світу можуть бути визнані відкриттями. На основі проведеного аналізу розроблено функціональну підсистему бази даних наукових відкриттів у середовищі Microsoft Access, створено необхідні таблиці, встановлено логічні зв'язки між ними та інтегровано підсистему до загальної

бази даних «Інтелектуальна власність». Результати роботи демонструють можливість ефективної структуризації, зберігання та подальшої обробки інформації про об'єкти наукових відкриттів у складі автоматизованої системи управління.

Література:

1. Бошицький Ю. Л. Право інтелектуальної власності : навч. посіб. Київ : Юрінком Інтер, 2020. 432 с.
2. Демченко Т. В. Інтелектуальна власність: правове регулювання, комерціалізація, захист. Харків : Право, 2019. 368 с.
3. Конвенція про заснування Всесвітньої організації інтелектуальної власності від 14.07.1967 р.
4. Михайлюк О. С. Право інтелектуальної власності: сучасний стан і перспективи розвитку. Київ : Наукова думка, 2021. 284 с.
5. Станкевич І. В. Автоматизовані системи управління: моделі, методи, інформаційні технології. Львів : Видавництво ЛНУ, 2022. 312 с.

УДК 004.738.5:005.591.6

ОПТИМІЗАЦІЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ В ОФІСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОФІСНОГО ОБЛАДНАННЯ

Піх Д.М.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З. Гжицького, Львів*

Сучасне офісне середовище невіддільне від інформаційних технологій та технічних засобів, які забезпечують обробку, зберігання і відтворення документів, а також підтримують щоденну діяльність персоналу. Організація роботи з офісною технікою безпосередньо впливає на швидкість виконання завдань, стабільність бізнес-процесів, витрати на обслуговування та загальний рівень інформаційної безпеки. Разом з тим у багатьох установах питання формування та експлуатації парку обладнання вирішуються ситуативно, без урахування реальних потреб підрозділів, що поступово призводить до накопичення морально застарілих пристроїв, нераціональних витрат і зростання простоїв. В таких умовах виникає об'єктивна необхідність переосмислення підходів до управління офісною інфраструктурою з опорою на фактичні дані про її використання та технічний стан. [1-3]

Аналіз практики експлуатації офісного обладнання свідчить, що надмірна кількість локальних принтерів, різноманітність моделей та відсутність централізованого управління створюють додаткове навантаження на ІТ-підрозділи і ускладнюють процес технічного обслуговування. У результаті збільшується час реагування на несправності, виникають труднощі з постачанням сумісних витратних матеріалів, а також спостерігається перевищення рекомендованих навантажень на окремі пристрої при одночасному простоюванні інших. Така диспропорція негативно впливає на загальну ефективність роботи та формує додаткові фінансові витрати, які не завжди є очевидними для управлінського персоналу.

Дослідження сучасних підходів до управління офісною технікою демонструє, що ключовим чинником підвищення ефективності є перехід від хаотичної експлуатації до системного контролю, заснованого на постійному зборі та аналізі даних. Використання програмних засобів моніторингу, зокрема тих, що працюють через SNMP-протокол і журнали подій, дає змогу отримувати детальну інформацію про рівень завантаження пристроїв, кількість виконаних операцій, частоту помилок, час простою та стан витратних матеріалів. [4] На основі цих даних формується об'єктивна картина реального використання техніки, яка стає базою для прийняття управлінських рішень.

При аналізі статистики друку та супутніх операцій виявляється, що значна частина ресурсів витрачається неефективно. Друк документів, які мають тимчасовий характер, надмірне використання кольорового режиму, відсутність контролю за кількістю сторінок і дублювання завдань істотно збільшують витрати на папір, тонер та сервісне обслуговування. Водночас без відповідного програмного забезпечення практично неможливо визначити точних користувачів, які ініціюють ці процеси, а також встановити, на яких етапах виникають перевитрати. Це унеможливорює адресний вплив на проблемні ділянки і звужує потенціал для оптимізації.

Системний підхід до вдосконалення ІТ-інфраструктури передбачає не лише технічну модернізацію, а й перегляд організаційних механізмів доступу до обладнання. Впровадження контрольованих правил користування, зокрема ідентифікації перед виконанням завдання та застосування стандартних режимів друку, дозволяє поступово сформувати відповідальне ставлення персоналу до використання ресурсів. У поєднанні з централізованим керуванням це створює умови для рівномірного розподілу навантаження між пристроями, підвищення їхньої надійності та продовження строку експлуатації.

Практика показує, що заміна великої кількості локальних пристроїв на функціонально потужні мережеві багатофункціональні системи сприяє

спрощенню інфраструктури та зменшенню витрат на обслуговування. Такий підхід полегшує адміністрування, знижує потребу у різноманітних витратних матеріалах і забезпечує швидший доступ до технічної підтримки. Паралельно з цим підвищується доступність обладнання для співробітників, скорочується час очікування на виконання завдань та зменшується ризик зупинки робочого процесу через вихід з ладу окремих одиниць техніки.

Реалізація програмних рішень для керування друком і моніторингу пристроїв дозволяє не лише фіксувати поточний стан, а й прогнозувати майбутні потреби у витратних матеріалах, вчасно планувати технічне обслуговування та запобігати аварійним ситуаціям. Аналітичні звіти, сформовані на підставі зібраної статистики, надають можливість оцінити ефективність функціонування інфраструктури у динаміці та своєчасно коригувати стратегію її розвитку відповідно до змін у навантаженні й організаційній структурі підприємства.

Моделювання оптимізованої структури ІТ-інфраструктури демонструє суттєве зниження сукупних витрат на експлуатацію та обслуговування обладнання. Поряд із цим спостерігається покращення показників стабільності роботи, скорочення кількості простоїв і підвищення продуктивності персоналу завдяки зменшенню витрат часу, пов'язаних із пошуком доступного пристрою або усуненням технічних несправностей. Додатковим позитивним ефектом є зміцнення інформаційної безпеки, оскільки контрольований доступ до друку та копіювання документів знижує ризики витоку конфіденційної інформації.

Загальний аналіз результатів доводить, що ефективне управління офісною технікою неможливе без комплексного підходу, який поєднує технічні, організаційні та аналітичні інструменти. Використання даних про фактичну експлуатацію дозволяє приймати зважені рішення щодо модернізації, заміни або перерозподілу обладнання, формувати прозору систему обліку витрат і забезпечувати стабільну роботу офісу в умовах зростаючих вимог до швидкості та якості обробки інформації. У

довгостроковій перспективі такий підхід створює основу для подальшої автоматизації документообігу та підвищення конкурентоспроможності організації, незалежно від її масштабу та специфіки діяльності.

Література:

1. Теленик, С. Ф., Ролік, О. І., & Букасов, М. М. Технологія управління ІТ-інфраструктурою на основі ресурсного підходу. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки", 2016, 4(47), 180–189. [Он-лайн]. Доступно: [https://doi.org/10.26642/tn-2008-4\(47\)-180-189](https://doi.org/10.26642/tn-2008-4(47)-180-189)
2. Кустов, В., Коваленко, М. Теоретико-методологічні підходи до управління ІТ-інфраструктурою в умовах цифровізації. Вісник Хмельницького національного університету 2023, №5, 50–56. [Он-лайн]. Доступно: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-322-5-7>
3. Малярчук, І., Смолінець, М. Ключові засади оптимізації ІТ-інфраструктури й бізнес-процесів на сучасному підприємстві. Успіхи і досягнення у науці. Серія "Управління та адміністрування", 2024, 4(4), 486–493. [Он-лайн]. Доступно: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-4\(4\)-486-493](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-4(4)-486-493)
4. Моніторинг і керування через SNMP (інструкція Canon українською). [Он-лайн]. Доступно: https://oip.manual.canon/USRMA-4625-zz-CSL-2600-ukUA/contents/devu-setup-nw-pref_fit-snmp_moni_control.html

УДК 614.8

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Сезонова І.К.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасні виклики, зумовлені воєнним станом в Україні, актуалізують питання забезпечення цивільної безпеки на виробничих підприємствах. В умовах постійних загроз ракетних обстрілів, диверсій, порушення логістичних ланцюгів і енергопостачання особливої ваги набуває здатність підприємств забезпечувати безпечні умови праці, зберігати виробничі потужності та життєдіяльність персоналу. Цивільна безпека на виробництві стає складовою національної безпеки та елементом стійкості критичної інфраструктури.

Цивільна безпека на виробництві – це система організаційних, технічних і правових заходів, спрямованих на захист життя та здоров'я працівників, збереження матеріальних цінностей і безперервність виробничих процесів у разі виникнення надзвичайних ситуацій. У період воєнного стану до стандартних факторів ризику (пожежі, аварії, техногенні інциденти) додаються воєнні загрози – обстріли, мінна небезпека, руйнування об'єктів інфраструктури, евакуаційні виклики.

Нормативно-правову основу цивільної безпеки становлять:

- Закон України «Про правовий режим воєнного стану»;
- Кодекс цивільного захисту України;
- Закон України «Про охорону праці»;
- Постанова Кабінету Міністрів України № 444 «Про затвердження Порядку функціонування єдиної державної системи цивільного захисту»;
- галузеві інструкції з охорони праці та безпеки виробництва.

У період воєнного стану керівники підприємств зобов'язані розробити плани дій цивільного захисту, організувати навчання персоналу з питань евакуації, укриття, домедичної допомоги, а також забезпечити готовність захисних споруд (сховищ, укриттів).

Система цивільного захисту на виробництві включає:

- планування дій у надзвичайних ситуаціях — створення плану евакуації, оповіщення, резервного енергозабезпечення;
- підготовку персоналу — регулярні інструктажі, тренування з евакуації, навчання надання домедичної допомоги;
- створення системи оповіщення — встановлення сирен, оповіщувачів, мобільних додатків;
- обладнання укриттів і сховищ — облаштування підвальних приміщень, запасів води, медикаментів, засобів зв'язку;
- координацію з органами ДСНС, місцевого самоврядування, військовими адміністраціями.

На промислових підприємствах важливо забезпечити стійкість технологічних процесів: резервне електроживлення, аварійне відключення систем, дистанційне керування критичними агрегатами.

Відповідальність за організацію цивільної безпеки несе керівник підприємства. Він створює комісію з надзвичайних ситуацій, призначає відповідальних осіб за оповіщення, евакуацію, медичну допомогу, пожежну безпеку тощо. Водночас активна участь працівників у навчаннях, виконання інструкцій та збереження дисципліни визначають ефективність усієї системи. Особливе значення має інформаційна безпека: дотримання режиму секретності, недопущення поширення даних про об'єкти виробництва, що можуть бути використані противником.

У сучасних умовах підприємства впроваджують:

- автоматизовані системи моніторингу ризиків, датчики диму, температури, руху;
- системи відеоспостереження для контролю периметра;

– резервні канали зв'язку та енергопостачання (генератори, акумулятори);

– психологічну підтримку персоналу, спрямовану на зменшення стресу й паніки під час повітряних тривог чи надзвичайних подій.

Також розробляються плани безперервності діяльності (Business Continuity Plan), що визначають порядок дій для мінімізації втрат у разі зупинки виробництва.

Висновки. Цивільна безпека на виробництві в умовах воєнного стану — це не лише вимога законодавства, а й елемент стійкості економіки держави. Від ефективності організації заходів безпеки залежить збереження життя людей, матеріальних ресурсів та стабільність промислового потенціалу. Системний підхід, підготовленість персоналу, сучасні технологічні рішення та відповідальне управління дозволяють підприємствам адаптуватися до умов війни та підтримувати свою діяльність навіть у надзвичайних обставинах.

Література:

1. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» від 12.05.2015 № 389-VIII.
2. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI.
3. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.
4. Постанова Кабінету Міністрів України № 444 від 09.01.2014 «Про затвердження Порядку функціонування єдиної державної системи цивільного захисту».
5. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Методичні рекомендації щодо дій населення під час воєнного стану. — Київ, 2023.

УДК 37.091.3:004.8

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВІ ОСВІТНІ ПЛАТФОРМИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ НАВЧАННЯ

Ситникова Ю.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

В умовах сучасної трансформації освітнього простору одним із ключових напрямів розвитку є впровадження технологій штучного інтелекту у цифрові освітні платформи. Існуючі натеper інтелектуальні чат-асистенти, системи навчальної аналітики, адаптивні середовища дедалі активно інтегруються в освітній процес з метою підвищення його ефективності. Вони також допомагають автоматизувати навчальний процес, створюючи умови для налагодження постійного зворотнього зв'язку між учасниками навчального процесу, зокрема, формування персоналізованих рекомендацій студентам. Та, попре переваги впровадження ШІ в освіту, постає питання про якість навчання, про самостійність навчальної діяльності студента, на скільки та як впливає така інтеграція на формування ключових компетентностей майбутніх фахівців в цілому. Саме тому дослідження питання впливу технологій ШІ на ефективність освітніх цифрових платформ є нагальним й своєчасним.

Метою нашого дослідження є аналіз тенденцій інтеграції ШІ в цифрові освітні платформи та визначення їх впливу на якість навчання в закладах освіти. Для досягнення поставленої мети визначені такі задачі, як: дослідити сучасний стан та перспективи розвитку освітніх платформ із підтримкою ШІ; проаналізувати приклади їх практичного застосування; окреслити основні переваги й ризики впровадження інтелектуальних технологій в навчальний процес; сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності цифрового навчання та формування відповідної цифрової культури з дотриманням академічної доброчесності.

У сучасній науково-педагогічній літературі спостерігається підвищений інтерес до імплементації інструментарію ІІІ в цифрові освітні платформи, наголошуючи, що така інтеграція стає загальною тенденцією трансформаційних освітніх процесів. Так, серед переваг цієї інтеграції J. Garzón, E. Patiño, C. Marulanda зазначають покращення результатів навчання, сприяння персоналізованому навчанню, підвищення мотивації та заохочення до самостійності, хоча, соціальні переваги, такі як співпраця та культурна обізнаність, поряд із перевагами, орієнтованими на вчителя, менш наголошуються [1]. Українські дослідники [2–4] підкреслюють необхідність розвитку правового, компетентнісного та технологічного забезпечення таких платформ у зв'язку з активним впровадження ІІІ в освітній простір. Однією з таких провідних тенденцій є використання адаптивних систем навчання, які завдяки алгоритму аналізу даних допомагає підлаштовувати траєкторію навчання під індивідуальні потреби студента [5]. Серед суттєвих викликів реалізації цих технологій також слід зазначити питання етики, контролю, довіри, залучення викладачів як розробників, а також питання збереження ролі людини-педагога [1–5]. Таким чином, як ми бачимо, теоретичні основи інтеграції ІІІ в освіті охоплюють не лише технічні аспекти, але й педагогічні, методологічні, аналітичні й нормативно-правові, які й формують контекстне підґрунтя для подальших досліджень в цьому напрямку, зокрема, дослідження впливу цих освітніх платформ на якість освіти.

Потужна інтеграція модулів ІІІ в систему Moodle в українському освітньому просторі свідчить про поступовий перехід до адаптивних форм навчання, підвищення ефективності оцінювання та розширення можливостей індивідуальної підтримки студентів [6, 7]. Іншим прикладом інтеграції ІІІ-інструментів є впровадження асистента Khanmigo, розробленого Khan Academy у співпраці з OpenAI на базі моделі GPT-4, яка одночасно виступає як наставник для студента так й помічник для викладача [8]. Подібні інновації спостерігаються й у діяльності провідних міжнародних освітніх платформ, як то: Coursera та Duolingo Max. Вони активно інтегрують

технологічний інструментарій III у власні навчальні екосистеми. Так, Coursera алгоритми аналізу даних про навчальну активність користувача дають змогу формувати адаптивні освітні траєкторії, які враховують рівень підготовки, стиль навчання та індивідуальні потреби здобувача освіти [9]. Платформа Duolingo Max реалізує функції спілкування (Role-play) та пояснення відповіді (Explain my Answer) [10], демонструючи при цьому потужний потенціал використання мовних моделей для персоналізації навчання, розвитку критичного мислення та формування навичок самостійного опанування знань.

Як бачимо, аналіз сучасних прикладів впровадження технологій III у відомі освітні платформи демонструють поступовий перехід від традиційних моделей навчання до інтелектуально адаптивних освітніх екосистем з різноманітними функціями на базі III. А сукупний досвід різних платформ для навчання переконує, що інтеграція III не лише розширює дидактичні можливості, але й створює нову загальну парадигму навчання, в центрі якої перебуває індивідуальна освітня траєкторія здобувача.

Водночас активне впровадження III супроводжується низкою ризиків поряд з суттєвими перевагами. До безпечних переваг слід віднести підвищення рівня індивідуалізації (персоналізації), високий рівень адаптації освітнього контенту до особистих потреб студента, оперативне надання зворотнього зв'язку, що значно прискорює роботу з помилками, та зменшення навантаження на викладача у процесі оцінювання. З іншого боку, серед потенційних ризиків відзначимо загрозу зниження автономності мислення студентів, високий рівень довіри спричиняє зниження критичності мислення, ризики упередженості алгоритмів, питання конфіденційності даних та етичної відповідальності використання систем III [1, 4, 7]. Отже, ефективне використання таких технологій потребує чітко розроблених педагогічних і етичних стандартів, які б забезпечували відповідний баланс між технологічними можливостями інструментів III та гуманістичними цінностями освіти.

З огляду на вищевикладене доцільним є формування системи педагогічно-організаційних рекомендацій таких, як: по-перше, необхідно розробити чіткі етичні й нормативно-правові правила використання ІІІ для забезпечення прозорості алгоритмів, захисту персональних даних й запобігання академічної недоброчесності; по-друге, забезпечити відповідну підготовку викладачів до роботи з інтелектуальними системами через розвиток цифрової компетентності; по-третє, проведення емпіричних досліджень на базі платформи Moodle для оцінки ефективності ІІІ-модулів та подальшого вдосконалення методик. Тож, інтеграція ІІІ має стати ефективним інструментом, який реалізує особисто-орієнтоване навчання та формує у здобувача критичне мислення, самостійність, вміння визначати пріоритети й планувати свій особистий розвиток.

Практичне значення отриманих нами результатів полягає у можливості використання цих висновків для розроблення стратегії впровадження ІІІ в освітні платформи університетів. Серед перспектив подальших наукових досліджень цього напрямку слід виокремити дослідження пов'язані з емпіричною оцінкою ефективності певних інструментів ІІІ, аналізом їх впливу на академічну доброчесність та адаптацією міжнародного досвіду до національного освітнього простору.

Література:

1. J. Garzón, E. Patiño, C. Marulanda, “Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges”, *Multimodal Technologies and Interaction*, Volum 9, Issue 8, p. 84, 2025. Доступно: <https://doi.org/10.3390/mti9080084>.
2. М. Ростока, Ю. Кравченко, «Феномен штучного інтелекту в системі інформаційно аналітичного супроводу цифрової трансформації освіти і педагогіки», *Науково-педагогічні студії*, № 8, с. 283–300, 2024. Доступно: <https://doi.org/10.32405/2663-5739-2028-8-283-300>.

3. Л. Ілійчук, «Штучний інтелект і якість освіти: можливості, виклики та загрози», Науково-педагогічні студії, № 8, с. 232–248, 2024. Доступно: <https://doi.org/10.32405/2663-5739-2028-8-232-248>.
4. Т. Я. Гельжинська, О. Р. Кравчик, «Правове регулювання використання штучного інтелекту в освіті: український та європейський досвід», Академічні візії, № 42, 2025. Доступно: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/1897>.
5. R. Alfredo, V. Echeverria, Y. Jin, L. Yan, Z. Swiecki, Dr. Gašević, R. Martinez-Maldonado, «Human-centred learning analytics and AI in education: A systematic literature review», Computers and Education: Artificial Intelligence, Volume 6, 2024. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100215>.
6. О. Коваль, М. Умрик, «Використання штучного інтелекту для автоматизації процесу створення освітніх тестів», Штучний інтелект: філософсько-педагогічні аспекти, № 24, с. 78–96, 2024, Доступно: <http://iscs-journal.npu.edu.ua/article/view/319030>
7. Л. В. Куцак, «Штучний інтелект у сучасній освіті: перспективи застосування та виклики», Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems, № 74, с. 27–37, 2025. Доступно: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-74-27-37>.
8. Khan Academy Blog, “Harnessing GPT-4 so that all students benefit. A nonprofit approach for equal access”, 2023. Доступно: https://blog.khanacademy.org/harnessing-ai-so-that-all-students-benefit-a-nonprofit-approach-for-equal-access/?utm_source=chatgpt.com.
9. Coursera Staff, “What Is Adaptive Learning?”, 2025. Доступно: https://www.coursera.org/articles/adaptive-learning?utm_source=chatgpt.com.
10. Duolingo, “*Duolingo Max uses OpenAI’s GPT-4 for new learning features*”, 2023. Доступно: <https://blog.duolingo.com/duolingo-max/>.

УДК 657:330.3:005.342

ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Скорін Юрій

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця

Сьогодення характеризується тим, що під час здійснення певних освітніх процесів, які потребують того, щоб фахівців з галузі розробки та тестування програмного забезпечення було краще підготовлено. Використання активних форм навчання під час вивчення фахових дисциплін, особливо таких, як технології тестування програмного забезпечення, має певні причини. Важливо, щоб здобувачі не тільки отримували знання, але й вміли їх застосовувати в реальних ситуаціях. Існують різноманітні форми навчання, які допомагають активізувати навчальний процес: ділові ігри, імітація роботи з програмним забезпеченням, круглі столи тощо. Вони стимулюють активну взаємодію між здобувачами та викладачами. З метою значної активізації навчання у вищому навчальному закладі важливо знати особливості навчання, які вимагають передачі студентам нових навичок, вмінь і знань у пізнавальній діяльності [2]. Характерні ознаки активного навчання [1]: стимулювання інтересу до вивчення матеріалу та вміння застосовувати набуті знання під час виконання практичних завдань; активне участь студентів у навчальному процесі, що дає змогу розвивати їхні пізнавальні та творчі здібності під час розв'язування завдань; самостійне розв'язання проблем, підвищення емоційної мотивації здобувачів до вивчення обговорюваних питань; інтерактивність, тобто постійна взаємодія між учнями, вільне обговорення різноманітних способів вирішення ситуацій.

Активні методи навчання допомагають вирішити такі навчальні завдання: зробити процес навчання під керівним впливом викладача; забезпечити вплив на активну участь як підготовлених, так і непідготовлених студентів; постійно контролювати вивчення матеріалу та його якість [2].

Використання активних методів змінює процес навчання — він стає не лише цікавішим, але й ефективнішим. Пізнавальна активність зростає, розвивається критичне мислення, формуються здатність приймати творчі рішення під час підготовки видання, його маркетингу та інших процесів. Під час застосування активних методів навчання виникає, так звана, примусова активність студентів, коли вони не можуть залишатися пасивними, активно взаємодіють із викладачем. Це підвищує мотивацію, емоційність та творчість. Викладач постійно взаємодіє з учнями, допомагає формувати їх професійні, інтелектуальні уміння та навички. Активні методи навчання дозволяють розвивати такі здібності: здатність адаптуватися в групах, чітко висловлювати свої думки, формулювати ідеї, проекти, передбачати наслідки вибору; уміння встановлювати особисті контакти, обмінюватися інформацією, ефективно керувати своєю діяльністю та часом, брати на себе відповідальність за результати групи, приймати нестандартні рішення [2]. Для вирішення вказаних завдань під час організації самостійної роботи студентів доцільно застосовувати підходи, які використовуються в промисловій розробці програмного забезпечення, а сьогодні вони пов'язані з поняттям "тестування програмних продуктів". У такому підході застосовуються активні форми навчання, при цьому імітується процес розроблення програмного забезпечення, який використовується в ІТ-галузі. Тобто, навчальний процес наближається до реальних умов ринку праці [2]. Щоб описати цю модель процесу навчання, потрібно ввести кілька понять.

1. Учасник процесу навчання (учасниками є здобувач і викладач).
2. Роль — це є сукупність дій і функцій, які виконуються учасниками. У процесі навчання, коли використовуються методи програмної інженерії, здобувач і викладач можуть заходити в різні ролі. Сама і та ж роль може виконуватися як здобувачем, так і викладачем.
3. Робочий продукт — це є результат роботи учасника в певній ролі.

Оскільки головним об'єктом у даній моделі є завдання, пов'язане з розробленням програмного продукту, який створюється разом, потрібно ввести такі ролі учасників даного спільного навчального процесу.

1. Автор, його завданням є – поставити завдання для виконання здобувачем.

2. Модератор, його завданням є – призначити завдання виконавцям, контролювати процес виконання завдання та прийняти остаточне рішення про його виконання.

3. Кодувальник, його завданням є – написати програмний код для вирішення завдання, яке було призначене йому.

4. Інспектор, його завданням є – аналіз коду програми з метою перевірки її правильності та якості написання, а також відповідності використаних програмних рішень умовам завдання. Інспектор може виписати один із трьох вердиктів: а) прийняти завдання без зауважень – це означає, що інспектор повністю зрозумів всі програмні рішення, код написано правильно, текст програми відповідає всім необхідним коментарям; б) прийняти завдання з урахуванням зауважень – це означає, що програма загалом правильно написана, але у неї є деякі незрозумілі або некоректні місця. Інспектор формулює свої зауваження, а потім перевіряє завдання знову після їх усунення кодувальником. Процес усунення зауважень триває, доки інспектор не видає вердикт "прийняти без зауважень"; в) відхиляти завдання – це означає, що програма не виконує потрібних функцій або кількість зауважень є такою, що її не можна прийняти без суттєвих змін.

5. Тестер, його завданням є – розробити тест, який дозволить перевірити якість написання програми шляхом пошуку помилок, а також сама перевірка. Робота тестера починається після того, як інспектор видає вердикт "прийняти без зауважень". У цьому разі тестер не аналізує код, він лише запускає програму на тестових сценаріях, які відповідають умовам завдання.

Робочими елементами цієї моделі навчального процесу є: у автора – визначення завдання; у модератора – оцінка роботи виконавця; у

кодувальника – написання програми (текст); у інспектора – зауваження та рекомендації щодо вдосконалення коду; у тестера – сценарій тестування.

Послідовність виконання роботи з програмою: автор формулює завдання, після чого передає його кодувальнику; модератор визначає ролі; кодувальник пише код програми і передає його інспектору; інспектор аналізує код, якщо виявляється помилка, повідомляє про це кодувальнику, і вони разом виправляють помилку до того, як інспектор вирішить, що код прийнятий без зауважень; після цього код передається тестеру, який розробляє сценарій тестування і перевіряє якість програми; модератор оцінює якість програми і дійшов рішення щодо результатів роботи. У табл. 1 наведено приклад розподілу ролей у традиційній формі навчального процесу.

Таблиця 1 – Розподіл ролей між учасниками освітнього процесу за умови традиційної форми навчання

Роль	Учасник	Функція
Автор	Вчитель	Формулювання завдання
Ведучий	Вчитель	Розподіл завдань між здобувачами (розподіл завдань)
Кодер	Здобувач	Написання програмного коду
Інспектор	Вчитель	Перевірка програмного коду, оцінювання робіт здобувачів
Тестер	Вчитель	Запуск програми та її тестування, оцінка роботи здобувача

Отже, у традиційному варіанті, коли роль автора, модератора, інспектора та тестера виконує викладач, а студент виконує лише роль кодувальника. Використання такого підходу сьогодні відповідно до навчання студентів, які навчаються на напрямках, які не пов'язані безпосередньо з інформаційними технологіями. У табл. 2 наведено розподіл ролей для варіанта технології навчання, який використовує методи програмної інженерії.

Таблиця 2 – Розподіл ролей для варіанта технології навчання, який використовує методи програмної інженерії

Роль	Учасник	Функція
Автор	Вчитель	Формулювання завдання
Ведучий	Вчитель	Розподіл завдань між здобувачами (розподіл завдань)
Кодер	Здобувач 1	Написання програмного коду
Інспектор	Здобувач 2	Перевірка програмного коду, оцінювання робіт здобувачів
Тестер	Здобувач 3	Запуск програми та її тестування, оцінка роботи здобувача

У варіанті, що наведено в табл. 2, викладач виконує роль автора і модератора, а ролями кодувальника, інспектора та тестера виступають здобувачі. Викладач формулює завдання на певну тему, розподіляє ролі серед студентів, контролює процес їх роботи і оцінює результат. Добувач-кодувальник пише програмний код і передає його добувачеві-інспектору. Інспектор аналізує код, формулює відповідні зауваження й (якщо це потрібно) повертає його кодувальнику для вдосконалення. Якщо зауважень немає, код передається добувачеві-тестеру. Тестер створює сценарій тестування й перевіряє програму згідно з ним, формулюючи результат — "пройдено" або "не пройдено" для кожного пункту. Після завершення роботи тестера викладач виставляє оцінки кожному учаснику. Використання цієї технології під час вивчення навчальної дисципліни, особливо під час організації самостійної роботи здобувачів, дає можливість підвищити ефективність навчального процесу, допомагає здобувачам отримувати навички у тестуванні програмного забезпечення. Крім того, це сприяє зростанню інтересу здобувачів до вивчення означеної дисципліни, ознайомлює їх з способами колективної роботи, які застосовуються у професійній діяльності, та забезпечує прозорість процесу оцінювання [2]. Активні методи навчання саме в цьому допомагають здійснити особистий і професійний зростання студентів й досягти високих результатів у галузі тестування програмного забезпечення.

Література:

1. Активна методика навчання у підготовці фахівців. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
2. Скорін Ю.І. Технології тестування програмних продуктів: методичні рекомендації для самостійної роботи студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» першого (бакалаврського) рівня/ Ю.І. Скорін. – Харків: ХНЕУ. С. Кузнеця, 2017. – 35 с.

УДК 004

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ МЕТОДІВ ШИФРУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У БЛОКЧЕЙН- МЕРЕЖАХ

Скорін Юрій, Лактіонов Артем

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця

Технічні проблеми з безпекою даних та ризики вразливості:

Перша та найважливіша технічна проблема — це вразливість даних під час їхнього передавання, хоча часто використовуються захищені канали з TLS, це не впливає на атаки типу «людина посередині» (Man-in-the-Middle, MITM) на рівні застосунку або при перехопленні трафіку між внутрішніми вузлами мережі.

Друга проблема — це безпечне обмін ключами шифрування. Для швидкого шифрування великих обсягів даних добре підходять симетричні алгоритми (наприклад, AES), однак їхній головний недолік — складність забезпечення безпечної передачі секретного ключа між відправником та одержувачем у відкритій або децентралізованій мережі.

Третя проблема — надмірна висока складність обчислень при використанні асиметричного шифрування. Асиметричні алгоритми, наприклад, RSA або ECC, розв'язують проблему обміну ключами, але вони значно повільніші за симетричні. Використовувати їх для шифрування кожного повідомлення або великих файлів нераціонально, оскільки це призводить до великого навантаження на потужності процесора клієнта та сервера.

Четверта проблема — прозорість та незмінність блокчейну.

Будь-які конфіденційні дані, такі як особиста інформація, фінансові деталі або комерційна таємниця, що потрапляють у блокчейн, не можуть бути видалені або змінені. Це створює постійний ризик утечки даних, оскільки будь-хто, у кого є доступ до реєстру, може прочитати цю

інформацію. Стандартні механізми блокчейну не забезпечують конфіденційності даних.

П'ята проблема – необхідність захисту off-chain даних, у багатьох сучасних DApps (децентралізованих застосунках) лише хеш або підтвердження транзакції зберігається в блокчейні, тоді як основний масив даних (наприклад, документи, зображення, JSON-об'єкти) зберігається поза мережею (off-chain), необхідно забезпечити, щоб ці дані також були надійно зашифровані, а доступ до них мали лише авторизовані сторони.

Шоста проблема – відсутність гнучкого та уніфікованого рішення, розробники часто змушені або покладатися на складні, монолітні криптографічні бібліотеки, або реалізовувати власні схеми, що призводить до помилок, на об'єкті управління бракує стандартизованого, легкого модуля, який би реалізовував перевірену гібридну схему (поєднуючи швидкість AES для даних та безпеку ECC для ключів).

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування, практична розробка та аналіз ефективності гібридної криптографічної схеми, адаптованої для підвищення безпеки передавання даних у блокчейн-мережах. Кінцевим завданням є створення моделі, що забезпечує високий рівень конфіденційності, цілісності та автентичності інформації, долаючи притаманні блокчейну обмеження прозорості. Актуальність дослідження зумовлена стрімким впровадженням блокчейн-технологій у сфери, що вимагають не лише цілісності, але й суворої конфіденційності даних. Виникла фундаментальна суперечність, яку можна назвати «парадоксом безпеки блокчейну». З одного боку, технологія блокчейн за своєю суттю є безпечною, оскільки криптографічно гарантує цілісність (захист від зміни даних) та незмінність (impenetrability) записів у розподіленому реєстрі. З іншого боку, класичні публічні блокчейни (як Bitcoin або Ethereum) є прозорими за дизайном. Будь-який учасник мережі може переглянути вміст транзакцій, що унеможлиблює роботу з чутливою або комерційною інформацією. Таким чином, блокчейн сам по собі не забезпечує повноцінної

конфіденційності. Це створює низку критичних вразливостей, які дослідження має вирішити:

- вразливість каналів передачі, дані, що передаються між вузлами мережі або між користувачем та вузлом (наприклад, при надсиланні транзакції), можуть бути перехоплені;
- атаки типу «людина посередині» (MITM), зловмисник може втрутитися у передавання даних, прочитати або навіть модифікувати їх до моменту включення у блок;
- загрози для Off-Chain даних, у багатьох сучасних децентралізованих застосунках (DApps) лише хеш або підтвердження зберігається в блокчейні (on-chain), тоді як основний обсяг даних (документи, метадані) зберігається поза мережею (off-chain), наприклад, в IPFS або інших сховищах, ці дані також потребують надійного шифрування;
- перехоплення приватної інформації, конфіденційні дані можуть бути перехоплені у процесі створення, підписання чи передачі транзакцій.

Для вирішення цих проблем необхідні додаткові криптографічні засоби. Проте існуючі стандартні підходи мають суттєві обмеження в контексті децентралізованих систем: симетричне шифрування (напр., AES); асиметричне шифрування (напр., RSA, ECC). *Постановка задачі дослідження* полягає у розробці та аналізі гібридної криптографічної моделі. Така модель поєднує переваги обох підходів. Основний обсяг даних (повідомлення, файл) шифрується за допомогою швидкого симетричного алгоритму (AES) з унікальним, випадково згенерованим сесійним ключем. Сам сесійний ключ AES шифрується за допомогою повільного, але надійного асиметричного алгоритму (ECC), використовуючи публічний ключ одержувача. Зашифровані дані та зашифрований сесійний ключ безпечно передаються одержувачу. Такий підхід дозволяє досягти як високої продуктивності, так і безпечного обміну ключами у децентралізованому середовищі. Для досягнення поставленої мети дослідження було поділено на

три основні етапи, що охоплюють теоретичний аналіз, практичне моделювання та експериментальну оцінку.

1. Теоретичний аналіз предметної області (обсяг 1): огляд стану безпеки; порівняльний аналіз алгоритмів; детальний порівняльний аналіз основних криптографічних методів; проаналізовано його переваги та режими роботи; досліджено класичний асиметричний підхід та його недоліки (великі ключі, низька продуктивність); виявлено переваги ECC над RSA, зокрема значно менший розмір ключів при еквівалентному рівні безпеки (напр., 256-біт ECC $\approx$ 3072-біт RSA); досліджено актуальні задачі та напрямки розвитку гібридної криптографії, включаючи інтеграцію з постквантовими алгоритмами (PQC) та вбудовування криптографії у смарт-контракти.

2. Практичне моделювання та обґрунтування вибору (обсяг 2): на основі аналізу загроз визначено детальні функціональні та нефункціональні вимоги до захищеної системи, включаючи конфіденційність, цілісність, захищений обмін ключами, високу продуктивність та сумісність з блокчейн-архітектурою; обґрунтування вибору алгоритмів: для реалізації гібридної моделі було обґрунтовано вибір конкретних стандартів; обґрунтування вибору інструментів: для програмної реалізації та моделювання було обрано бібліотеку PyCryptodome для мови Python.

3. Розробка та експериментальна оцінка (обсяг 3): розроблено загальну архітектуру гібридної криптографічної системи; проведено аналіз інтеграції з блокчейн; досліджено практичні сценарії інтеграції розробленої моделі з блокчейн-середовищем; обґрунтовано доцільність моделі захисту "off-chain" даних; проведено експериментальне тестування продуктивності розробленого прототипу; результати підтвердили, що симетричні операції (шифрування/дешифрування даних) є надзвичайно швидкими (близько 1.1-1.2 мс), тоді як асиметричні (генерація ключів) є більш тривалими (4.3 мс), це доводить, що гібридна модель є високоефективною, оскільки «важкі» асиметричні операції виконуються рідко, а «швидкі» симетричні – для основного обсягу даних.

У ході роботи було проведено комплексне дослідження гібридних методів шифрування та їх застосування для забезпечення захисту інформації у блокчейн-середовищах. На основі теоретичного аналізу встановлено, що поширена думка про "повну" безпеку блокчейну є хибною: технологія гарантує цілісність та незмінність, але не конфіденційність даних. Підтверджено, що гібридна криптографія, яка поєднує сильні сторони обох підходів — високу швидкодію симетричних алгоритмів (зокрема AES) та безпечну передачу ключів асиметричних алгоритмів (зокрема ECC) — є оптимальним рішенням для досягнення балансу між продуктивністю та безпекою в децентралізованих мережах. У практичній частині проаналізовано інструментальні засоби реалізації. Змодельовано сценарії шифрування, обміну ключами та перевірки цілісності повідомлень. Результати кількісних тестів показали, що обрана криптографічна модель дуже ефективна. Вимірювали час виконання різних операцій, і виявилось, що найбільш трудомісткі асиметричні операції (наприклад, генерація ключів ECC або обчислення секрета ECDH) виконуються не часто, тоді як основні операції шифрування та дешифрування даних за допомогою AES-GCM виявилися дуже швидкими (близько 1,1–1,2 мс). Це означає, що запропонована гібридна модель не впливає сильно на швидкість і підходить для великих систем та DApps. Сформовано практичні способи інтеграції моделі з блокчейн-архітектурою. Отримані результати можуть бути основою для розробки реальних модулів та рішень у сфері безпечного передавання даних у системах Web3.

Література:

1. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2015. 28 с.
2. ДСТУ 3582:2013. Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ) / Нац. стандарт України. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 18 с.

УДК 657:330.3:005.342

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ФІНАНСОВИМИ РИЗИКАМИ

Скорін Юрій, Лукіянчук Софія

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця

Фінансові ризики (ФР) є невід'ємною частиною роботи будь-якого бізнесу чи фінансової організації, і ефективне їхнє управління є важливим для забезпечення стабільності та отримання прибутку. Основні класифікації фінансових ризиків включають: ринкові ризики, пов'язані з коливаннями цін на активи, процентних ставок або обмінних курсів; кредитні ризики, що виникають у разі неплатоспроможності контрагентів; операційні ризики, що зумовлені внутрішніми збоями, помилками або шахрайством; ризики ліквідності, пов'язані з неможливістю швидко продати активи без значних втрат; юридичні та репутаційні ризики, що виникають через недотримання нормативних вимог або негативну оцінку діяльності партнерами та клієнтами. Системний підхід до класифікації ФР дозволяє ефективніше виявляти потенційні загрози та розробляти адаптивні стратегії їх нейтралізації. ФР – це складне явище, яке охоплює різні види та джерела невизначеності, а їх управління вимагає використання комплексних підходів, включаючи використання сучасних АСУ та технологій штучного інтелекту для підвищення якості аналізу та прогнозування факторів ризику. Управління фінансовим ризиком є важливим аспектом роботи банків, фінансових установ та корпорацій. Основна задача управління фінансовим ризиком полягає в тому, щоб учасники змогли вчасно виявити, оцінити та мінімізувати можливі загрози, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо збереження капіталу та забезпечення фінансової стабільності. Автоматизовані системи управління фінансовим ризиком використовують різні інструменти та технології, включаючи методи статистичного аналізу, моделювання та сучасні інтелектуальні підходи. Метою моделювання є

класифікація клієнтів на дві групи: платоспроможних та потенційно проблемних, на основі їх історичних фінансових показників. Для цього використовується відкритий набір даних з платформи Kaggle, який містить змінні, що описують профіль клієнта, наприклад, вік, дохід, кількість відкритих кредитів, історія погашення боргу та наявність прострочень [8]. Після завантаження даних проведено попередню обробку: очищення дублікатів, виключення відсутніх значень, перетворення категоріальних змінних у числові (one-hot coding), а також нормалізація числових ознак. Проведено візуальний аналіз даних для виявлення аномалій та розподілу за класами. Кореляційний аналіз дозволив встановити найбільш впливові змінні для моделювання, наприклад, історію прострочень та коефіцієнт заборгованості. Сформовано навчальну вибірку, придатну для подальшого використання в машинному навчанні [9]. Реалізовано практичний кейс побудови моделі прогнозування кредитного ризику клієнтів банку. Створена інтелектуальна система класифікації, здатна визначити, чи зможе клієнт своєчасно обслуговувати кредит у майбутньому. Така система дозволяє банку зменшити ймовірність збитків через неповернення кредитів, підвищити ефективність управління ризиками та приймати обґрунтовані кредитні рішення. Для моделювання використано відкритий набір даних з платформи Kaggle – Home Credit Default Risk, який містить понад 300 000 записів клієнтів з різними характеристиками, такими як вік, рівень доходу, кількість утриманців, кредитна історія, тип житла, зайнятість тощо. Очищення та перетворення даних. Видалено значну кількість відсутніх значень у категоріях, де доповнення недоречне. Числові ознаки були нормалізовані за допомогою міні-макс шкали. Категоріальні змінні закодовані методом one-hot encoding для сумісності з алгоритмами машинного навчання. Балансування вибірки проведено за допомогою методу SMOTE для усунення дисбалансу між класами. У табл. 4 описано основні змінні, обрані для побудови моделі. Для порівняння було створено дві моделі: Random Forest Classifier (RFC), як базову та штучну НМ (ANN), на

базі TensorFlow/Keras (TFK). RFS забезпечує інтерпретованість, тоді як НМ здатна глибше виявляти нелінійні залежності у даних. RFC забезпечує інтерпретацію, тоді як нейронна мережа здатна глибше виявляти нелінійні залежності в даних. Обидві моделі навчаються на 80% даних, 20% зарезервовано для тестової вибірки. Для НМ використовувалася архітектура з трьома прихованими шарами, активацією ReLU та вихідним шаром з функцією softmax. Як оптимізатор використовувався Adam. Для запобігання перенавчанню використовується Dropout. Після навчання моделі було проведено порівняльний аналіз результатів за ключовими метриками: точність, повнота, баланс F1. Модель RFS показала найвищу точність та бал F1, демонструючи хороший баланс між повнотою та точністю. НМ також показала високу продуктивність, дещо поступаючись дереву рішень. Це показує потенціал використання моделей ШІ для ефективного виявлення ФР на основі історичних даних клієнтів. Для покращення інтерпретації моделі були застосовані методи Shapley Additive Explanations (SHAP). SHAP-аналіз показав, що ключовими факторами були дохід клієнта, вік та стаж роботи. Після навчання НМ-моделі класифікації кредитного ризику клієнта важливим кроком є інтерпретація її результатів. Одним з найефективніших підходів до інтерпретації є використання SHAP (адитивних пояснень SHapley). Для поглибленого аналізу також було використано матрицю помилок (матрицю плутанини), яка показала, що модель має високу чутливість до ідентифікації ризикованих клієнтів, тобто більшість потенційно небезпечних програм були ідентифіковані правильно. На основі цієї таблиці можна розрахувати ключові показники: точність 84,8%; повнота 79,1%; F1-показник: 74,4%. Ці значення свідчать про досить високу якість моделі, особливо враховуючи, що в завданнях управління ризиками важливіше мінімізувати хибнонегативні результати (тобто не пропустити ризикованого клієнта). Крім того, ROC-крива, показана на рис. 1, демонструє зв'язок між чутливістю та специфічністю моделі. Площа під кривою (AUC) становила 0,89, що вказує на високу дискримінаційну здатність моделі. На

рис. 1 показано узагальнений зведений графік SHAP, який зображує 10 головних ознак, які найбільше впливають на результати моделі. Червоні крапки вказують на високі значення ознаки, сині крапки – на низькі значення. Отже, використання SHAP-аналізу, матриці помилок та ROC-кривої дозволяє не лише оцінити точність моделі, але й зробити її прозорою для фінансових аналітиків та регуляторів.

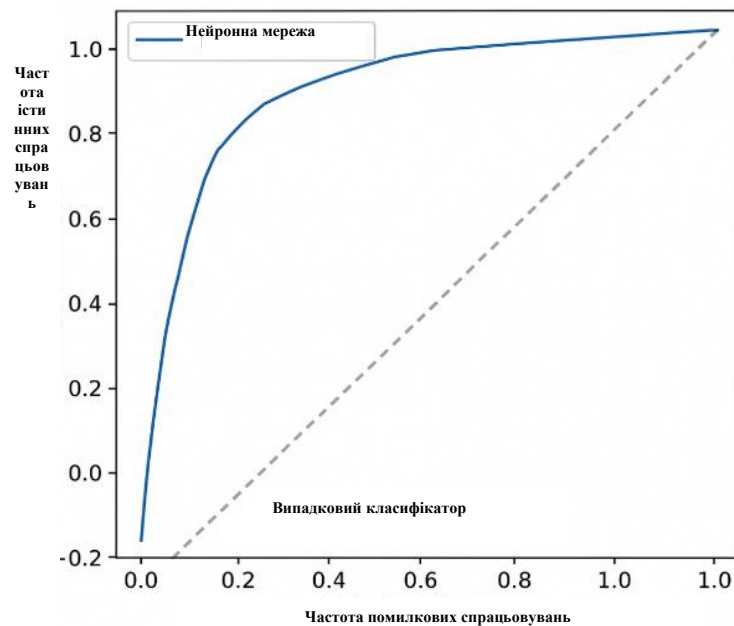


Рисунок 1 – ROC-крива нейронної мережі

У процесі дослідження проаналізовано можливості, переваги та проблеми використання ШІ в АСУ ФР; проведений аналіз теоретичних основ, класифікації ФР, технічних особливостей впровадження інтелектуальних систем; практичне моделювання на прикладі прогнозування кредитних ФР; розглянуто загальні підходи до управління ФР, визначено їх особливості в сучасних економічних умовах; проаналізовано основні принципи побудови АСУ ФР та обґрунтовано доцільність впровадження інтелектуальних методів у фінансову аналітику; проведено дослідження сучасних методів ШІ для аналізу та прогнозування ФР; розглянуто особливості моделей глибокого навчання, дерев рішень, ансамблевих методів, критерії оцінки їхньої ефективності; розглянуті питання інтерпретації моделей для впровадження ШІ в практику управління ФР;

реалізовано практичний кейс для побудови моделі прогнозування кредитного ФР клієнта банку; оброблено реальні дані, побудовано та протестовано кілька моделей, оцінено точність за допомогою метрик; проведено аналіз важливості ознак за допомогою SHAP-графів та обґрунтовано архітектуру системи, яка може бути використана для інтеграції такої моделі в практичну АСУ. Загалом, результати роботи підтверджують високу ефективність використання методів ШІ для автоматизованого аналізу та прогнозування ФР. Такі моделі можуть не лише підвищити точність ідентифікації ризиків, але й забезпечити ефективність прийняття рішень у фінансових установах.

Література:

1. Азарова А.О., Юрчук Н. П., Нікіфорова Л. О., Шиян А.А.. Інформаційні системи і технології: частина 2: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2024. 160 с. DOI: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Azarova_P2_-2024_160.pdf
2. Шевченко А. М., Чакалов А. К. Фінансові та правові ризики для розвитку бізнесу в умовах цифровізації та роль механізму управління економічною безпекою підприємства у протидії їм. Трансформаційна економіка. 2025. №2(11). С. 128–133. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2025-11-21>
3. Житар М.О., Ананьєва Ю.В. Методологічна система формування стратегій управління фінансовими ризиками в умовах глобалізації економіки. Економіка: фінанси, грошовий обіг і кредит. Бізнесінформ. 2025. № 1. С. 229–240. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-1-229-240>
4. Чорновол А.О. Гончарук Я.М., Хелемендик Є.І., Кисилиця С.О. Використання штучного інтелекту в управлінні фінансовими ризиками банків і страхових компаній. Актуальні питання економічних наук. 2025. № 8. 17 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14887306>
5. Бабенко-Левада Вікторія Геннадіївна, Чикалюк Микола Миколайович, Ковернінська Юлія Вікторівна. Вплив штучного інтелекту на інновації у фінансовому секторі України у 2024 році. Фінанси. 2025. 16 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13992645>

УДК 621.317

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ КОРИСТУВАЧІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Скорін Юрій, Петренко Богдан

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця

У цифрову епоху взаємодія користувачів з продуктами та послугами призвела до величезного числа відгуків та коментарів. Компанії, як малі стартапи, так і великі корпорації, щодня отримують сотні, навіть тисячі текстових відгуків через різні канали — електронну пошту, соціальні мережі, спеціалізовані платформи та внутрішні системи зворотного зв'язку. У цих неструктурованих даних приховано найважливішу інформацію про задоволеність клієнтів, їхні потреби та очікування. За даними досліджень, більше 90% керівників компаній вважають аналіз відгуків користувачів важливим для прийняття стратегічних рішень, але лише приблизно 30% організацій мають системи, які дозволяють ефективно обробляти та аналізувати ці дані. Традиційний ручний аналіз відгуків давно втратив актуальність для сучасного бізнесу. Перегляд тисяч коментарів потребує багато часу та людини, тому цей процес відкриття дуже дорогим. Крім цього, особистість людини часто призводить до того, що різні особи можуть розуміти однакові думки по-різному. Даже найкращі аналітики не можуть швидко обробляти такі великі обсяги даних, щоб компанії могли швидко відповісти на зміни в настроях покупців. Обробка природної мови (NLP) допомагає у цьому, використовуючи алгоритми, які автоматично аналізують зміст тексту, визначають його ставлення та вирізують основні теми з великих наборів даних. З розвитком технологій машинного навчання та глибоких нейронних мереж сучасні системи NLP стають все точнішими в розумінні контексту та тонкощів мовлення. Нещодавні досягнення в NLP, включаючи розробку моделей-трансформерів, таких як BERT, GPT та RoBERTa, значно

розширили можливості обробки природної мови. Ці моделі здатні розуміти контекст слів у реченні, враховувати полісемію та ідіоматичні вирази, а також успішно обробляти тексти різними мовами. Їх застосування до аналізу відгуків користувачів відкриває нові горизонти для розуміння потреб клієнтів та покращення продуктів і послуг [1, 4]. Впровадження автоматизованого аналізу відгуків користувачів за допомогою NLP не тільки значно скорочує час та ресурси, але й забезпечує глибші аналітичні результати. NLP-системи здатні виявляти приховані тенденції та закономірності, недоступні під час ручного аналізу, а також забезпечують масштабованість рішення відповідно до зростання обсягів даних.

Актуальність теми дослідження полягає в тому, що бізнес постійно потребує ефективних інструментів для аналізу великих обсягів текстової інформації. Такі інструменти мають допомогти витягувати корисні висновки із відгуків клієнтів та перетворювати їх на реальні поради для покращення товарів та послуг. Особливу важливість ця тема має для електронної комерції, сфери послуг та розробки програмного забезпечення, оскільки якість та швидкість реакції на відгуки впливають на здатність компаній змагатися на ринку.

Основні завдання включають вивчення сучасних підходів до обробки природної мови, аналіз алгоритмів класифікації тексту та аналізу настроїв, а також розробку та оцінку ефективності системи автоматизованого аналізу відгуків користувачів. У статті розглядаються теоретичні аспекти обробки природної мови, досліджуються різні моделі та алгоритми аналізу відповідей, експериментально оцінюється їх ефективність на реальних даних.

Методологічною основою дослідження є методи машинного навчання, глибокі нейронні мережі, статистичні методи аналізу тексту та методи оцінки якості моделей машинного навчання. В експериментальній частині роботи використовується мова програмування Python та бібліотеки обробки природної мови, такі як NLTK, spaCy, Transformers та TensorFlow. Результати дослідження можуть бути використані для розробки програмних рішень, які

дозволять компаніям краще розуміти потреби своїх клієнтів, швидко реагувати на проблеми та покращувати якість своїх продуктів і послуг.

Практичне значення роботи полягає в можливості впровадження розроблених методів і моделей у бізнес-процеси організацій різного масштабу для покращення взаємодії з клієнтами та підвищення їхньої лояльності. У сучасному цифровому світі аналіз відгуків користувачів став критичним елементом для будь-якого бізнесу, який прагне довести якість своїх продуктів і послуг. Однак масштабність і неструктурований характер цих даних створюють значні труднощі для традиційного аналізу. Основною проблемою, що розглядається в цьому дослідженні, є неефективність та обмеження ручного аналізу великих обсягів текстових відгуків користувачів. Ця проблема має кілька важливих аспектів: експоненціальне зростання обсягів даних; суб'єктивність та непослідовний аналіз; витрати критичного часу; обмежена здатність виявляти приховані закономірності; зростання складності багатомовного аналізу; відсутність стандартизації та суб'єктивність оцінок; зростання вартості аналітики відгуків.

Метою дослідження є розроблення та оцінювання ефективності комплексної системи автоматизованого аналізу відгуків користувачів на основі сучасних методів обробки природної мови, яка забезпечить високу точність визначення тону, ключових аспектів та тем, можливість роботи зі відгуками різними мовами та ефективну інтеграцію в бізнес-процеси організацій різного масштабу.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі конкретні завдання: розроблення ефективних методів попередньої обробки відгуків користувачів; дослідження та порівняльний аналіз сучасних моделей класифікації тону відповідей; розроблення методу аспектно-орієнтованого аналізу тональності для різних областей; створення ефективних методів визначення тем та ключових аспектів у корпусах відповідей; розробка підходу до багатомовного аналізу відгуків; створення методів інтерпретації та візуалізації результатів аналізу зворотного зв'язку; розроблення та

оцінювання комплексної автоматизованої системи аналізу зворотного зв'язку; експериментальна оцінка ефективності розроблених методів на реальних даних. Останні два пункти саме й визначають *новизну* проведених досліджень.

Для вирішення поставлених завдань буде використано комплексний методологічний підхід, що поєднує машинне навчання, глибоке навчання, обробку природної мови та аналіз даних. Дослідження буде проведено в кілька етапів: аналітичний етап; етап проектування та розробки; експериментальний етап; аналітично-узагальнювальний етап.

У ході дослідження здійснено повний аналіз проблем та сучасних методів автоматизації аналізу відгуків користувачів. Підготовлено теоретичні та методичні засади використання NLP для аналізу текстів, зокрема комплексний підхід до попередньої обробки даних з урахуванням особливостей користувацьких текстів — емотиконів, сленгу та помилок. Вірна попередня обробка тексту дозволяє збільшити якість аналізу на 8–15%. Створено набір моделей різного рівня складності для різних випадків використання. Надано повну методику оцінки ефективності NLP-моделей, яка враховує не лише показники точності (F1-score, precision, recall), але й обчислювальну ефективність (час навчання, швидкість аналізу, використання пам'яті), статистичну достовірність результатів та стійкість до різних типів даних. Методичне забезпечення дослідження включає сучасний технологічний стек на базі Python 3.10+ з використанням спеціалізованих бібліотек NLTK, spaCy, Hugging Face Transformers, PyTorch, TensorFlow. Систематичний підхід до організації експериментів через Weights & Biases, Jupyter Notebooks та Docker забезпечує відтворюваність результатів та ефективну ітерацію при розробці моделей. Практична цінність результатів дослідження полягає у можливості їх безпосереднього застосування для створення систем автоматизованого аналізу відгуків у різних галузях: електронній комерції, сервісних компаніях, розробці програмного забезпечення, маркетингу та аналітиці. Впровадження розроблених рішень

дозволяє скоротити час аналізу в 120-150 разів порівняно з ручною обробкою, забезпечити об'єктивність результатів та виявляти на 45% більше потенційно критичних проблем. Рекомендації, які було розроблено, допомагають компаніям вибирати найкращі моделі під конкретні ситуації бізнесу. Це дозволяє підприємствам різних розмірів створювати ефективні системи аналізу відгуків, враховуючи доступні ресурси та вимоги до точності. На наступному етапі планують перевірити розроблені методи на реальних даних та створити приклади, як застосовувати отримані результати у роботі організацій.

Література:

1. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python: Analyzing Text with the Natural Language Toolkit. O'Reilly Media, 2019. 504 p.
2. Goldberg Y. Neural Network Methods for Natural Language Processing. Synthesis Lectures on Human Language Technologies. 2017. Vol. 10, №. 1. P. 1–309.
3. Jurafsky D., Martin J. H. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. 3rd ed. draft. Pearson, 2023. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>
4. Acheampong F. A., Wenyu C., Nunoo-Mensah H. Text-based emotion detection: Advances, challenges, and opportunities. Engineering Reports. 2020. Vol. 2, No. 7. e12189.
5. Chen Z., Qian T. Transfer Capsule Network for Aspect Level Sentiment Classification. Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2019. P. 547–556.

УДК 621.317

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБСЯГОМ WORDPRESS З МЕТОЮ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Скорін Юрій, Симонович Станіслав

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця

Цифрова трансформація бізнес-середовища у 2025 році досягла такого рівня, коли автоматизація перестала бути варіантом для зростання конкурентоспроможності – вона стала основою для виживання. Сучасні підприємства стикаються з низкою викликів, пов'язаних із управлінням контентом, обробкою замовлень, комунікацією з клієнтами та інтеграцією різнорідних систем. Традиційні підходи до керування цими процесами вимагають значних людських ресурсів та часових витрат. Дослідження в галузі бізнес-автоматизації демонструють, що ручна обробка замовлень призводить до помилок у 22% випадків, тоді як автоматизовані системи знижують цей показник до 3%. Крім того, 18% потенційних клієнтів очікують відповіді від бренду протягом хвилини навіть у неробочий час, що фізично неможливо забезпечити без автоматизації.

У контексті вибору платформи для автоматизації бізнес-процесів WordPress займає унікальну позицію. Станом на травень 2025 року WordPress керує 810 мільйонами веб-сайтів, що становить 43,6% усіх сайтів у світі та 65,2% ринку CMS.

Актуальність дослідження зумовлена декількома чинниками. По-перше, зростаючою потребою середнього та малого бізнесу в доступних рішеннях для автоматизації, які не вимагають значних інвестицій у дорогі ERP та BPMS-системи. По-друге, відсутністю комплексних методик застосування WordPress саме як платформи для автоматизації бізнес-процесів, а не лише як інструменту для публікації контенту. По-третє, стрімким розвитком low-code та no-code підходів, що робить автоматизацію доступною для бізнес-користувачів без глибоких технічних знань. По-

четверте, критичною необхідністю для українського бізнесу адаптуватися до викликів 2025 року через цифрову стійкість та оптимізацію ресурсів.

Метою роботи є підвищення ефективності бізнес-процесів організацій через розроблення та експериментальну апробацію методики застосування WordPress як платформи для автоматизації, що забезпечить скорочення часу виконання рутинних операцій, зменшення кількості помилок та покращення якості обслуговування клієнтів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*: провести аналіз проблематики автоматизації бізнес-процесів та обґрунтувати доцільність використання WordPress як платформи для реалізації автоматизованих рішень; здійснити порівняльний аналіз підходів до автоматизації бізнес-процесів та платформ їх реалізації, виявивши переваги і обмеження WordPress у контексті різних сценаріїв застосування; розробити теоретичні та методичні основи побудови автоматизованих рішень у середовищі WordPress, включаючи моделювання бізнес-процесів, проєктування архітектури та алгоритми реалізації воркфлоу; спроектувати та реалізувати прототип системи автоматизації для конкретного кейсу з використанням можливостей WordPress; провести експериментальні дослідження розробленого рішення з оцінюванням ключових метрик ефективності; виконати порівняльний аналіз результатів та оцінити економічну доцільність запропонованого підходу.

Наукова новизна дослідження полягає у наступному: удосконалено методику моделювання бізнес-процесів у середовищі WordPress, що відрізняється від наявних врахуванням специфіки кастомних типів записів і таксономій для представлення бізнес-сутностей, що дозволяє підвищити гнучкість системи на 20–25%; набуло подальшого розвитку застосування REST API WordPress для інтеграції з зовнішніми системами через розроблення підходу до проєктування endpoints з урахуванням безпеки та продуктивності, що забезпечує пропускну здатність до 1200 запитів на хвилину; запропоновано комплексну методику оцінювання придатності

WordPress для автоматизації конкретних бізнес-процесів, що враховує технічні обмеження платформи, вимоги до масштабованості та характеристики предметної області.

Наукова задача полягає у розробленні та експериментальній апробації методики застосування WordPress як платформи для автоматизації веб-орієнтованих бізнес-процесів малого та середнього масштабу, що забезпечить ефективне моделювання процесів через нативні можливості CMS, реалізацію складних воркфлоу з використанням екосистеми плагінів, надійну інтеграцію з зовнішніми системами через REST API та webhooks, а також дозволить знизити вартість впровадження автоматизації на 30-40% порівняно з традиційними BPMS-рішеннями при збереженні прийнятного рівня функціональності та масштабованості [1; 3].

У ході виконання дослідження проведено комплексний аналіз проблематики автоматизації бізнес-процесів. Встановлено критичні обмеження ручного виконання процесів – рівень помилок сягає 22% проти 3% в автоматизованих системах, пропускна здатність нижча у 125 разів, середні витрати для середньої компанії досягли 350-400 тисяч доларів щорічно.

Систематизовано сучасні підходи до автоматизації: BPM/BPMS забезпечують найвищу потужність при вартості впровадження понад 100 тисяч доларів; RPA ефективний для рутинних завдань із циклом впровадження 2-6 тижнів; low-code/no-code демонструє найшвидше зростання з прогнозом 50 мільярдів доларів до 2028 року.

Виконано порівняльний аналіз шести провідних CMS, який виявив оптимальний баланс характеристик WordPress – низьку вартість впровадження від 500 до 5000 доларів, відсутність ліцензійних платежів та потужний REST API для інтеграцій.

Сформульовано наукову задачу розроблення методики застосування WordPress для автоматизації зі зниженням вартості впровадження на 30-40% порівняно з традиційними BPMS-рішеннями.

Розроблено методику моделювання процесів через BPMN 2.0 з відображенням елементів нотації на структури платформи – кастомні типи записів, таксономії, метадані. Створено концептуальну модель даних з вісьмома основними сутностями та їх повне відображення на нативні механізми WordPress.

Спроектовано архітектуру рішення на базі плагіна з модульною структурою, трьома типами записів для процесів, екземплярів виконання та завдань, п'ятьма таксономіями для управління станами та чотирма спеціалізованими ролями з гранульованим контролем доступу.

Розроблено алгоритми автоматизації: систему тригерів на основі WordPress hooks п'яти типів, Workflow Engine з дев'ятьма кроками виконання за принципом state machine, механізм черг через Action Scheduler та багатоканальну систему нотифікацій через email, in-app повідомлення, push, SMS та webhooks. Результати дослідження підтверджують можливість ефективної автоматизації бізнес-процесів на платформі WordPress.

Реалізовані механізми інтеграції через REST API забезпечують пропускну здатність до 1200 запитів на хвилину з підтримкою трьох методів автентифікації та захистом від зловживань через rate limiting. Система webhooks дозволяє реалізувати event-driven архітектуру з затримкою менше п'яти секунд для двостороннього обміну даними з CRM, ERP та платіжними системами. Впроваджена триступенева стратегія тестування з покриттям критичної логіки на 85-90% та комплексні механізми безпеки через санітизацію даних, once-токени, перевірку прав доступу забезпечують надійність системи. П'ятирівнева архітектура кешування зменшує навантаження на базу даних на 75-85% та прискорює відгук системи з 450-550 мілісекунд до 45-85 мілісекунд, що підтверджено експериментальними вимірюваннями.

Розроблене методичне забезпечення включає триланкову архітектуру середовищ для послідовної валідації рішень від розробки до production, комплексний інструментарій з шістнадцяти компонентів та тестові сценарії

трьох рівнів складності. Метрики оцінювання класифіковані за чотирма категоріями: продуктивність з цільовими показниками 150-200 запитів на секунду та часом відгуку 200-400 мілісекунд; надійність з успішністю виконання процесів 98-99%; ефективність автоматизації зі скороченням часу обробки на 40-60% та зменшенням помилок до 3-5%; якість коду з покриттям тестами 80-85%. Статистична валідація через paired t-test гарантує значущість результатів при рівні p менше 0.05.

Практична цінність виконаної роботи полягає у створенні систематизованого підходу до застосування WordPress для автоматизації, що може бути адаптований для різних типів організацій. Розроблені методики моделювання процесів, архітектурні рішення та алгоритми виконання воркфлоу надають розробникам практичні паттерни реалізації. Запропоновані рішення дозволяють скоротити термін впровадження на 30-40% порівняно з традиційними фреймворками та знизити сукупну вартість володіння завдяки відкритому програмному забезпеченню.

Література:

1. Башкір О. Реалізація принципів академічної доброчесності в закладах вищої освіти України / О. Башкір // Освітологічний дискурс. – 2021. – Вип. 2 (33). – С. 77–90.
2. Бізнес-процеси та їх моделювання : навч. посіб. / В. С. Пономаренко, С. В. Мінухін, С. В. Знахур, Д. Ю. Новіков. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2013. – 244 с.
3. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
4. ДСТУ 3582:2013. Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ). – Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. – 18 с.

5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 18 с.

УДК 004.42

ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОГРАМУВАННЯ: ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ, ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Філь Н.Ю.¹, Борисов Д.С.¹, Бархан Балнур²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій спостерігається тенденція до спеціалізації інструментів програмування. Одним із ключових напрямів цієї спеціалізації є предметно-орієнтоване програмування (Domain-Specific Programming), яке ґрунтується на створенні програмних засобів для розв'язання завдань у чітко визначених предметних галузях [1].

При виборі інструментів для вирішення будь-якого завдання перед розробниками постає два варіанти: використовувати універсальний засіб або застосувати спеціалізовані засоби та інструменти. Загальні підходи та універсальні інструменти розраховані на вирішення численних типових завдань, і тому, як правило, вони не є оптимальними у випадку, якщо завдання, що стоїть перед розробниками, є нестандартним і має багато унікальних особливостей.

Предметно-орієнтоване програмування передбачає розроблення програмного забезпечення засобами предметно-орієнтованих мов програмування (Domain-Specific Languages, DSL), що характеризуються спеціалізованим синтаксисом та семантикою, оптимізованими для конкретної сфери застосування [2].

На відміну від мов загального призначення (таких як C++, Python або Java), DSL-мови не мають універсального характеру, а розробляються для вирішення вузького кола завдань. Основним принципом цього підходу є фокусування на одній предметній області, що забезпечує максимальну ефективність розв'язання поставлених задач у межах конкретного домену [3].

З такими мовами ми зустрічаємося практично щодня: SQL, shell-скрипти, мови опису користувацького інтерфейсу – це все приклади предметно-орієнтованих мов, оскільки вони створювалися для вирішення певних завдань у деякій конкретній предметній області [1].

Створення спеціалізованих мов стало загальновизнаним потужним методом абстракції. Цей підхід дозволив відображати рішення задач у термінах предметної області, фіксувати в мові знання про область способом, який допускає повторне використання, валідацію та оптимізацію на більш високому рівні, спрощує використання мови людьми, які не є фахівцями в галузі інформатики та обчислювальної техніки.

Ще однією помітною областю є застосування DSL для вирішення завдань програмування великого масштабу. В області розробки програмного забезпечення на основі моделей отримали розвиток DSL з графічною нотацією, прийоми трансформації коду, а також DSL опису елементів програмної архітектури. Відносно новий напрямок архітектури програмного забезпечення починає набувати формальної основи, в тому числі та завдяки застосуванню DSL. Нарешті, динамічні мови породили нову хвилю інтересу до мов програмування в цілому і до DSL зокрема. На відміну від 1990-х рр., коли поширених мов загального призначення було менше п'яти, на даний момент широко використовуються близько десяти мов, а сучасні проєкти все частіше ведуться з використанням цілого набору мов, що використовуються для ефективного вирішення завдань у предметних областях проєкту.

У практиці розроблення виділяють низку напрямів застосування DSL-мов, кожен із яких відповідає певній предметній галузі (таблиця 1).

До предметно-орієнтованих мов також належать внутрішні скриптові мови великих корпоративних систем, наприклад ABAP у середовищі SAP [4].

Підходи до створення DSL продовжують застосовуватися в нових предметних областях. Однією з найбільш помітних є область веб-програмування та мови на основі XML, розширюваної мови розмітки тексту. За останні десять років було створено велику кількість таких мов для

розмітки та обробки тексту, математичних формул, зберігання та обміну даними між додатками.

Таблиця 1. Приклади застосування предметно-орієнтованих мов програмування

№	Галузь застосування	Мова програмування	Призначення
1	Десктопне верстання	TeX, LaTeX	Підготовка наукових і технічних текстів
2	Обробка текстів	Perl	Маніпулювання текстовими даними
3	Проектування апаратного забезпечення	Verilog, VHDL	Опис цифрових схем
4	Символьні обчислення	Mathematica, Maple	Аналітичні обчислення
5	Комп'ютерне моделювання	AutoLisp	Автоматизація моделювання
6	Логічне програмування	Prolog	Реалізація обчислень предикатів
7	Керування операційними системами	JCL	Автоматизація командних процедур
8	Структурування даних	XML	Обмін ієрархічними даними
9	Моделювання систем	UML, GPSS	Побудова моделей та макетів систем

Використання DSL-мов має низку переваг. Висока ефективність у межах конкретної галузі завдяки адаптованому синтаксису та семантиці [5]. Зменшення складності програмування у порівнянні з універсальними мовами, що позитивно впливає на швидкість розробки. Невисока

конкуренція серед фахівців, що обумовлює підвищений попит і рівень заробітної плати. Можливість глибокої професійної спеціалізації, орієнтованої на конкретну індустрію або предметну галузь.

Попри зазначені переваги, предметно-орієнтоване програмування має і низку недоліків. Вузька сфера застосування обмежує мобільність фахівців і ускладнює перехід у суміжні галузі програмування [6]. Низька поширеність окремих DSL-мов зумовлює відсутність активних спільнот і труднощі з отриманням технічної підтримки. Обмежені навчальні ресурси, через що розробники часто змушені працювати лише з офіційною документацією. Ризик застарівання мови, оскільки багато DSL створюються для конкретних корпоративних або дослідницьких проєктів.

Предметно-орієнтоване програмування є важливою складовою сучасної індустрії програмування, що дозволяє підвищити ефективність розробки в окремих спеціалізованих сферах. DSL-мови стають потужним інструментом для автоматизації, моделювання та формалізації предметних знань. Водночас, вузькість їхнього застосування потребує від фахівців чіткої орієнтації на обрану галузь і постійного оновлення професійних компетенцій.

Література:

1. Fowler M. Domain-Specific Languages. Addison-Wesley, 2010.
2. Spinellis D. Notable Design Patterns for Domain-Specific Languages. Journal of Systems and Software, 2013.
3. Mernik M., Heering J., Sloane A. M. When and How to Develop Domain-Specific Languages. ACM Computing Surveys, 2005.
4. SAP SE. ABAP Programming Model for SAP Fiori. SAP Press, 2018.
5. Deursen A. van, Klint P. Domain-Specific Language Design Requires Feature Descriptions. Journal of Computing and Information Technology, 1998.
6. Kosar T., Mernik M., Carver J. C. Program Comprehension of Domain-Specific and General-Purpose Languages: Comparison Using a Family of Experiments. Empirical Software Engineering, 2016.

УДК 004.78

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ПРОТОКОЛІВ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Філь Н.Ю., Веприцький К.А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Інтернет речей (IoT) – це масштабні промислові рішення з жорсткими вимогами до протоколів, енергоспоживання та топології мереж. Згідно з оцінками Fortune Business Insights, глобальний ринок IoT зросте до 1,102 \$ трлн у 2026 році. Приблизно половина виручки припадає на таких гігантів в IoT, як Microsoft, Cisco, IBM, Bosch Software Innovations і Oracle [1].

Вибір протоколу для промислового IoT-рішення багато в чому залежить від його сфери застосування. В промисловості IoT застосовується для автоматизації виробничих процесів, залізничних станцій, транспортних терміналів. Потрібні більш серйозні вимоги до безпеки промислових «розумних» систем, ніж споживчих. Збільшується кількість підключених пристроїв, яка може досягати декількох тисяч. Гарантована доставка даних стає обов'язковою, а для бездротових технологій це досить складне завдання. Перешкода на каналі вимагає пошуку рішення. Промислові системи повинні мати значний радіус дії.

Відомо, що 20-30% інженерних зусиль витрачаються на підтримку існуючих рішень. Таким чином, залишається менше ресурсів на розробку інновацій та розвиток бізнесу. Потрібно знайти спосіб зменшити обсяг ресурсів, необхідний для підтримки прийняття рішень щодо вибору протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей.

Розглянемо критерії вибору протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей (IIoT, Industrial Internet of Things) залежать від конкретних вимог виробничої системи, умов середовища, типу даних та вимог до надійності [2-3].

Перший критерій – дальність передачі сигналу. Розрізняють локальні мережі (до 100 м), наприклад Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee; середні відстані (до кількох км): WirelessHART, 6LoWPAN; великі відстані (кілька км – десятки км): LoRaWAN, NB-IoT, LTE-M, 5G. Вибір залежить від площі підприємства і кількості вузлів у мережі [2-3].

Другий критерій – енергоспоживання. Для пристроїв на батареях (сенсори, лічильники) важливо мінімальне споживання енергії, наприклад LoRaWAN, Zigbee, Bluetooth Low Energy, NB-IoT. Для пристроїв із постійним живленням (контролери, шлюзи) можна використовувати більш енергоємні технології, наприклад Wi-Fi, 5G [2-3].

Третій критерій – затримка (latency) та швидкість передачі. Для систем реального часу або для критичних процесів потрібно <10 мс Б наприклад 5G URLLC, WirelessHART, Time-Sensitive Networking (TSN). Нерегулярні або малочастотні вимірювання: допустима затримка до секунд, наприклад LoRaWAN, NB-IoT. Висока пропускна здатність (відео, аналітика), наприклад Wi-Fi 6/7, 5G eMBB [2-3].

Четвертий критерій – надійність і безпека. Використовується шифрування, автентифікація, захист від втрати пакета.

Промислові стандарти безпеки: WPA3 (для Wi-Fi), AES-128/256 (для Zigbee, LoRaWAN), IPsec або TLS (для IP-протоколів). Для промислових цехів із великою кількістю металу або електромагнітних завад для підвищення стійкості до перешкод застосовується резервування каналів [2-3].

П'ятий критерій – масштабованість і топологія мережі. Для великої кількості сенсорів краще використовувати Mesh-мережі, наприклад Zigbee, WirelessHART. Для випадка коли багато вузлів на великій території використовуються стільникові технології, наприклад NB-IoT, LTE-M, 5G. Для випадка розподілених датчиків на великих площах використовується точка-багато точок, наприклад LoRaWAN [2-3].

Шостий критерій – вартість впровадження та обслуговування. Враховується вартість модулів, ліцензії на частоти, інфраструктура (базові

станції, шлюзи). LoRaWAN і Zigbee дешевші у впровадженні, ніж 5G або NB-IoT, але можуть мати нижчу продуктивність [2-3].

Сьомий критерій – стійкість до промислових умов. Так обладнання промислового інтернету речей при високій температурі, пилу, вібраціях. Необхідно враховувати наявність індустріальних модифікацій стандартів, наприклад, Industrial Wi-Fi, WirelessHART, ISA100.11a [2-3].

Восьмий критерій – сумісність і інтеграція з існуючими системами. Обрана технологія повинна підтримувати промислові протоколи, наприклад Modbus, OPC UA, MQTT, PROFINET тощо. Також необхідно враховувати можливість інтеграції з хмарними сервісами, наприклад AWS IoT, Azure IoT Hub [2-3].

Наявність різноманітних стандартів локального бездротового зв'язку робить ефективним впровадження технологій промислового інтернету речей для різних підприємств з унікальними параметрами та характеристиками, адже кожен випадок має власний набір труднощів для подолання. А врахування критеріїв при виборі протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей дозволить зробити правильний вибір і забезпечити економію в мільйони доларів.

Література:

1. Internet of Things (IoT) Market Size. [Он-лайн]. Доступно: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-things-iiot-market-100307>
2. Marcin Bajer. «IoT for Smart Buildings - Long Awaited Revolution or Lean Evolution». . FiCloud 2018 The IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud At: Barcelona, Spain, Spain August 2018.
3. Hamirahanim Abdul Rahmana, Jinsoo Park, Jihae Suh «Use of Software Agent Technology in Management Information System: A Literature Review and Classification» Asia Pacific Journal of Information Systems Vol. 29 No. 2019, pp. 65-82.

УДК 625.70

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ – МАЙБУТНЄ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Філь Н.Ю.¹, Коломієць І.О.¹, Мажит Мирас²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Майбутній розвиток транспортної інфраструктури неможливий без цифровізації та автоматизації. У найближчі роки дороги в містах і поза ними стануть значно безпечнішими завдяки впровадженню сенсорних систем і датчиків, які контролюватимуть швидкість транспорту, а також завдяки взаємодії автомобілів між собою під управлінням комп'ютерних систем, що обробляють величезні обсяги даних у реальному часі.

Розглянемо використання комп'ютерних технологій в проєктуванні «розумних» доріг.

Починаючи з етапу проєктування, у дорожньому будівництві активно використовуються комп'ютерні технології, зокрема 3D-моделювання. Процес створення навіть найпростішої автомобільної дороги охоплює низку складних операцій: геодезичні роботи, винесення проєкту на місцевість, виконання земляних робіт, укладання багат шарових покриттів, облаштування дренажних систем, прокладання комунікацій, встановлення дорожніх знаків і сенсорів.

Створення «розумної» інфраструктури є ще складнішим завданням, оскільки передбачає розгортання бездротових мереж і об'єднання численних цифрових систем в єдину екосистему. Для оптимізації процесів будівництва застосовують 3D-моделі у форматі DXF, які завантажуються в бортові комп'ютери дорожньої техніки. Система автоматично позиціонує машину та визначає параметри укладання покриття – його напрям, товщину шару й місце початку робіт.

Яскравим прикладом цифровізації будівництва є німецький проєкт QSBW 4.0 (Qualitätsstraßenbau Baden-Württemberg) – «Якісне дорожнє будівництво Баден-Вюртембергу». У ньому використовується система BPO Asphalt, що координує роботу всіх елементів будівельного майданчика: від асфальтозмішувальних установок до катків. Система Pave-IR забезпечує тепловий контроль покриття, скануючи ширину дороги понад 10 метрів, а програмне забезпечення PaveProjectManager автоматично формує звіти про якість робіт. Завдяки цьому оптимізуються виробничі процеси, підвищується ефективність і зменшується час виконання проєктів [1].

Одним із ключових аспектів є контроль якості дорожніх матеріалів. Кожен шар сучасного покриття має суворі технічні вимоги, тому його властивості перевіряють не лише під час укладання, а й під час транспортування. Для цього використовуються розумні сенсори, встановлені на вантажівках і бетономішалках, які відстежують стан гравію, бітуму, бетону тощо.

У дорожньому будівництві широко застосовують геосинтетичні матеріали – геотекстиль, геосітки, об'ємні георешітки. Вони відзначаються високою міцністю, хімічною стійкістю, довговічністю (до 100 років), термостійкістю та малою вагою [2]. Такі матеріали використовуються не лише в основі дороги, але й у системах освітлення, пішохідних переходах та елементах благоустрою.

Сьогодні на більшості українських доріг інтелектуальні системи майже не застосовуються, оскільки потребують оновлення всієї інфраструктури. Проте науковці з Університету Карнегі-Меллона запропонували альтернативне рішення – лазерну віброметрію, яка використовує звичайні дорожні знаки без потреби в модернізації. Система аналізує відбитий лазерний сигнал і визначає механічні коливання поверхні. Таке обладнання здатне виявляти громадський транспорт, рахувати автомобілі, визначати їх типи та контролювати заповненість паркувальних місць [3].

Система лазерної віброметрії складається з декількох апаратних компонентів: лазера, датчика відстані, фотодетектора, оптичної трубки з смуговим фільтром та платформи з поворотним двигуном (рис. 1) [4].

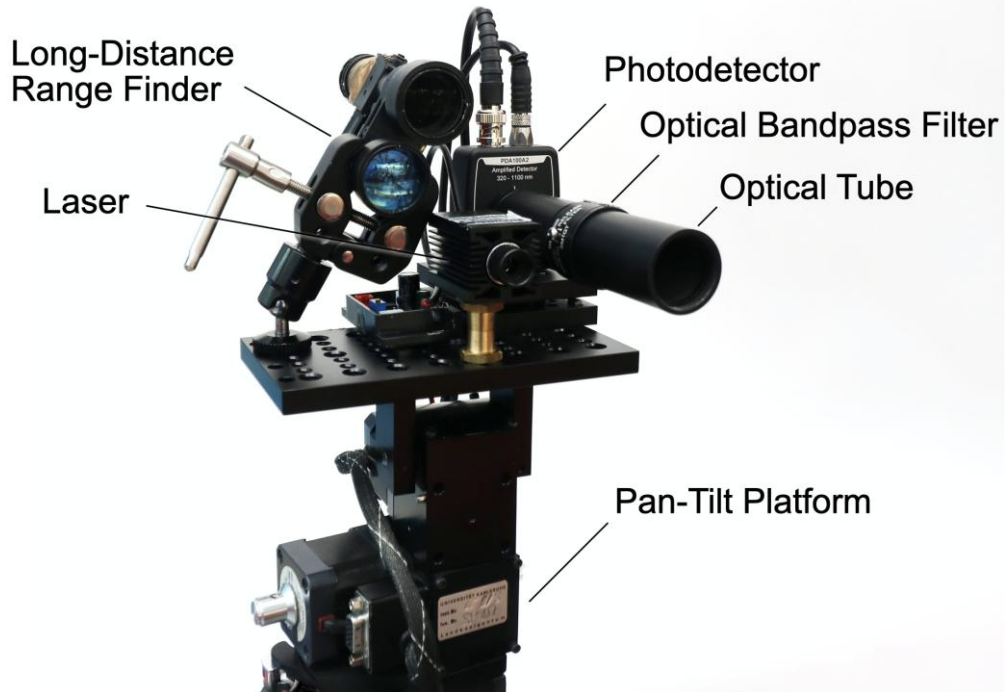


Рисунок 1 – Система лазерної віброметрії [4]

Розробники «розумних» доріг експериментують із різними типами покриття, серед яких: сонячне дорожнє покриття – панелі, що генерують енергію для освітлення та обслуговування інфраструктури (однак поки що їхня вартість залишається надзвичайно високою – 2800 м² коштують близько 5 млн євро); світлова розмітка з LED-елементами або флуоресцентними вставками, що допомагає орієнтуватися в темний час доби й попереджає про небезпеку; теплові акумулятори, які збирають сонячну енергію вдень і використовують її для обігріву доріг чи тунелів уночі; магнітна розмітка, яку розпізнають автоматизовані транспортні засоби; водонепроникний асфальт, що швидко відводить дощову воду, зменшує шум і покращує видимість у негоду.

Оскільки нові технології потребують випробувань, у деяких країнах створюються спеціальні полігони. Один із найвідоміших – Virginia Smart Road у США [4]. На ділянці довжиною 3,5 км випробовуються нові типи дорожніх покриттів, матеріали, системи освітлення та навігації. Комплекс оснащено великою кількістю сенсорів і камер, здатних відтворювати будь-які погодні умови: дощ, сніг, туман чи ожеледицю.

Створення сучасних «розумних» автомобільних доріг неможливе без впровадження інноваційних комп'ютерних технологій. Чим складнішою стає інфраструктура, тим більш прогресивними мають бути методи її проектування, контролю та обслуговування. Використовуючи практику використання іноземних комп'ютерних технологій, необхідно активно розвивати напрямки комп'ютерного проектування автомобільних доріг українськими вченими та фірмами [5].

Цифровізація транспортної інфраструктури України – це не лише крок до підвищення безпеки, а й до ефективного, сталого розвитку економіки України.

Література:

1. QSBW 4.0 - Future roadconstruction in Germany. [Он-лайн]. Доступно: <https://moba-automation.com.br/qsbw-4-0-future-roadconstruction-in-germany/>
2. A. B. Fourie, C. J. F. P. Jones. «Improved estimates of power consumption during dewatering of mine tailings using electrokinetic geosynthetics (ekgs)». Elsevier Science Publishing Company, 2010. Т. 28. № 2. pp. 181-190.
3. Y. Zhang, S. Mayer, Jesse T. Gonzalez, C. Harrison «Vibrosight++: City-Scale Sensing Using Existing Retroreflective Signs and Markers» CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-14.
4. Virginia Smart Roads. [Он-лайн]. Доступно: <https://www.vtti.vt.edu/facilities/virginia-smart-roads.html>.

5. І.П. Гамеляк, А. Я. Хом'як «Щодо розвитку комп'ютерного проектування автомобільних доріг». Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2025. Вип. 117. Частина 1, с. 14-23.

УДК 004.02: 656.025.4

ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЗЕЛЕНОЇ ЛОГІСТИКИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАЧАНЬ

Філь Н.Ю., Юрченко Б.В.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків*

Воєнні дії на території України продовжують чинити негативний вплив на бізнес, зокрема на логістичний сектор. У 2024 році та в першій половині 2025 року спостерігається продовження цього тренду, однак із позитивною динамікою. Стан ринку логістичних послуг помітно покращився. Більшість компаній демонструє зростання доходів [1].

Сьогодні логістичним компаніям доводиться не лише доводити надійність та швидкість доставки, а й показувати, що їхні вантажівки не коплять небо, а упаковка не шкодить довкіллю. Для багатьох ринок зеленої логістики стає новою ареною конкурентної боротьби [2].

Зелена логістика – це сукупність заходів, спрямованих на зниження екологічного впливу на всіх етапах ланцюга постачання. В умовах сучасного світового товарообміну та глобалізації розвиток і вдосконалення інструментів зеленої логістики в діяльності логістичних компаній має значний позитивний вплив на раціоналізацію та вдосконалення їх операцій у світовому господарстві для збереження екології планети.

Логістичні компанії та транспортні підприємства стикаються з проблемою ранжування інструментів зеленої технології, обґрунтування їх використання для реалізації у своїй практичній діяльності. Це робить актуальним завдання обґрунтування підходів і методів прийняття рішень, що дозволяють оцінити та вибрати інструменти зелені технології, реалізація яких забезпечить підвищення ефективності логістичних і транспортних систем при мінімальному шкідливому впливі на навколишнє середовище.

Підвищення ефективності впровадження інструментів зеленої логістики на автотранспортному підприємстві за рахунок розробки багатокритеріальної моделі ранжування інструментів зеленої логістики для керування ланцюгами постачань в умовах невизначеності вхідної інформації є актуальною науково-прикладною задачею.

Розглянемо загальну постановку задачі ранжування інструментів зеленої логістики для керування ланцюгами постачань.

Відомо:

– множина інструментів зеленої логістики для керування ланцюгами постачань $X=\{x_i\}$, $i = 1, \dots, i^*$;

– множина критеріїв $Y=\{y_j\}$, $j=1, \dots, j^*$, за якими оцінюються ефективність керування ланцюгами постачань.

Необхідно провести ранжування інструментів зеленої логістики для керування ланцюгами постачань за заданими функціональними та витратними критеріями.

В якості критеріїв можливо розглядати наступні показники та параметри: прибуток; операційні витрати; інвестиції в основний капітал; енергоємність логістичного потоку; обсяг викидів парникових газів; збереження перевезення вантажів; своєчасність перевезення вантажів; коефіцієнт керованості логістичного потоку; коефіцієнт нерівномірності логістичного потоку; коефіцієнт складності структури логістичного потоку; коефіцієнт дискретності логістичного потоку; коефіцієнт диференційності логістичного потоку; маса логістичного потоку; швидкість логістичного потоку; довжина маршруту логістичного потоку [3].

Таким чином, задача ранжування інструментів зеленої логістики для керування ланцюгами постачань відноситься до багатокритеріальних задач в умовах невизначеності.

Для її розв'язання пропонується використовувати метод аналізу ієрархій, який набув широкого поширення завдяки своїй здатності

поєднувати величезну кількість неоднорідних даних та простому отриманню пріоритетів альтернатив [4].

Для підвищення об'єктивності та якості процесу прийняття рішень важливо враховувати думки групи експертів, що досягається шляхом проведення групової експертизи.

Розглянемо агрегування оцінок експертів на рівні власних векторів матриць парних порівнянь. Нехай $w^{(k)}, (k = \overline{1, m})$ головні власні вектори матриць парних порівнянь $A^{[k]}$ (де матриця $A^{[k]}$ складена k -м експертом). Тоді агреговану оцінку компонент вектору пріоритету знаходимо за формулою (що містить корінь ступеня m із добутку однойменних компонент вектору) [5]:

$$w_i^A = \sqrt[m]{w_i^{(1)} w_i^{(2)} \dots w_i^{(m)}} \quad (1)$$

де $w_i^{(k)}$ – i -я компонента власного вектору, який отриманий за оцінками k -експерта; w_i^A – сукупна оцінка i -й компоненти власного вектору, яка отримана по оцінкам всіх експертів; m – кількість матриць парних порівнянь, кожна з яких складена одним експертом.

У випадках, коли витрати на проведення експертизи є виправданими, узагальнення суджень експертів доцільно здійснювати з урахуванням їхньої кваліфікації (або «ваги»). У такому разі розрахунок агрегованої оцінки за участю експертів із різним ступенем значущості виконується за спеціальною формулою.

$$a_{ij}^A = a_{ij}^{\alpha_1} a_{ij}^{\alpha_2} \dots a_{ij}^{\alpha_m},$$

де $a_{ij}^{\alpha_k}$ – оцінка об'єкту, яка проведена k експертом з ваговим коефіцієнтом α_k , при умові $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m = 1$.

Отримані значення векторів використовуються в методі аналізу ієрархій для формування векторів пріоритетів альтернатив відносно загальної мети.

Ранжування інструментів зеленої логістики повинно передбачати процедури формування групових вагових коефіцієнтів значущості критеріїв на основі індивідуальних оцінок експертів. Воно має включати етапи складання матриць попарних порівнянь, узагальнення думок експертів із врахуванням їхньої кваліфікації та побудову інтегрованого ранжування з використанням методу аналізу ієрархій.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку систему підтримки прийняття рішень щодо ранжування інструментів логістичних потоків в зелених ланцюгах постачань.

Література:

1. Аналіз ринку логістики в Україні у 2024 році. [Он-лайн]. Доступно: <https://www.impulse-consulting.com.ua/analiz-rynku-logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci/>
2. М. Бойченко, «Зелена логістика вантажоперевезень: проблеми, шляхи вирішення», Вісник економічної науки України, № 2 (41), с. 152-155, 2021.
3. І. Бабій, «Характеристика потокових процесів у логістичній системі підприємства», Вісник Хмельницького національного університету, № 2, Т. 2, с.108 -111, 2015.
4. Н. Філь «Моделі вибору датчика температури та вологості для модуля системи екологічного моніторингу». Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, № 55, с. 206-212, 2024.
5. С. Кузніченко, І. Бучинська, Моделі, методи та інструментальні засоби багатокритеріального аналізу рішень в геоінформаційних системах: монографія. Житомир: ТОВ «505», 2021.

УДК 621.317

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ДІЛЯНОК ГАЗОПРОВОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Філь Н.Ю., Бардаков В.Р.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків*

На території України прокладено багато газотранспортних мереж, розташованих у різних рельєфах місцевості та кліматичних умовах. Для контролю штатної роботи з транспортування газу необхідний моніторинг, який проводять затратним способом, переважно наземним транспортом і вертольотами [1].

Недоліки такого контролю викликають потребу в пошуку більш дешевих і оперативних варіантів контролю стану технологічного обладнання, адже від того, наскільки раніше буде виявлено аварійну подію, може залежати не тільки цілісність споруд, а й життя працівників. Для можливого вирішення технічних проблем оперативного контролю лінійних ділянок газопроводу пропонується використовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) [2]. Система моніторингу з використанням БПЛА має наступні можливості

Дистанційне ведення моніторингу частин магістрального газопроводу з використанням БПЛА дозволяє отримувати більш точні результати у вигляді зображень високої якості та спектральної аналітики, а також знизити часові витрати на проведення моніторингу.

Збір даних у режимі реального часу та передача їх операторам збільшує оперативність прийняття рішень. Ці дані можуть бути оброблені з використанням, наприклад, алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування можливих проблем або порушень, що дозволяє операторам вживати запобіжних заходів і запобігати потенційним аваріям.

За допомогою БПЛА можна здійснювати перевірку і безпосередній контроль за проведенням відновлювальних і ремонтних робіт, що дозволяє забезпечувати більш якісне проведення і суворий контроль термінів і обсягів виконання цих робіт.

Знімки та дані, отримані з БПЛА, дозволяють вибудовувати і деталізувати ретроспективний аналіз трубопроводу для контролю виникаючих деформаційних загроз йому (землетрус, повінь тощо).

Попередній огляд місць у разі виникнення надзвичайних ситуацій та інцидентів може убезпечити персонал під час проведення робіт підвищеної небезпеки та випробувань на міцність і герметичність конструкцій.

Оскільки оперативність роботи з даними та швидке прийняття рішень є ключовим фактором стабільної роботи будь-якого складного виробництва, виникає необхідність у використанні сучасних інформаційних технологій, які дадуть можливість керувати даними безпосередньо в процесі моніторингу газопроводу, тобто в режимі реального часу. У концептуальному проекті в якості такої технології обрано промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things – IIOT) [2-3] з використанням супутникового зв'язку для передачі даних на великі відстані, що забезпечить низьку затримку доставки інформації до центру обробки даних (ЦОД). Це рішення дозволяє центральному управлінню і диспетчерським пунктам отримувати інформацію про стан лінійних ділянок в онлайн режимі процесу моніторингу.

На рисунку 1 представлена концептуальна модель SMART-автоматизації моніторингу ділянок газопроводу з використанням безпілотних літальних апаратів.

Проведення моніторингу починається з розміщення та запуску БПЛА і супутникового зв'язку для передачі даних у режимі реального часу. Потім БПЛА піднімається на задану висоту та направляється до початкової ділянки лінійної частини газопроводу. Для вирішення завдання детального аналізу стану технологічного обладнання на БПЛА встановлюються кілька модулів [3]:

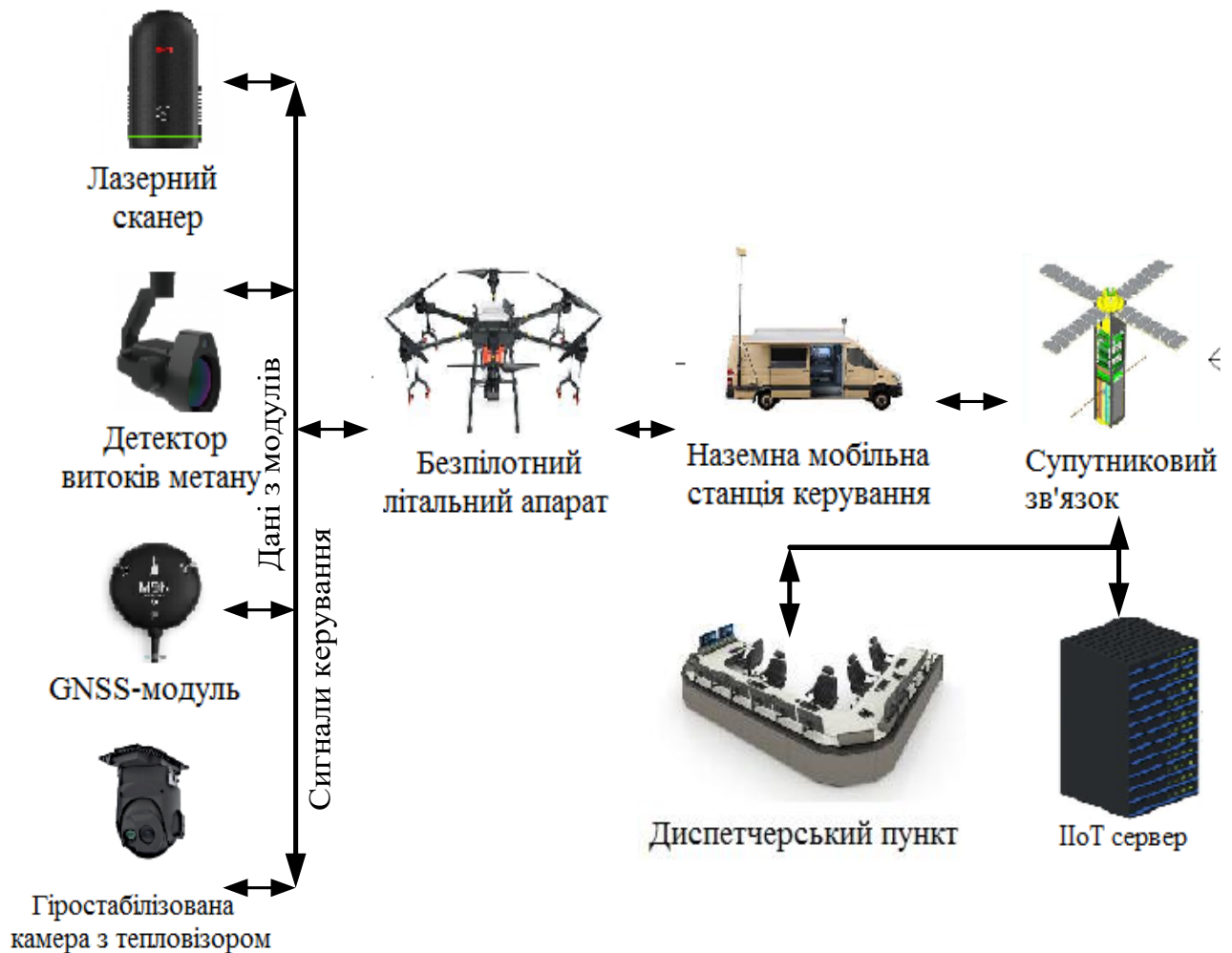


Рисунок 1 – Структурна модель SMART технології автоматизації моніторингу ділянок газопроводу з використанням БПЛА

1) лазерний сканер, який забезпечує формування тривимірної моделі рельєфу з об'єктами, що знаходяться на місцевості, їх стан і динаміку, наприклад, їх реконструкцію;

2) детектор витоків метану для вимірювання сумарної концентрації метану в промені лазера, що дозволить визначити місця витoku і вжити необхідних заходів для їх усунення;

3) GNSS-модуль для навігації БПЛА і визначення його місцезнаходження з високою точністю;

4) гіростабілізована камера з тепловізором для ведення аерофотозйомки високої якості і виявлення теплових втрат, дефектів і проблемних зон споруд.

Інформація, яка отримана з модулів БПЛА, передається в ЦОД на ПоТ сервер з використанням супутникового зв'язку (наприклад, супутникової системи Starlink). Оброблені дані надходять з ПоТ сервера в диспетчерський пункт і виводяться зручним чином у вигляді зображень, відеофрагментів, моделей і графіків. При виявленні ділянок де спостерігаються теплові контрасти, детектор витоків метану фіксує вміст метану в повітрі та передає цю інформацію диспетчеру.

По завершенні моніторингу БПЛА повертається до наземної станції керування та вимикається. По трасі газопроводу встановлюються кілька таких станцій у вигляді вишок 10-15 м висоти з майданчиками базування БПЛА.

У роботі розглянуто технологію автоматизованого моніторингу газопроводів у дистанційному режимі в режимі реального часу з використанням безпілотних літальних апаратів. Впровадження розробленої технології дозволить скоротити часові витрати на проведення моніторингу ділянок газопроводу у важкодоступній місцевості та забезпечити вищий рівень безпеки при експлуатації газопроводу.

Література:

1. О. І. Богатов, В. М. Супонєв, В. М. Рагулін, О. В. Ярижко, В. Д. Мусійко Сучасний технічний стан магістральних трубопроводів та аналіз екологічної безпеки під час транспортування ними енергетичних носіїв. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2022. Вип. 99. С. 151–158..
2. В. П. Федина, І. В. Якимець. Організація моніторингу транспортних трубопровідних комунікацій із використанням безпілотної авіації. «Проблеми інформатизації»: одинадцята міжн. наук.-тех. конф., 16-

17 лист. 2023 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://surl.li/hhgwkh>.

3. Моніторинг трубопроводів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://surl.li/ybqlqe>.

УДК 004.273

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ ПАТЕРНІВ ДЛЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ВЕБ-СИСТЕМ

Халтурін А.Д.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Зростання вимог до продуктивності, надійності та здатності систем витримувати високі навантаження робить вибір архітектури критичним завданням. У роботі розглянуто чотири фундаментальні архітектурні патерни, що представляють різні філософії декомпозиції системи: монолітний, мікросервісний, безсерверний та подіє-орієнтований. У роботі розглянуто чотири фундаментальні архітектурні патерни: монолітний, мікросервісний, безсерверний та подіє-орієнтований.

Монолітна архітектура характеризується єдиною, нероздільною кодовою базою, де всі компоненти системи тісно інтегровані. Хоча цей підхід забезпечує простоту початкової розробки, розгортання та налагодження завдяки централізованій структурі, він демонструє значні обмеження при горизонтальному масштабуванні. Масштабування можливе лише шляхом дублювання всього застосунку на додаткових серверах, що призводить до неефективного використання ресурсів, особливо коли навантаження нерівномірно розподілене між компонентами. Крім того, монолітна архітектура ускладнює впровадження змін через високий ступінь взаємозалежності модулів та вимагає повного перезапуску системи навіть при оновленні окремих частин.

Мікросервісний підхід вирішує ці проблеми шляхом декомпозиції системи на набір незалежних, дрібнозернистих сервісів, кожен з яких відповідає за окрему бізнес-функцію. Це дозволяє здійснювати гранульоване масштабування окремих компонентів залежно від їхнього навантаження, покращує відмовостійкість через ізоляцію помилок та забезпечує технологічну гетерогенність — кожен сервіс може бути реалізований оптимальними для нього технологіями. Водночас цей патерн вносить суттєву

операційну складність, пов'язану з управлінням розподіленою системою, моніторингом багатьох незалежних процесів, мережевими затримками при міжсервісній комунікації та забезпеченням консистентності даних у розподіленому середовищі. Особливої уваги вимагають питання service discovery, розподіленого трейсингу та управління транзакціями.

Безсерверна (Serverless) архітектура пропонує модель FaaS (Function as a Service), де розробник повністю абстрагується від управління інфраструктурою, а хмарна платформа забезпечує автоматичне масштабування "з нуля" в залежності від реального навантаження. Модель оплати за фактичне використання робить цей підхід економічно ефективним для систем з непередбачуваними або періодичними навантаженнями. Однак безсерверна архітектура має характерні недоліки: "холодні старты" (затримки при ініціалізації неактивних функцій), обмеження часу виконання окремих функцій, ускладнене локальне тестування та значна прив'язка до постачальника хмарних послуг, що ускладнює міграцію між платформами.

Подіє-орієнтована архітектура забезпечує максимальний рівень слабого зв'язування компонентів через асинхронну комунікацію на основі подій, що підвищує стійкість та гнучкість системи. Компоненти взаємодіють не через прямі виклики, а через публікацію та обробку подій, що дозволяє легко додавати нові обробники без модифікації існуючих компонентів. Проте це ускладнює налагодження через відсутність явного потоку виконання, вимагає управління "узгодженістю в кінцевому підсумку" (eventual consistency) та часто потребує впровадження складних патернів, як-от CQRS (Command Query Responsibility Segregation) — розділення команд та запитів для оптимізації операцій читання і запису.

На рис. 1 схематично зображено чотири розглянуті архітектурні патерни. Рисунок візуалізує їхні фундаментальні структурні відмінності: від єдиного блоку «Моноліту» до розподіленої мережі, керованих функцій (FaaS) та асинхронної моделі обробки подій..

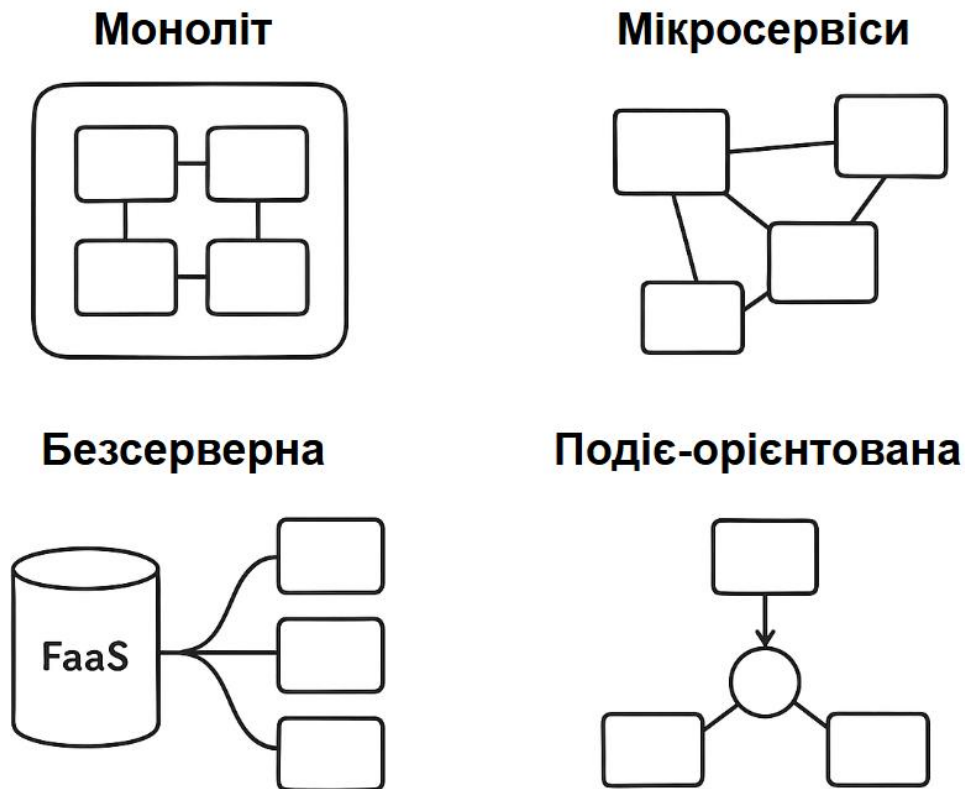


Рисунок 1 – Архітектурні патерни

Не існує єдиного "найкращого" рішення; вибір архітектури завжди є компромісом, що залежить від бізнес-вимог, очікуваного навантаження та можливостей команди. Застосування методів системного аналізу дозволяє зробити цей вибір обґрунтованим та стратегічно правильним.

Література:

1. M. L. Abbott and M. T. Fisher, The Art of Scalability: Scalable Web Architecture, Processes, and Organizations for the Modern Enterprise. New York: Addison-Wesley, 2015.
2. S. Newman, Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media, 2021.
3. "Serverless Architectures with AWS Lambda". 2018. [Он-лайн]. Доступно: <https://d1.awsstatic.com/whitepapers/serverless-architectures-with-aws-lambda.pdf>

УДК 004.8

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИФУЗІЙНИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАВДАННЯХ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Цепочко М. Г., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У сучасній парадигмі штучного інтелекту моделі дифузійного типу стали провідним інструментом для генерації фотореалістичних зображень із текстових описів. Їхня перевага полягає у здатності апроксимувати складні розподіли даних у багатовимірних просторах без ризику колапсу моделі, який часто спостерігається у генеративно-змагальних мережах. Основна ідея дифузійних моделей полягає у поступовому перетворенні даних у шум і відновленні їх назад шляхом моделювання стохастичного зворотного процесу, який керується параметризованою нейронною мережею.

Таким чином, замість прямого навчання моделі відтворювати реальний розподіл даних, вона навчається усувати шум, що дозволяє досягти стабільної динаміки оптимізації та високої якості реконструкції [1].

Дифузійна модель описується двома основними процесами: прямим, який додає шум до зображення, та зворотним, який реконструює зображення з цього шуму. Прямий процес формалізується наступним чином [2]:

$$q(x_t|x_{t-1}) = \mathcal{N}(x_t; \sqrt{1 - \beta_t} x_{t-1}, \beta_t I),$$

де β_t – вказує на кожному кроці компроміс між інформацією, яку потрібно зберегти з попереднього кроку, та шумом, який необхідно додати, а I – одинична матриця. Цей параметр β_t зазвичай збільшується з кожним кроком, щоб рівномірно додавати шум протягом усього процесу дифузії.

Відповідно, зворотний процес апроксимується нейронною мережею:

$$p_\theta(x_{t-1}|x_t) = \mathcal{N}(x_{t-1}; \mu_\theta(x_t, t), \Sigma_\theta(x_t, t)),$$

де $\mu_\theta(x_t, t)$ та $\Sigma_\theta(x_t, t)$ – параметри середнього та коваріації, що прогножуються на кожному кроці нейронною мережею. У практичних реалізаціях часто використовується припущення про діагональність Σ_θ , що

спрощує обчислення та стабілізує градієнтне оновлення.

Оптимізація моделі здійснюється через мінімізацію очікуваної різниці між істинним шумом, доданим на етапі прямої дифузії, та шумом, який прогнозує нейронна мережа. Функція втрат формулюється як [3]:

$$L(\theta) = \mathbb{E}_{x_0, \epsilon, t} [\|\epsilon - \epsilon_0(x_t, t)\|^2],$$

де x_0 – початкове зображення; ϵ – істинний шум, згенерований з гаусівського розподілу $N(0, I)$; $\epsilon_0(x_t, t)$ – шум, передбачений моделлю, а очікування $\mathbb{E}$ береться за всіма часовими кроками t , вибраними випадково.

З архітектурного погляду дифузійні моделі реалізуються переважно на базі двох підходів: U-Net і Diffusion Transformer (DiT).

U-Net характеризується наявністю симетричної енкодер-декодерної структури зі скіп-зв'язками, що забезпечує збереження просторових ознак і деталізації на високих рівнях роздільності [4]. У той час як DiT інтегрує механізм самоуваги (Self-Attention), який дозволяє моделі враховувати глобальні контекстуальні залежності між елементами зображення.

Архітектурні блоки дифузійної моделі представлені в таблиці 1.1.

Оцінювання ефективності дифузійних моделей здійснюється за комплексом кількісних показників.

Основною метрикою є відстань початку Фреше (FID), яка визначає відстань між розподілами ознак реальних і згенерованих зображень [5]:

$$FID = \|\mu_r - \mu_g\|_2^2 + \text{Tr} \left(\Sigma_r + \Sigma_g - 2 * \sqrt{\Sigma_r * \Sigma_g} \right),$$

де μ_r та Σ_r – середнє значення і коваріаційна матриця для реальних даних, а μ_g та Σ_g – відповідні статистики для синтетичних. Менше значення FID свідчить про вищу схожість між розподілами, а отже, і про кращу візуальну достовірність. Додатково використовуються показники індексу інцепції (IS), що характеризує різноманітність зображень, та оцінка узгодженості CLIP, яка визначає семантичну відповідність між текстовим описом і згенерованим результатом.

Концептуальна логіка показника IS ґрунтується на припущенні про

наявність класифікаційної моделі, що оцінює умовний розподіл $p(y|x)$, де y – це категорія, а x – згенероване зображення. Для генеративної системи вважається оптимальним, коли кожне сформоване зображення однозначно відноситься до певного класу, тобто характеризується малою умовною ентропією $H(y|x)$.

Таблиця 1.1 – Функціональні блоки архітектури дифузійної моделі

Блок архітектури	Основне призначення	Типові реалізації та модулі	Ключовий внесок у модель
Блок попередньої обробки	Перетворення зображення або зашумленого латента у компактний простір ознак	Нормалізація, лінійні проєкції, згорткові шари	Забезпечує коректне входження сигналу в модель, вирівнює масштаб і структуру даних
Латентний автоенкодер (VAE)	Стиснення зображення в латентний простір та подальше відновлення	Енкодер VAE, Декодер VAE, стохастичний семплінг	Дозволяє працювати з компактними латентами замість пікселів, знижує обчислювальні витрати
Енкодерний блок (Downsampling)	Поступове зниження просторової роздільності та виділення високорівневих ознак	ResNet-подібні модулі, Downsampling-операції (stride=2), згортки	Формує абстрактні ознаки: глобальні форми, контури та структурні патерни
Контекстуальний блок (центральна частина)	Узгодження інформації між різними масштабами та частинами зображення	Глобальні інтеграційні модулі, крос-модальні блоки, агрегатори контексту	Створює цілісне семантичне уявлення сцени, критичне для складних композицій

Продовження таблиці 1.1

Декодерний блок (Upsampling)	Відновлення просторової структури та інтеграція локальних ознак	Upsampling (nearest/linear), ResNet-модулі відновлення, згортки	Повертає дрібні деталі, забезпечує плавність контурів
Блок архітектури	Основне призначення	Типові реалізації та модулі	Ключовий внесок у модель
Skip-з'єднання між енкодером і декодером	Передавання локальних ознак високої роздільності до декодера	Симетричні пропускні з'єднання	Зберігають локальну інформацію, запобігають втраті деталей
Вихідний декодер зображення	Перетворення латентів у фінальне зображення	Декодер VAE або згорткова мережа	Відтворює зображення з високою якістю та узгодженими текстурами

Одночасно бажано, щоб у сукупності всіх згенерованих зразків розподіл класів $p(y)$ був максимально збалансованим, що проявляється у високій ентропії $H(y|x)$.

Формально IS визначається як експонента від середнього значення дивергенції Кульбака-Лейблера між $p(y|x)$ та $p(y)$ [6]:

$$IS = xp(\mathbb{E}_{x \sim p_{data}}[KL(p(y|x)||p(y))]),$$

де $p(y) = \int p(y|x)p_{data}(x) dx$ – це середній розподіл класів у згенерованих зображеннях. Чим більшим є показник IS, тим вищою вважається якість зображень. Водночас цей критерій має недоліки: він не оцінює відповідність реальному розподілу даних і залежить від класифікатора.

Отже, проектування дифузійних моделей передбачає не лише інженерну оптимізацію архітектури, а й глибоке статистичне моделювання параметрів шуму, часової дискретизації та апроксимаційної стабільності.

Подальший розвиток дифузійних систем передбачає інтеграцію механізмів навчання з підкріпленням, гібридних трансформерів і динамічних

варіаційних процедур, що відкриває шлях до формування інтелектуальних мультимодальних моделей нового покоління, здатних до автономного візуального синтезу, контекстного дизайну та самонавчання в реальному часі з урахуванням множини показників якості [7–8].

Література:

1. O. Dalmaz, B. Saglam, G. Elmas, M. Mirza and T. Çukur. Denoising Diffusion Adversarial Models for Unconditional Medical Image Generation. 2023 *Signal Processing and Communications Applications Conference*. pp. 1-5. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10223912> (дата звернення: 10.11.2025).
2. H. Nam, J. Park, J. Choi and S. L. Kim. Sequential Semantic Generative Communication for Progressive Text-to-Image Generation. *IEEE International Conference on Communication, and Networking*. 2023, pp. 91-94. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10287475> (дата звернення: 10.11.2025).
3. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models (A.K.A. LDM & Stable Diffusion). URL: <https://ommer-lab.com/research/latent-diffusion-models/> (дата звернення: 10.11.2025).
4. Comprehensive exploration of diffusion models in image generation: a survey. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-025-11110-3> (дата звернення: 10.11.2025).
5. J. Mao and X. Wang. Training-Free Location-Aware Text-to-Image Synthesis. *International Conference on Image Processing*. 2023, pp. 995-999. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10222616> (дата звернення: 10.11.2025).
6. Advances in diffusion models for image data augmentation: a review of methods, models, evaluation metrics and future research directions. *Artif Intell Rev* 58, 112 (2025). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11116-x>.
7. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. No 4 (14). P. 13–20. URL: <http://journals.uran.ua/itssi/article/view/ITSSI.2020.14.013> (дата звернення:

10.11.2025)

8. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty // Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. URL: <http://ais.khpi.edu.ua/article/view/305462/297067> (дата звернення: 10.11.2025).

УДК 004.9

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВЕБ-ДОДАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ JAVASCRIPT ТА API ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Черкашина Г.І., Морозова А.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) у веб-розробку стала ключовим напрямом цифрової трансформації. Сучасні компанії активно впроваджують ШІ-моделі для автоматизації завдань, аналітики поведінки користувачів, генерації контенту та персоналізації досвіду користувача [1]. Згідно з даними ЕРАМ, «розумні» веб-системи створюють нові конкурентні переваги, дозволяючи бізнесу знижувати витрати на підтримку й підвищувати точність рішень [2]. Для веб-дизайнера й розробника це означає розширення компетенцій: крім традиційного володіння HTML, CSS та JavaScript, необхідно знати принципи інтеграції API ШІ, роботу з даними, етичні норми та UX-підхід до створення інтелектуальних інтерфейсів.

Інтелектуальні веб-додатки — це програми, що здатні навчатися на даних, прогнозувати поведінку користувача й адаптувати свій інтерфейс або контент завдяки алгоритмам машинного навчання [1]. Вони поєднують у собі веб-технології (JavaScript, HTML, CSS) та зовнішні або локальні API ШІ, які обробляють запити й повертають результати у вигляді рекомендацій, зображень, тексту чи аналітики. За допомогою JavaScript можливо виконувати обробку даних безпосередньо у браузері — наприклад, використовуючи TensorFlow.js або виклики API до моделей OpenAI, Azure Cognitive Services чи Google Cloud AI [1], [2].

Роль JavaScript і API у реалізації інтелектуальних функцій така: JavaScript є центральною мовою для побудови інтелектуальних інтерфейсів. Завдяки асинхронним викликам (fetch, async/await) можна звертатися до ШІ-API, отримувати дані й виводити результати в реальному часі. На серверному боці Node.js забезпечує зв'язок між користувачем і ШІ-моделлю,

використовуючи REST або GraphQL-інтерфейси [2]. Такі можливості дають змогу створювати чат-ботів, рекомендаційні системи, адаптивні веб-портали. Наприклад, JavaScript-додаток може надсилати запит до API системи розпізнавання зображень та повертати опис об'єкта на екрані користувача [1].

Розробка інтелектуального веб-додатку проходить кілька послідовних етапів. Спершу визначається функціональна потреба: які процеси можна покращити за допомогою ІІІ — наприклад, автоматизація відповіді на запити чи персоналізація рекомендацій [1]. Далі обирається стек технологій, зокрема JavaScript-бібліотеки (TensorFlow.js, Brain.js) та зовнішні API-провайдери (OpenAI, Microsoft Azure, Amazon Rekognition) [2]. Наступним кроком є підготовка даних: збір, очищення, нормалізація й тестування. Після інтеграції ІІІ-модуля у веб-інтерфейс проводиться тестування продуктивності та UX-аналіз. Завершальним етапом є моніторинг і оптимізація, оскільки модель повинна навчатися або оновлюватися відповідно до поведінки користувачів [1].

Використання ІІІ підвищує рівень персоналізації, точність аналітики та зручність користувацької взаємодії. Завдяки ІІІ можна автоматично сегментувати аудиторію, передбачати наміри користувачів, оптимізувати навігацію чи пропонувати контент на основі історії пошуку [2]. Компанія Stfalcon зазначає, що впровадження інтелектуальних механізмів допомагає підвищити залученість клієнтів і зменшити час розробки за рахунок повторного використання готових API [1].

Найчастіші труднощі пов'язані з якістю даних і відсутністю достатньої експертизи в команді [1]. Недосконалі або упереджені дані можуть призвести до помилкових результатів. Крім того, інтеграція зовнішніх ІІІ-API створює залежність від сторонніх провайдерів і потребує уваги до питань безпеки та конфіденційності користувацьких даних. Додатковою проблемою є прозорість алгоритмів: користувач має розуміти, як і для чого його дані аналізуються [4]. Для мінімізації ризиків компанії рекомендують проводити

аудит моделей, тестування етичної коректності та використовувати методи пояснюваного ШІ (Explainable AI) [2].

Інтелектуальні веб-додатки будуються за модульною або мікросервісною архітектурою. ШІ-модуль часто розташовується як окремий сервіс, який обробляє дані незалежно й повертає результат через API-виклик [2], [4]. На фронтенді JavaScript-код відповідає за інтерактивність, а бекенд — за взаємодію з ШІ-сервісами. Використання Node.js дозволяє масштабувати систему та підтримувати одночасно тисячі запитів. За результатами дослідження Stfalcon, такий підхід скорочує час розробки на 30–40 % [1].

Інтелектуальні веб-додатки застосовуються у багатьох галузях. У сфері електронної комерції ШІ аналізує поведінку користувачів і пропонує індивідуальні рекомендації товарів [1]. У сервісах підтримки клієнтів чат-боти на основі JavaScript та NLP-моделей відповідають на запити цілодобово [2]. В освітніх платформах ШІ автоматично оцінює рівень знань і пропонує матеріали різної складності. Окремий напрям — генератори коду на основі ШІ, які допомагають прискорювати процес програмування, роблячи його доступним навіть новачкам [3].

Інтеграція ШІ вимагає забезпечення етичних стандартів, прозорості алгоритмів і дотримання норм захисту персональних даних [1], [4]. Веб-додатки повинні чітко повідомляти користувача про використання його інформації, надавати можливість відмови від обробки та пояснювати логіку роботи системи. Згідно з рекомендаціями дослідження EPAM, розробники мають впроваджувати механізми аудиту моделей і тестування на відсутність дискримінації [2].

Подальший розвиток інтелектуальних веб-додатків відбуватиметься у напрямі автономності та інтеграції edge-обчислень. Моделі ШІ все частіше виконуватимуться безпосередньо у браузері завдяки JavaScript-бібліотекам, що зменшить затримки та підвищить конфіденційність [1], [4]. Окрім того, поширюється використання інструментів автоматизованого створення коду

на базі ШІ, що значно пришвидшує роботу фронтенд-розробників [3]. Зростатиме роль UX-дизайну, оскільки інтерфейси повинні пояснювати результати роботи ШІ-систем користувачам у зрозумілій формі.

Інтелектуальні веб-додатки, створені з використанням JavaScript і API ШІ, поєднують гнучкість веб-технологій із потужністю алгоритмів машинного навчання. Вони здатні радикально змінити спосіб взаємодії між людиною та цифровим середовищем, зробити веб-досвід адаптивним і персоналізованим. Для сучасного веб-розробника володіння технологіями ШІ стає не додатковою перевагою, а професійною необхідністю [1], [2], [3].

Література:

1. Stfalcon E. Як інтегрувати AI в додаток: детальний посібник. *Logistics & Transportation Software Development Agency* | *Stfalcon*. URL: <https://stfalcon.com/uk/blog/post/how-to-integrate-ai-into-an-app> (дата звернення: 12.11.2025).
2. Г. Прусова та ін., Математика. Київ, Україна: Освіта 2004.
3. EPAM Systems Ukraine. (2025, 24 березня). Створення розумних .NET-додатків: практичний посібник із інтеграції штучного інтелекту. URL: <https://careers.epam.ua/blog/building-smart-net-applications-a-practical-guide-to-ai-integration> (дата звернення: 12.11.2025).
4. Безкоштовні платформи генераторів коду на основі штучного інтелекту | CLAILA. URL: <https://www.claila.com/uk/blog/bezkostovni-platformi-generatoriv-kodu-na-osnovi-stucnogo-intelektu-sprosuut-programuvanna-dla-vsih> (дата звернення: 12.11.2025).
4. Beware the evolving 'intelligent' web service! An integration architecture tactic to guard AI-first components. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.13186> (date of access: 12.11.2025).

УДК 004.624

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ЕКСТРАКЦІЇ ДАНИХ У ДИНАМІЧНОМУ ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ

Шатило І. Ю., Безкоровайний В. В., Чала Л. Е.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасні інформаційні системи реалізують процеси збору й обробки даних, легова частка яких генерується у динамічному веб-середовищі. Висока динамічність веб-сторінок, відсутність уніфікованих стандартів семантичної розмітки та постійні зміни у структурі DOM (Document Object Model) перетворюють екстракцію даних (Data Extraction) на складну науково-прикладну проблему. Традиційні підходи до її вирішення, засновані на регулярних виразах або статичних XPath-селекторах, демонструють низьку робастність та вимагають постійної «ручної» підтримки [1]. Це зумовлює перехід до інтелектуальних методів [2] і необхідності розробки нових засад для побудови стійких та адаптивних систем веб-екстракції.

Веб-середовище W пропонується розглядати як великомасштабну, відкриту, стохастичну та динамічну систему, особливостями якої є:

– *гетерогенність (heterogeneity)*: веб-система складається з елементів (веб-сторінок P) різної природи. Гетерогенність проявляється на кількох рівнях: структурному (різноманітність DOM-дерев, використання фреймворків), презентаційному (різні CSS, візуальне оформлення) та семантичному (відсутність єдиної онтології для опису даних);

– *динамічність (dynamism)*: система W знаходиться у стані постійної зміни $W(t)$. Це стосується як контенту $C(t)$, так і структури $S(t)$. Динамічність генерується як серверними технологіями (CMS), так і клієнтськими (JavaScript, AJAX), що модифікують DOM «на льоту»;

– *невизначеність (uncertainty)*: для зовнішнього спостерігача (системи екстракції) веб-середовище є «сірою» або «чорною» скринькою. Неможливо

точно передбачити структуру сторінки $p \in P$, яка буде отримана за запитом q .

Формалізуємо задачу екстракції. Існує множина цільових даних D , які необхідно вилучити. Веб-сторінка p є структурою, $p = \langle T_{DOM}, T_{CSS}, C_{data} \rangle$, де T_{DOM} – DOM-дерево, T_{CSS} – стилі, C_{data} – контент. Задача екстракції полягає у пошуку функції (оператора) $F_{extract}: P \rightarrow D'$ (де D' – вилучені дані, причому необхідно максимізувати метрику відповідності $M(D', D) \rightarrow \max$).

Проблема полягає в тому, що функція $F_{extract}$ є нестационарною. Внаслідок динамічності $W(t)$, оператор $F_{extract}(t-1)$, побудований для сторінки $p(t-1)$, може стати невалідним для $p(t)$. Класичні системи екстракції намагаються «зафіксувати» $F_{extract}$ через жорсткі правила (наприклад, XPath), що системно призводить до їхньої деградації.

На рисунку 1 зображено концептуальна схема візуалізації проблеми.

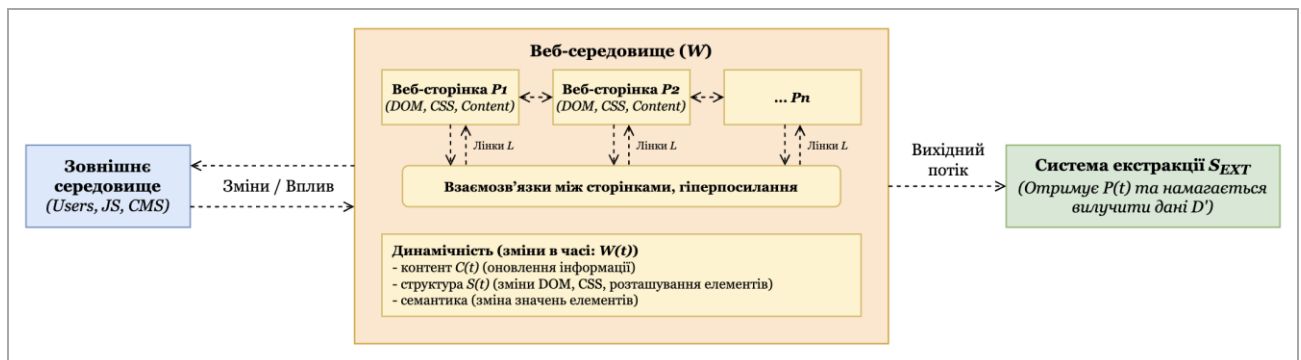


Рисунок 1 – Концептуальна схема веб-середовища W як динамічної системи

Мета системи S_{EXT} (рис. 2) полягає у підтримці стабільного стану (високої точності екстракції $M(D', D)$) попри збурюючі впливи $Z(t)$ з боку $W(t)$. Система S_{EXT} має такі компоненти: *входи (Inputs)* – цільова URL-адреса або запит (U_{in}), HTML/DOM-структура сторінки $p(t)$; *виходи (Outputs)* – структуровані дані D_{out} ; *керуючий блок (Control Unit)* – модель екстракції M_{model} ; *зворотний зв'язок (Feedback)*: механізм оцінки якості екстракції $E = 1 - M(D_{out}, D)$.

Традиційні системи працюють за принципом розімкненого контуру.

Системи на основі машинного навчання намагаються реалізувати замкнений контур, адаптуючи M_{model} через перенавчання. Однак більшість сучасних ML-моделей (зокрема, глибокі нейронні мережі) є «чорними скриньками». Це створює фундаментальну проблему з точки зору теорії управління: відсутність спостережуваності (observability) внутрішнього стану системи.

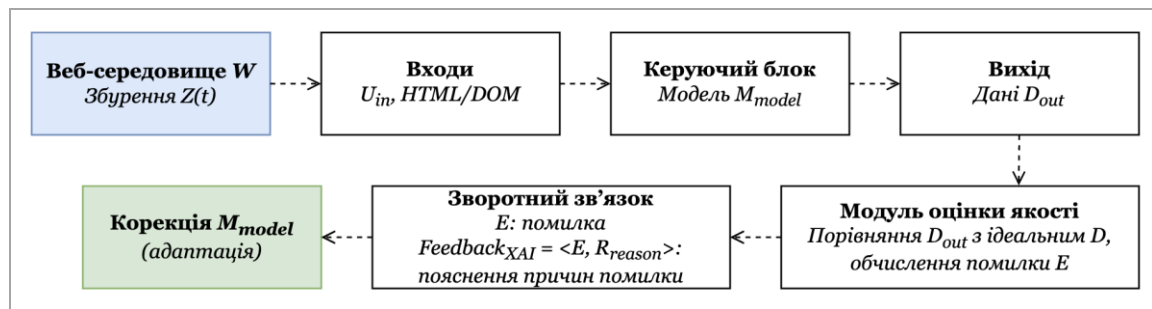


Рисунок 2 – Структурна схема системи екстракції S_{EXT}

Для усунення цього недоліку пропонується використати механізм пояснюваності (Explainability, XAI) [3], що реалізується додатковим каналом зворотного зв'язку. Це дозволяє отримувати інформацію не лише про факт помилки, але й про її причину $Feedback_{XAI} = \langle E, R_{reason} \rangle$ (де R_{reason} – набір причин або логічних пояснень, чому D_{out} було згенеровано саме таким чином). У такий спосіб буде реалізовано перехід від простої адаптації (перенавчання «всліпу») до керованої еволюції моделі M_{model} . Пропонується здійснювати вирішення цього завдання шляхом синтезу гібридної системи, у якій будуть інтегровані моделі різної природи для обробки різних аспектів W .

Розроблювана система S_{HYBRID} інтегрує:

– підсистему візуального аналізу S_{CV} : використовує методи комп'ютерного зору, зокрема візуально-семантичне представлення [4], для ідентифікації візуально значущих блоків контенту, ігноруючи невидиму DOM-структуру. Ця підсистема стійка до змін T_{DOM} , якщо візуальне представлення T_{CSS} залишається сталим;

– підсистему структурно-семантичного аналізу $S_{NLP/SYM}$: використовує нейромережеві методи (для семантики) та нейро-символьні підходи (для логіки та правил) [5]. Ця підсистема аналізує DOM та текстовий контент, шукаючи семантичні патерни, а не жорсткі структурні шляхи;

– підсистему обробки невизначеності S_{FUZZY} : використовує нейро-нечіткі моделі (neuro-fuzzy) для агрегації суперечливих або неповних даних, отриманих від S_{CV} та $S_{NLP/SYM}$. Це дозволяє системі приймати рішення в умовах нечітких входних сигналів (наприклад, «блок схожий на заголовок» та «тег ймовірно є ціною»).

Ключовим елементом пропонованої архітектури є інтегруючий модуль пояснюваності I_{XAI} , який не просто об'єднує виходи підсистем, але й генерує пояснення R_{reason} для кінцевого рішення.

Формально, вихідний оператор F_{hybrid} є складною композицією:

$$F_{hybrid} = I_{XAI}(S_{FUZZY}(S_{CV}(p), S_{NLP/SYM}(p))).$$

Очікується, що така гібридна архітектура (рис. 3) дозволить вирішити ключові системні проблеми: S_{CV} покликана боротися з динамічністю T_{DOM} , $S_{NLP/SYM}$ – з гетерогенністю C_{data} , S_{FUZZY} – з невизначеністю, а I_{XAI} – з проблемою спостережуваності та інтерпретації («чорної скриньки»).

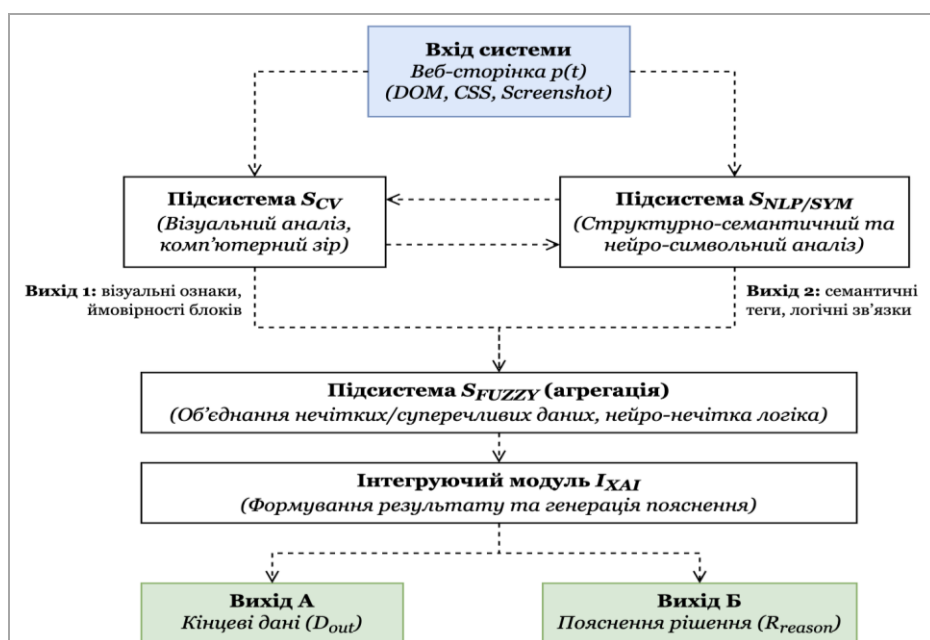


Рисунок 3 – Архітектура пропонованої гібридної системи S_{HYBRID}

Перевагою запропонованої системної архітектури є пояснюваність, яка реалізується через спеціалізований інтегруючий модуль I_{XAI} . Цей модуль забезпечить необхідний рівень спостережуваності за внутрішнім станом системи, дозволяючи не лише фіксувати помилки, але й розуміти їхні причини, що є базисом для побудови адаптивних та робастних інформаційних систем екстракції даних.

Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну реалізацію та експериментальну валідацію описаної гібридної моделі, оцінку її робастності порівняно з існуючими підходами та розробку формальних метрик оцінки якості пояснюваності R_{reason} у контексті задачі екстракції веб-даних.

Література:

1. Web Scraping Techniques and Applications: A Literature Review / С. Lotfi та ін. SCRS CONFERENCE PROCEEDINGS ON INTELLIGENT SYSTEMS. 2021. С. 381–394. URL: <https://doi.org/10.52458/978-93-91842-08-6-38> (дата звернення: 30.10.2025).
2. Web data extraction, applications and techniques: A survey / Е. Ferrara та ін. Knowledge-Based Systems. 2014. Т. 70. С. 301–323. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.07.007> (дата звернення: 31.10.2025).
3. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI / А. Barredo Arrieta та ін. Information Fusion. 2020. Т. 58. С. 82–115. URL: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012> (дата звернення: 31.10.2025).
4. Dori D. ViSWeb - the Visual Semantic Web: unifying human and machine knowledge representations with Object-Process Methodology. The VLDB Journal. 2004. Т. 13, № 2. С. 120–147. URL: <https://doi.org/10.1007/s00778-004-0120-x> (дата звернення: 02.11.2025).
5. Artur Garcez. Neurosymbolic AI is the answer to large language models' inability to stop hallucinating. The Conversation. URL: <https://theconversation.com/neurosymbolic-ai-is-the-answer-to-large-language-models-inability-to-stop-hallucinating-257752> (дата звернення: 02.11.2025).

УДК 004.8:371.26

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ І ШІ-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕСТІВ (LLM, ЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ, RL)

Шкурко В.В., Поляков А.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасний розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) зумовив появу нової генерації освітніх систем, здатних не лише аналізувати навчальний контент, а й автоматично створювати тестові завдання з урахуванням рівня складності, когнітивних цілей та індивідуальних характеристик користувача, що сформувало нові можливості для побудови адаптивних інтелектуальних систем оцінювання із поєднанням математичних моделей і ШІ-моделей – зокрема, великих мовних моделей (LLM), еволюційних алгоритмів і методів навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL).

Математичне моделювання завжди було основою для побудови точних і надійних рішень у сфері штучного інтелекту [5]. Сьогодні, коли великі мовні моделі на кшталт ChatGPT навчилися не лише обробляти текст, а й мислити послідовно, стало очевидно: ШІ поступово опановує логіку, яка раніше вважалася виключно людською. У роботі К. Шпрейцер, О. Штразер, С. Цехетмаєр та К. Маасс [1] показано, що такі моделі можуть не просто відтворювати хід математичних міркувань, а й пояснювати його, створюючи зрозумілі та навчальні приклади. Подібну закономірність помітив і С. Оу [2], зазначивши, що моделі *o1-preview* та *GPT-4o* демонструють вражаючу здатність розпізнавати математичні структури й утримувати логіку рішення, хоча іноді все ще помиляються у дрібних деталях, де потрібне людське уточнення. Водночас, як наголошують Р. Беззханчер, В. Демір, ефективне застосування ШІ-інструментів у навчанні передбачає не лише технічну реалізацію, а й розвиток техно-математичної грамотності та самоефективності користувачів [6].

Інтеграція подібних систем у навчальний процес допомагає студентам не просто користуватися технологіями, а розуміти їхню логіку, розвиваючи цифрову компетентність і критичне мислення під час взаємодії з алгоритмами. Українські дослідники Н. Круглова та О. Диховичний [10] підкреслюють, що використання ІКТ у створенні програм-шаблонів для автоматизованої генерації тестових завдань з вищої математики є важливим етапом на шляху до впровадження інтелектуальних рішень на базі штучного інтелекту.

Поєднання математичних моделей із сучасними LLM та RL створює нове покоління адаптивних тестових систем, розвиваючись на стику математики, штучного інтелекту та педагогіки, що формує нову можливість підлаштовуватися до потреби користувача.

Серед провідних напрямів розвитку варто виокремити онтологічно-семантичні, еволюційні та RL-орієнтовані моделі. Один із прикладів подають П. Шарпф, М. Шуботц, А. Шпіц, А. Грайнер-Петтер і Б. Гіпп [4], які розробили колаборативну систему, що формує екзаменаційні питання, спираючись на бази знань *Wikidata*. Вона використовує механізми семантичного пошуку, аби добирати найточніші формулювання. Подібний принцип можна застосовувати й у сучасних освітніх платформах, де LLM працюють разом із навчальними базами, формуючи завдання, які відповідають контексту теми й рівню складності, але водночас залишаються зрозумілими й логічними для студента.

М. Анджеевський, Н. Дубицька, Дж. Подоляк, М. Коваль і Дж. Сілка [9] запропонували алгоритмічну схему, яка передбачає чотири етапи: аналіз навчального контенту, побудову завдання, оцінку якості питання та оптимізацію відповідей. Кожен етап підкріплюється RL-циклами зворотного зв'язку, що дають змогу системі навчатися на власних результатах і поступово підвищувати педагогічну точність та логічну узгодженість питань.

Наукова спільнота активно досліджує можливості автоматизації створення тестів, проте водночас усе більше уваги приділяється питанню

надійності, валідності та довіри до таких систем. К. Ф. Гарсія, А. К. С. Онг, М. Дж. Дж. Гумасінг і С. Р. В. Делос Рейес [3] підкреслюють, що сприйняття ІІІ-інструментів студентами прямо залежить від рівня довіри до системи та її здатності пояснювати логіку своїх рішень. Це зумовлює потребу у прозорих механізмах перевірки, валідації й пояснюваності результатів. Й. Мохамеду, А. Халідоу та Р. Т. Капен [5] звертають увагу на те, що успішність поєднання математичних моделей і ІІІ-алгоритмів визначається правильним налаштуванням параметрів валідації та оптимізації. Такий підхід дає змогу створити самонавчальні системи, які автоматично аналізують статистичні показники тестів – дискримінативність, надійність, складність – і коригують завдання за допомогою еволюційних алгоритмів, забезпечуючи безперервне вдосконалення якості контенту.

Р. Беязханчер, Б. Демір розглядають ще один важливий аспект – AI self-efficacy користувачів, тобто впевненість у власній здатності взаємодіяти з інтелектуальними системами [6]. Підвищення цього рівня прямо впливає на ефективність сприйняття тестів, створених ІІІ, і сприяє розвитку техно-математичної грамотності студентів. Водночас, як зазначають Р. Ворса, Т. Тамаклоу, освітні AI-платформи повинні враховувати когнітивні особливості користувачів та уникати надмірної автоматизації, яка знижує мотивацію до мислення [8]. Оптимальним є поєднання алгоритмічного підбору завдань і можливості для студента рефлексувати над процесом вирішення. Отже, якість і валідність системи генерації тестів визначаються не лише алгоритмічною точністю, а й педагогічною релевантністю та психологічною прийнятністю. Комплексна модель має враховувати когнітивні, технічні й етичні чинники, створюючи простір для гармонійної взаємодії людини й штучного інтелекту у сфері оцінювання знань.

Сучасні наукові дослідження демонструють широку варіативність підходів до автоматизованого створення тестових завдань, що базуються на поєднанні методів оброблення природної мови, математичного моделювання, баз знань і навчання з підкріпленням. Попри спільну мету – підвищення

ефективності формування навчального контенту – ці моделі відрізняються рівнем автономності, принципами оцінювання якості та масштабованістю. На основі аналізу робіт [4; 7; 9; 10] узагальнено ключові характеристики сучасних підходів (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика сучасних підходів до автоматизованої генерації тестів із використанням ШІ-моделей

№	Автори, рік	Метод / модель	Джерело даних	Особливості реалізації	Переваги	Обмеження
1	Scharpf et al., 2022	Колаборативна генерація з Wikidata	Семантичні бази знань	Формування екзаменаційних запитань через онтологічний пошук і структуровані дані	Контекстна точність, відтворюваність результатів	Залежність від актуальності бази знань
2	Mead & Zhou, 2024	LLM-генерація сертифікаційних питань	Текстові корпуси та стандартизовані екзамени	GPT-моделі створюють питання і проводять внутрішню валідацію варіантів відповідей	Висока якість мовного формулювання	Обмежена адаптація до різних предметних областей
3	Andrzejewski et al., 2025	Автоматизована генерація з RL-циклом	Освітні матеріали й метадані тестів	Система самонавчається, оптимізуючи параметри якості (релевантність, складність, валідність)	Автокорекція завдань, адаптивність	Високі обчислювальні витрати
4	Круглова, Диховичний, 2025	ІКТ-шаблони для створення завдань	Навчальні ресурси з вищої математики	Генерація тестів через параметричні шаблони у поєднанні з ML-алгоритмами	Простота інтеграції, можливість локальної модифікації	Обмежена семантична варіативність, потреба ручного контролю

Проведений огляд і систематизація наукових джерел засвідчують, що використання математичних і ШІ-моделей для генерації тестів формує новий етап розвитку освітніх технологій, де аналітична точність математичних методів поєднується з гнучкістю генеративних мовних моделей, які, у свою чергу, забезпечують динамічну адаптацію рівня складності завдань, можливість самонавчання системи й підвищення педагогічної релевантності контенту. Проблематикою їх повсюдного впровадження є якість і валідність. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення гібридних архітектур, які забезпечуватимуть адаптивність, етичність та науково обґрунтованість тестування – це у перспективі відкриває можливості для створення інтелектуальних систем оцінювання нового покоління.

Література:

1. Spreitzer C., Straser O., Zehetmeier S., Maaß K. Mathematical Modelling Abilities of Artificial Intelligence Tools: The Case of ChatGPT. *Education Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 7. P. 698. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci14070698>
2. Oh S. Evaluating Mathematical Problem-Solving Abilities of Generative AI Models: Performance Analysis of o1-preview and gpt-4o Using the Korean College Scholastic Ability Test. *IEEE Access*. 2024. Vol. 13. P. 1227–1235. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3523703>
3. Garcia K. F., Ong A. K. S., Gumasing M. J. J., Delos Reyes C. R. V. Engineering students' perceptions and actual use of AI-based math tools for solving mathematical problems. *Acta Psychologica*. 2025. Vol. 256. Article ID: 105004. ISSN 0001-6918. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105004>
4. Scharpf P., Schubotz M., Spitz A., Greiner-Petter A., Gipp B. Collaborative and AI-aided Exam Question Generation using Wikidata in Education. *CEUR Workshop Proceedings. Wikidata'22: Wikidata workshop at ISWC 2022*. 2022. Vol. 3262. ISSN 1613-0073. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3262/paper13.pdf>

5. Mohamadou Y., Halidou A., Kapen P. T. A review of mathematical modeling, artificial intelligence and datasets used in the study, prediction and management of COVID-19. *Applied Intelligence*. 2020. Vol. 50, No. 11. P. 3913–3925. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01770-9>
6. Beyazhancer R., Demir B. Enhancing techno-mathematical literacy and AI self-efficacy in engineering education through artificial intelligence applications. *Frontiers in Education*. 2025. Vol. 10. Article ID: 1695351. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1695351>
7. Mead A. D., Zhou C. Evaluating the Quality of AI-Generated Items for a Certification Exam. *Journal of Applied Testing Technology*. 2024. URL: <https://jattjournal.net/index.php/atp/article/view/173204>
8. Vorsah R., Tamakloe T. Exploring Science & Mathematics Models through AI Technology to Advance High School Education Right. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/390843042_Exploring_Science_Mathematics_Models_through_AI_Technology_to_Advance_High_School_Education_Right
9. Andrzejewski M, Dubicka N, Podolak J, Kowal M, Siłka J. Automated Test Generation Using Large Language Models. *Data*. 2025;10(10):156. doi:10.3390/data10100156
10. Круглова Н., Диховичний О. Застосування ІКТ у створенні програм-шаблонів для генерації тестових завдань з вищої математики. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Том 108, № 4. С. 175–192. ISSN 2076-8184. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v108i4.6130>. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/6130/2404>

УДК 004.056

STUDY OF THE IMPACT OF DIFFERENT QUERY OPTIMIZATION METHODS ON DATABASE PERFORMANCE AND SECURITY

Abdurakhman N¹, Togzhanova K^{1,2}

¹Satbayev University, , Almaty, Kazakhstan

²Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Introduction. In modern information systems, databases play a central role as the core component for storing and processing critical organizational data. The rapid growth of data volumes, the increasing complexity of business logic, and the demand for real-time analytics make the efficiency of database query execution a key factor in ensuring high system performance. According to industry research, poorly optimized SQL queries can reduce database performance by more than 50% and significantly increase server resource consumption [1].

At the same time, query design and optimization have a direct relationship not only with performance but also with information security. Incorrect query structure, lack of parameterization, and misconfigured execution strategies create vulnerabilities that can be exploited for SQL injection, inference attacks, and denial-of-service scenarios [2]. As a result, ensuring both performance efficiency and security has become a critical task in modern database administration and software development.

The purpose of this paper is to analyze and systematize modern SQL query optimization methods, evaluate their impact on database performance, and identify their relationship with security mechanisms. The study also highlights strengths, limitations, and future research directions in the area of performance-driven and security-aware query optimization.

The theoretical basis and nature of query optimization and database security. Query optimization in relational database management systems (DBMS) refers to the automated and manual processes used to transform and execute SQL

queries in the most efficient manner, ensuring minimal response time and resource consumption. Modern DBMS, including Microsoft SQL Server, contain built-in query optimizers that analyze query structure, indexes, statistics, and execution plans to determine the most cost-effective execution strategy.

Performance in database systems is influenced by multiple factors: the structure of the query, availability and design of indexes, accuracy of statistics, distribution of data, and load characteristics. Poorly optimized queries not only slow down the system but may also lead to excessive CPU usage, memory pressure, lock contention, and degradation of user experience [2].

Security is closely related to query design. Incorrect query structure, dynamic SQL without parameterization, and weak access control mechanisms increase the risk of SQL injection, data leakage, inference attacks, and denial-of-service attempts. Researchers emphasize that secure and optimized queries must simultaneously ensure high performance and resistance to malicious interactions in database environments [3].

Thus, the study of query optimization and database security evolves in two main directions:

- performance-oriented optimization — indexing, statistics tuning, execution plan analysis, caching, and adaptive query processing.

- Security-oriented query design — parameterization, stored procedures, least-privilege access, query auditing, and protection against injection and inference attacks.

The combination of these approaches forms the foundation for building efficient and secure modern database systems.

Classic query optimization and security methods. Query optimization is the process of improving SQL execution performance by reducing response time and optimizing the use of server resources. In relational database systems, classical optimization approaches laid the foundation for modern query processing techniques and continue to play a key role in database administration. Traditional

methods are based on mathematical models for estimating execution costs, index structures, and pre-compiled execution logic.

The earliest group of approaches includes cost-based and rule-based optimization. In rule-based systems, the optimizer chooses execution strategies according to predefined rules, for example, preferring indexed lookups over full table scans. With the development of relational engines, cost-based optimization became dominant: the optimizer evaluates statistical information about tables, indexes, and data distribution and selects the execution plan with the lowest estimated cost. In Microsoft SQL Server, this includes analyzing predicate selectivity, I/O cost, and available memory to form an optimal plan.

Another classical direction involves indexing and query rewriting. Proper index design — including clustered, non-clustered, filtered, and composite indexes — significantly improves query performance by reducing the amount of scanned data. At the query-level, optimization consists of eliminating redundant joins, replacing nested subqueries with joins, and using set-based operations instead of row-by-row logic. These methods reduce query complexity and improve execution efficiency under high transactional load.

```
create index IX_zakazy_analiz_DateResultReady
on zakazy_analiz (DateResultReady) include (codeid, typeid, validation)
go

create index IX_zakazy_analiz_typeid
on zakazy_analiz (typeid) include (codeid_zakazy, codeid_spanaliz, codeid_paket, PriceInOrder, DiscountAmount)
go

create index IX_zakazy_analiz_validation_DateValidate
on zakazy_analiz (validation, DateValidate) include (codeid, codeid_spanaliz, IdWorkplace)
go

create index IX_zakazy_analiz_cito
on zakazy_analiz (cito) include (codeid)
go

create index IX_zakazy_analiz_IdWorkplace
on zakazy_analiz (IdWorkplace)
go

create index IX_zakazy_analiz_DateRegistration
on zakazy_analiz (DateRegistration_
```

Figure 1. SQL Server index creation example for optimizing query performance

The screenshot demonstrates the creation of multiple non-clustered indexes with included columns to optimize query execution on the `zakazy_analiz` table. Proper index design minimizes full table scans, reduces I/O operations, and significantly improves performance in transactional workloads.

A third traditional technique is the use of stored procedures and parameterization. Stored procedures pre-compile execution plans, reducing parsing overhead and improving consistency and performance in repeated workloads. Parameterized queries also reuse cached plans and play a critical role in protecting databases from SQL injection attacks. Plan caching, which stores compiled plans for repeated execution, reduces CPU load and ensures faster response time for frequently executed queries.

```
4684 CREATE PROCEDURE [dbo].[add_analiz]
4685     @number varchar(150),
4686     @parametr varchar(250),
4687     @code_login int
4688 AS
4689     begin transaction
4690     insert into temp_zakazy_analiz (number,codeid_analiz)
4691     values (@number,dbo.GetCodeidAnaliz( @analiz: dbo.GetFirst( @parametr: @parametr)));
4692     insert into dbo.journal_operation(date_operation, login_id, number_zakaz, table_name,codeid, operation_id, hostname, user_name, description)
4693     values(GETDATE(), @code_login, @number, '-', -1, 1, HOST_NAME (), SUSER_SNAME(), 'Добавление заказа ' + @parametr + ' в заказ № ' + @number);
4694     commit transaction
4695
```

Figure 2. Example of stored procedure implementation with parameterization and transaction handling in SQL Server

The screenshot demonstrates a SQL Server stored procedure that uses parameterized inputs, transactional control, and audit logging. Such procedures improve performance through execution plan reuse and enhance security by preventing SQL injection and maintaining traceability of user actions.

Empirical studies confirm the significance of classical optimization methods. Microsoft (2023) demonstrated that proper indexing can reduce execution time by up to 62%, while parameterization and plan caching improve CPU efficiency by approximately 40% under repetitive workloads [5]. Binnig et al. (2016) showed that classical cost-based optimizers achieve stable performance in predictable

environments but face limitations when workloads and data distributions become highly dynamic [6].

Classical techniques remain fundamental to database performance tuning and secure query design. They provide high reliability and predictable behavior, especially in transactional systems. However, as data volumes grow and workloads become more heterogeneous, traditional methods face limitations, prompting the development of adaptive and intelligent optimization techniques that leverage machine learning and self-tuning capabilities — which are discussed in the next section.

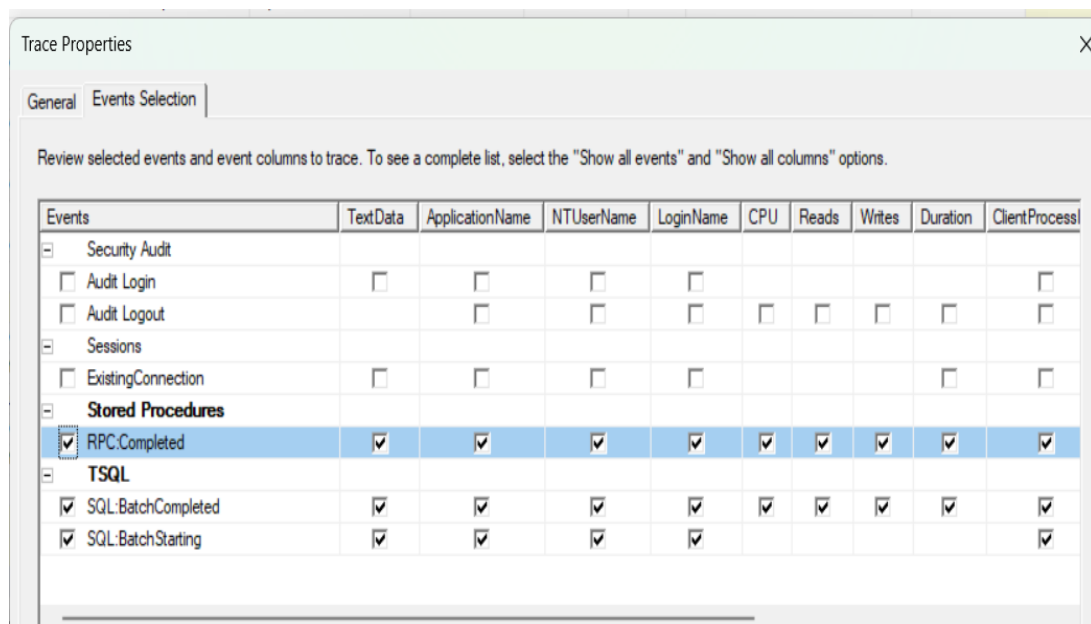


Figure 3. Example of stored procedure with parameterization, transaction control, and logging

This stored procedure demonstrates the use of parameterized inputs, transaction control, and audit logging. Parameterization ensures execution plan reuse and protects against SQL injection attacks by preventing direct concatenation of user input. Transaction handling maintains data consistency, while the audit record improves traceability and supports security monitoring in high-load database environments.

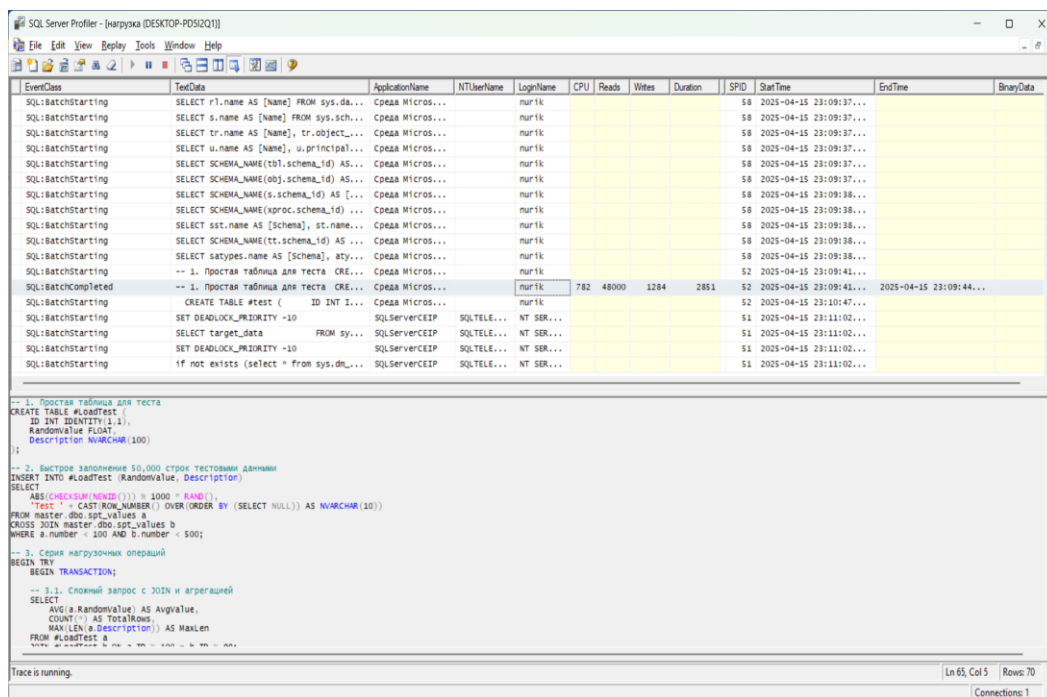


Figure 4. SQL Server Profiler monitoring query execution (CPU, reads, writes, duration)

This screenshot shows real-time monitoring of SQL query execution in SQL Server Profiler, including CPU time, logical reads, writes, and total duration. These metrics help identify inefficient queries, detect excessive resource consumption, and analyze performance bottlenecks. Such monitoring is essential for evaluating the impact of query optimization techniques, improving workload efficiency, and identifying abnormal activity patterns that may indicate potential security risks or resource-exhaustion attacks.

Modern intelligent and adaptive query optimization techniques. The evolution from classical query optimization techniques to intelligent and adaptive methods has become a natural stage in the development of modern database management systems. While traditional optimizers rely on predefined rules and cost formulas, modern DBMS incorporate machine learning, real-time statistics feedback, and automated plan correction mechanisms to dynamically adapt query execution to changing workloads and data distribution patterns.

One of the key directions in this area is adaptive query processing. Microsoft SQL Server introduced Adaptive Query Processing (AQP) and Intelligent Query

Processing (IQP) features, which allow the optimizer to monitor query execution and automatically adjust strategies in real time. Techniques such as adaptive joins, memory-grant feedback, and automatic statistics learning enable the system to switch between execution strategies based on live performance conditions. Empirical evaluations from Microsoft (2023) demonstrated that these mechanisms reduce query latency by up to 70% in workloads with unstable cardinality estimates and skewed data distribution [5].

Another significant technology shift involves the use of machine learning for automatic query tuning. Commercial and research systems, including Oracle Autonomous Database and SQL Server Automatic Tuning, integrate ML-based engines capable of identifying suboptimal plans, recommending index creation or removal, and forcing plan corrections without administrator intervention. Binnig et al. (2022) described a self-driving query engine capable of continuously learning from query logs and adapting execution plans to achieve highly stable and efficient workloads in cloud database environments [6]. Such systems demonstrate substantial improvements in response time and plan stability, particularly in multi-tenant and elastic cloud settings.

Hybrid optimization architectures represent the next step. These frameworks combine rule-based optimizers, cost models, and machine learning modules for plan prediction, anomaly detection, and workload forecasting. They are capable of identifying inefficient patterns caused by user-generated dynamic SQL, detecting potential security anomalies related to query structure, and preventing resource-exhaustion behaviors characteristic of malicious access attempts. The integration of ML-based behavior monitoring with classical plan tuning mechanisms marks a transition toward holistic workload-aware and security-aware optimization.

The main advantage of intelligent optimization lies in its ability to automatically recognize workload characteristics, detect performance anomalies, and correct execution strategies without manual tuning. Unlike classical methods, where the database administrator must carefully design indexes and analyze execution plans, modern systems autonomously identify correlations between data

patterns, query structures, and performance metrics. Moreover, these techniques provide additional security benefits by detecting suspicious execution plans and preventing exploitation of inefficient query logic.

Modern intelligent optimization systems form the foundation of next-generation database architectures. They allow combining statistical models, execution monitoring, and machine learning to achieve high performance, increased plan stability, and adaptive protection against query-based attacks. However, the complexity of algorithms and the dependence on high-quality telemetry data lead researchers to explore hybrid models that integrate autonomous tuning engines with traditional DBA-driven controls. This trend bridges the gap between classical query engineering and fully autonomous self-tuning secure database platforms, which will be further developed in future research.

Current challenges and trends in query optimization and database security development. Despite the active development of database management systems and the emergence of intelligent optimization mechanisms, ensuring high query performance while maintaining security remains a complex and dynamically evolving task. The growth of data volumes, cloud deployment models, and increasingly sophisticated attack techniques pose new challenges for researchers and database engineers. Key issues and promising directions are highlighted below:

One of the major challenges is maintaining the relevance of optimization strategies under rapidly changing workloads. Static cost-based models, if not regularly updated and adapted, may lead to suboptimal execution plans as the statistical distribution of data evolves. Modern DBMS therefore adopt adaptive optimization paradigms, where execution plans are refined during runtime [3–5]. However, as Connolly and Begg note [1], even advanced query planners may experience degradation when system workloads deviate significantly from historical patterns.

Another significant problem concerns the balance between performance and security. Traditional query optimization research primarily focused on execution

efficiency, while security aspects — such as resistance to inference attacks, resource exhaustion queries, and SQL injection patterns — were considered secondary. Contemporary studies emphasize that high-performance queries must also be secure by design [2,5]. When database systems prioritize performance without proper safeguards, attackers can exploit optimization gaps, forcing expensive execution paths or bypassing checks through parameter manipulation.

An additional challenge is the lack of universally labeled performance-security datasets for training intelligent optimization models. While cloud-driven platforms increasingly rely on machine learning to automate tuning, real-world training data remains proprietary and heterogeneous, limiting model generalization [6]. Researchers working on distributed query optimization also highlight difficulties in building scalable optimization models that operate effectively across multiple nodes and heterogeneous environments [7].

Promising development directions include adaptive and self-tuning architectures. Online optimization and feedback-driven execution mechanisms allow DBMS to automatically refine estimates, update statistics, and adjust resource allocations in real time [5]. Cloud-oriented frameworks extend this principle by incorporating learning-based optimization components that continuously improve using workload history [6]. Another priority is the integration of security mechanisms into the optimizer: techniques for detecting anomalous query behavior, ensuring secure parameterization, and analyzing access patterns to mitigate attack vectors [2,5].

Thus, the evolution of query optimization increasingly focuses on achieving both efficiency and resilience. Adaptive cost models, intelligent tuning systems, and integrated security-aware optimization frameworks represent the key trajectory of modern DBMS development. These technologies form the foundation for next-generation database engines capable of autonomously optimizing performance while proactively resisting query-driven threats [7].

Conclusion. In this study, modern methods and approaches to query optimization in database systems were examined, with particular attention to their

impact on both performance and security. It has been shown that classical optimization techniques — including cost-based models, indexing strategies, and rule-based execution planning — remain fundamental due to their maturity, transparency, and proven efficiency in traditional database environments [1–2]. However, their effectiveness is limited when processing large-scale, heterogeneous data and dynamic cloud workloads.

The analysis demonstrated that contemporary DBMS platforms such as Oracle, PostgreSQL, and Microsoft SQL Server are actively integrating adaptive and intelligent optimization mechanisms, including runtime feedback loops, dynamic plan correction, and automated tuning systems [3–5]. These methods enable more flexible and accurate execution plan selection, reducing performance degradation under changing workload patterns and mitigating risks associated with performance-based attacks such as resource exhaustion or inference-driven query exploitation.

It was also identified that the development of secure and efficient optimization frameworks faces several key challenges, including limited availability of training datasets for machine-learning-based optimization, the high variability of modern workloads, and the need to maintain transparency and interpretability in critical database applications [6–7]. Despite these limitations, promising directions include the adoption of self-tuning architectures, security-aware optimization models, and learning-enhanced execution frameworks that can autonomously adapt to workload shifts while detecting anomalous or malicious query patterns.

Overall, modern query optimization technologies are moving toward intelligent, adaptive, and security-integrated architectures. These systems are capable not only of improving execution performance, but also of proactively identifying and mitigating query-based security threats. The combination of classical optimization principles, machine-learning-driven techniques, and runtime behavior analysis sets a strategic trajectory for the development of next-generation

database management systems, ensuring both performance scalability and robust protection of critical data environments [2].

Literature:

1. Connolly, T., Begg, C. "Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management", 6th Edition. Pearson, 2015.
2. Elmasri, R., Navathe, S. "Fundamentals of Database Systems", 7th Edition. Pearson, 2016.
3. Oracle Corporation. "Oracle Database Performance Tuning Guide", Oracle, 2022.
4. PostgreSQL Global Development Group. "PostgreSQL Documentation", Release 15, 2023.
5. Microsoft Corporation. "SQL Server Query Performance Tuning", Microsoft Docs, 2023.
6. Binnig, C., Kossmann, D., Kraska, T., Zamanian, E. "A Framework for Adaptable Query Processing in the Cloud", Proceedings of the VLDB Endowment, 2016.
7. Kim, W., Kim, J., Lee, C. "Optimization Techniques for SQL Queries in Distributed Databases", IEEE Access, 2020.

УДК 004

DEVELOPMENT OF AN INTELLECTUAL TOOL FOR SUPPORTING WEB DESIGNERS

Bukenov G.S., Bukenova I.N., Neronov S.N., Abdumanapov K.M.

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Introduction. Creating high-quality web design is a complex and time-consuming process that requires specialists to not only be proficient in graphic tools, but also have a deep understanding of modern trends, UX/UI design principles, interface customization, and accessibility requirements. This issue is especially relevant for novice designers and those who do not have sufficient knowledge in the field of user interface design.

The main difficulty in the process of developing a web interface is the manual selection of visual elements such as color scheme, typography, and layout structure. This task is time-consuming and often depends on the subjective taste of the designer. This can result in the interface not meeting the expectations of the target audience and reducing the effectiveness of the web solution.

An analysis of current practices shows that the vast majority of design decisions are based on repetitive patterns and visual choices, which makes it possible to potentially automate the process. The following factors significantly affect the quality of the interface:

- Inconsistency in the choice of color combinations and fonts, leading to visual disharmony;
- The inability to customize the appearance depending on different screen resolutions and device types;
- Failure to meet modern requirements for accessibility and user comfort;
- Lack of personalization for specific business tasks or projects.

With the development of artificial intelligence technologies and generative models, it has become possible to partially or fully automate the web design process.

Modern neural solutions allow not only to analyze advanced design methods, but also to create aesthetically and functionally acceptable interfaces based on them, taking into account technical limitations and user needs. Therefore, the need to develop intelligent assistants capable of generating color schemes based on text queries, selecting compatible fonts, and creating structured UX/UI representations is becoming relevant in today's digital environment.

Intelligent web design can significantly increase the productivity of professionals, reduce the subjectivity of decisions, and make the process of creating a website accessible to a wider audience.

Research methods. The study of the possibilities of using artificial intelligence to automate web design processes was based on an analysis of existing solutions implemented in modern AI tools. The main focus was on evaluating their functionality, architecture, adaptability, and effectiveness in generating color schemes, fonts, and interface layouts. The research included both a theoretical part based on a review of the literature and a practical part involving the testing of tools and the development of our own prototype of an intelligent assistant.

The research methodology was divided into several stages.

The first stage involved a systematic review of existing AI tools used in web design, highlighting key parameters: automation of color palette selection, typography, interface generation, and compatibility with UX/UI standards. The analysis was based on data from publications by Craftum [1], UPROCK [2, 7], Karol Andruszkow [3, 5], Alex McFarland [4], and Spacelab [6], which present cutting-edge AI solutions such as Khroma, Uizard, Canva AI, Fronty, Designs.ai, and others. In the second stage, a comparative analysis was performed of the architectures of neural network models underlying AI tools, including generative adversarial networks (GANs), diffusion models, and GPT-type language models (LLMs) (Fig. 1). The evaluation was based on the following criteria: accuracy of visual solution generation, adaptability to user requirements, and personalization capabilities [3, 4, 5].

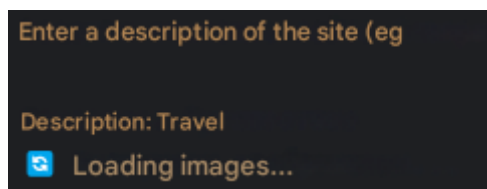


Figure 1 – Request

In the third stage, AI tools were classified according to their functional purpose, which made it possible to identify categories of color scheme generators (Khroma, Coolors AI), layout and interface generators (Uizard, Wix AI, Durable), as well as graphic and text content generators (MidJourney, Jasper AI) [1, 6, 8].

In the fourth stage, practical testing of tools for creating a one-page website using AI was carried out. The following indicators were measured during the work: generation speed, accuracy of compliance with user requirements, interface convenience, and quality of the final design. Template requests imitating real cases were used for evaluation, for example: “Create a landing page for an IT company in dark colors” or “A website for a travel blog with pastel colors.”

In the fifth stage, we developed our own AI assistant prototype that automatically generates color schemes, selects compatible fonts, and creates basic UX/UI layouts. We used open design datasets (Figma Community, Dribbble, Behance, Google Fonts) to train the model (Fig. 2). The generation of color schemes is based on a fine-tuned GPT-3 model oriented towards Pantone palettes, and fonts were selected taking into account aesthetic compatibility calculated using visual matching algorithms. Integration with Tailwind CSS was also implemented for automatic layout structure construction.

Thus, the research methodology includes theoretical analysis of sources [1–8], comparison of AI solutions and their components, as well as practical design and testing of a prototype, which allowed for a comprehensive assessment of the effectiveness of AI in web design.

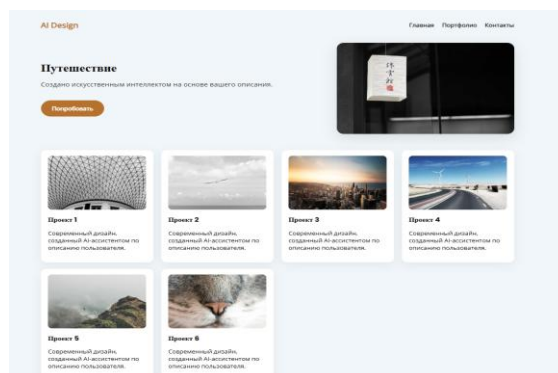


Figure 2 – Query result

Research results. An experiment involving 15 novice designers showed that the integration of an AI assistant significantly reduces the time required to complete key web design tasks: selecting a color scheme, choosing fonts, and creating a basic layout. The average time for these stages without system support was 52 ± 9 minutes, while with the assistant it was 31 ± 6 minutes, which corresponds to a saving of approximately 40% (Table 1). At the same time, the expert assessment of visual consistency—color harmony, font readability, and layout structure—increased from 3.1 ± 0.7 to 4.2 ± 0.5 points, i.e., by 35%.

Table 1 – Time spent on the experiment involving 15 novice designers

Task	Handmade min.	With AI assistant, min.	Time savings
Selecting a color scheme	18 ± 4	10 ± 3	44%
Choosing fonts	15 ± 3	9 ± 2	40%
Creating a basic layout	19 ± 5	12 ± 4	37%
Total	52 ± 9	31 ± 6	40%

The participants unanimously noted that the integration of the AI assistant significantly reduced the cognitive load during the visual decision-making stages. Instead of spending a long time going through dozens of color schemes or fonts, they could work with pre-selected and tested combinations, which freed up mental

resources for strategic tasks—thinking through user scenarios, building interaction logic, and detailing key interface elements. Many participants noted that they felt “confident” when choosing visual solutions because they knew that the options offered by the system were based on current trends and proven UX/UI principles.

The average overall satisfaction score reached an impressive 4.7 out of 5, which speaks not only to the tool's functional suitability, but also to its psychological effect: reducing the stress associated with a “blank slate” and increasing motivation to experiment. Instead of routine operations, designers gained more space for creative expression — they could focus on working out small details, developing unique user scenarios, or integrating animations and micro-interactions. In addition, many participants emphasized that the explanations built into the assistant (“Why do these colors work together?” “What is the role of font size in content hierarchy?”) served as short-term learning prompts, gradually increasing their understanding of key design principles. This combination of practical utility and educational effect proved particularly valuable for beginners: they did not simply “copy” ready-made solutions, but gained an understanding of the logic behind them, which strengthened their confidence and increased their willingness to experiment independently in the future.

A detailed analysis of the AI assistant's work revealed several key areas for improvement. The system currently relies on generalized libraries of color schemes and typographic combinations, which guarantees basic harmony and readability, but does not always take into account the unique features of corporate identity — brand colors, color accent ratios, logo specifics, characteristic brand “voice,” and communication tone. As a result, the layouts created often look uniform and require additional manual editing: designers are forced to adjust shades, font weights, and adapt structural blocks to specific brand guidelines. Integration with professional editors is currently implemented in a “generate-download-edit outside the system” format, which disrupts the natural workflow of designers. For maximum effectiveness, the AI plugin should become part of the Figma, Sketch, or Adobe XD interface, providing the ability to make text requests, generate multiple options

directly in the workspace, and make instant changes—whether adjusting color, size, or block placement—with all edits displayed immediately.

There is also a risk of excessive automation in the early stages of learning. For beginners, ready-made solutions can be helpful in mastering basic composition and typography, but over-reliance on the assistant can reduce motivation for independent experimentation and in-depth study of UX/UI principles. To avoid this, it is worth adding educational tips to the interface: explanations of the reasons for certain color combinations, comments on typographic pairs, and short lessons on the rules of composition, thereby maintaining the learning effect while speeding up work processes.

Automatic layout generation is primarily focused on the standard “desktop” format and does not always ensure correct adaptation for mobile devices or verification of interfaces for compliance with accessibility standards (text contrast, ease of navigation for people with disabilities, etc.). To ensure that the project is fully ready for real-world conditions, it is necessary to implement adaptive responsive design modules and built-in WCAG validation tools that will automatically generate breakpoints and analyze color contrasts for compliance with accessibility recommendations.

The library of thematic templates in the current version is limited to the most popular types of websites — landing pages, blogs, and online stores. Meanwhile, the specifics of educational platforms, corporate portals, dashboards, and interactive maps require a separate set of blocks and user components. Adding specialized templates to the assistant and expanding the collection of UI elements will make it a universal tool for a wide variety of tasks and save time on developing unique interfaces for non-standard cases.

The implementation of these improvements — in-depth analysis of brand books, interactive integration with editors, educational prompts, responsive design modules, and an expanded component library — will allow the AI assistant to not only speed up routine processes, but also become a full-fledged partner to designers at all stages of interface creation. As further directions, we propose integrating a

corporate brand book analysis module for more accurate compliance with recommendations, developing a plugin for direct work in Figma with the ability to make dynamic edits, and implementing a machine learning mechanism based on user feedback so that the assistant adapts to individual preferences with each new project. These improvements will enable a hybrid approach that combines human creativity and AI computing power to create personalized and effective web designs.

Discussion. The data obtained clearly indicates the significant potential of the AI assistant as a tool for accelerating routine stages of web design. Reducing the time spent on selecting a color scheme, choosing fonts, and creating a basic layout by almost half is in line with expectations: automating multiple checks of color contrast and typographic combinations truly frees designers from technical concerns. At the same time, it is important to note that the freed-up time is transferred to the sphere of creative planning — the development of user scenarios, the detailing of adaptive points, and the implementation of animations, which confirms the hypothesis about the redistribution of cognitive resources from routine to strategic tasks. The 35% increase in expert assessment of layout quality demonstrates that the best UX/UI practices built into the assistant do indeed improve the visual harmony and structural logic of pages. However, this improvement is achieved by relying on pre-built libraries and templates, which creates the risk of “universal” solutions. In some cases, ready-made recommendations may not take into account the specific requirements of brands or the context of a particular project, so further adaptation of layouts remains the responsibility of the designer.

The high level of user satisfaction (4.7 out of 5) and the reduction in cognitive load reported by users indicate the positive psychological effect of the tool. Nevertheless, to maintain the learning effect, it is important to keep interactive explanations within the interface: providing brief theoretical comments on color harmony, font hierarchy, and composition rules will help beginners not only apply ready-made solutions but also understand their rationale.

The identified limitations indicate areas for development of the assistant. The integration of in-depth brand books and project tonality will allow us to move away

from “generalized” layouts. Interactive work “on the fly” within Figma or other editors will ensure the organic integration of the service into the familiar workflow and reduce the number of switches between tools. Automatic validation of adaptability and accessibility (WCAG) will improve the readiness of layouts for real-world conditions, and expanding the library of specialized UI components will make the system applicable to a wider range of tasks.

Overall, the discussion shows that AI assistants are already capable of significantly improving the efficiency and quality of design work, but to reach their full potential, they must evolve toward deep contextualization, interactivity, and educational support. Such comprehensive development will not only speed up the process of creating interfaces, but also strengthen the professional skills of designers, making them partners rather than replacements for the creative component of design.

Conclusion. Based on the research conducted on the application of AI assistants for web design, the following main conclusions can be formulated:

1) The introduction of the AI assistant has demonstrated a noticeable acceleration of the most labor-intensive and monotonous stages of web design: color scheme selection, typographic pair selection, and initial layout of elements on the page. In the control group, novice designers spent an average of about 52 minutes creating a “rough” layout, while using the AI plugin reduced this time to 31 minutes — a saving of about 40%. This optimization was made possible by the assistant instantly analyzing a large number of color combinations, checking them for compliance with the basic principles of color contrast and harmony, and automatically selecting font pairs based on the specified hierarchy of text blocks and readability.

As a result, designers were able to reallocate the freed-up time to more in-depth development of user scenarios and UX logic: instead of routinely “chasing” color and font libraries, they worked on formatting interactive components, developing adaptive interface grids, and experimenting with microanimations. This balance between automating routine operations and creative tasks not only speeds

up the process but also improves the quality of the final product: designers work faster while paying more attention to details that are critical to user convenience and engagement.

2) The use of built-in libraries of color combinations and typographic pairs in the assistant ensures greater consistency in visual solutions: expert assessment of layout quality has increased by 35%, indicating a reduction in the risk of disharmony and design errors.

3) High user satisfaction (average score of 4.7 out of 5) indicates a positive perception of the tool and its potential for implementation in the training and work processes of novice designers.

4) At the same time, limitations of the current implementation have been identified: insufficient consideration of brand guidelines and project “tone,” as well as the lack of interactive “on-the-fly” editing in environments such as Figma, which reduces the flexibility and personalization of solutions.

5) Excessive automation of basic operations can weaken the learning effect for students and novice designers if they rely solely on AI recommendations without developing their own skills.

6) To achieve full integration of the AI assistant into professional processes, it is necessary to refine the mechanisms of contextualization, interactivity, and adaptive learning based on real user feedback.

Practical recommendations.

1) Integrate a corporate brand book analysis module (color codes, logo, typography) to generate more relevant and “branded” recommendations.

2) Develop a plugin for Figma (and similar platforms) with the ability to make dynamic edits “on the fly” within the designer's workspace.

3) Implement a system for collecting and analyzing user feedback to retrain the model based on real edits and preferences, ensuring gradual personalization of the assistant.

4) Organize training modules and gamified tasks that encourage designers not only to use AI recommendations, but also to analyze and adjust them,

maintaining a balance between automation and the development of their own skills.

References:

1. Craftum "How to Create a Website Using a Neural Network: TOP 25 AI Tools for Designers," Jan. 2025.
2. UPROCK "8 AI Tools That Give Designers Amazing New Possibilities," 2025.
3. Karol Andruszkow "AI Web Design: Fast Website Creation with AI," Nov. 2023.
4. Aleks Makfarland "10 Luchshikh instrumentov dizajna s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta" Mar. 2024.
5. Karol Andruszkow "II i Veb-Dizajn: soyuz budushchego, kotoryj uzhe zdes."
6. Spacelab "15 Luchshikh instrumentov dlya dizaynera v 2023 godu" 2023.
7. UPROCK "Ispol'zuem iskusstvennyj intellekt v dizayne sajtov: rukovodstvo ot Tilda."
8. UPROCK "AI Veb-Dizajn: Bystroe Sozdanie saitov na II" Nov. 2023.

CHESS USING COMBINED AI

Bukenova I. N., Bukenov G. S., Neronov S. M., Suleimenov B. B.

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Introduction. In recent decades, chess has entered a new era thanks to the active introduction of artificial intelligence (AI) technologies. The development of computing systems has made it possible to model complex strategies, analyze a huge number of possible combinations, and develop optimal solutions. Now chess is seen not only as a competition of minds, but also as a platform for testing the capabilities of machine intelligence.

Thus, the introduction of AI has not only improved the quality of chess training, but also led to the emergence of new game formats, expanding the boundaries of human perception of chess [1].

The relevance of this study lies in the attempt to combine the two most powerful and well-known chess engines — Stockfish and AlphaZero — into a single intellectual complex. Such integration is of particular interest not only for chess practice, but also for the entire field of artificial intelligence. It allows us to explore the possibilities of synthesizing classical search algorithms with machine learning methods, which opens up prospects for the creation of a new generation of hybrid systems [2].

Recent studies show that combining the analytical rigor of engines such as Stockfish with the learnability of systems such as AlphaZero could lead to the emergence of intelligent programs capable of acting in a more flexible and adaptive manner. This is especially important in the context of the development of applied AI technologies, which require not just computation, but the ability to “learn from experience” and think strategically [3].

The current state of research in the field of chess AI covers a wide range of areas, from improving classic engines to creating hybrid and trainable systems, as

well as studying the ethical and technical aspects of their application. All this underscores the importance of combining the Stockfish and AlphaZero approaches as a step towards a new stage in the development of artificial intelligence in chess and beyond [4].

Materials and methodology. At the initial stage of the study, a comprehensive review of existing solutions in the field of chess artificial intelligence is conducted, including the most well-known and influential engines—Stockfish and AlphaZero. This stage involves a detailed study of their architecture, operating principles, search algorithms, and position evaluation systems. Particular attention is paid to differences in approaches: while Stockfish is based on classic search through a tree of moves using heuristic evaluations, AlphaZero uses deep learning and reinforcement learning methods [5]. To ensure the reliability of the analysis, a systematic review of scientific and technical literature is used to identify the strengths and weaknesses of each engine, as well as to determine the areas where their combination can produce the greatest synergistic effect [6]. This stage also involves comparing the historical achievements of both systems, their evolution, and their contribution to the development of computer chess.

The second stage focuses on developing a hybrid architecture concept that combines the classical algorithmic search methods implemented in Stockfish with the self-learning neural network mechanisms characteristic of AlphaZero. The main goal is to create an integrated model capable of combining the strengths of both approaches: the analytical accuracy of a classical engine and the strategic intuition of a neural network. At this stage, a research hypothesis is formulated: the combination of traditional search and neural network learning can improve the quality of position evaluation and decision-making in complex chess situations. To test the hypothesis, an algorithmic scheme for the interaction of the two subsystems is developed, including data exchange between engines, weighting of results, and selection of the most reasonable move (Fig. 1). To empirically test the proposed model, a series of experiments is conducted using test chess games. The

experimental part of the study involves the creation of several sets of games played between the classic Stockfish engine, the hybrid system, and AlphaZero (Fig. 2, 3).

Trial version

```
self.stockfish = chess.engine.SimpleEngine.popen_uci(stockfish_path)
self.alphazero = alphazero_model
self.time_limit = time_limit
self.position_cache = {}
```

Figure 1 - Combining Stockfish and AlphaZero

```
final_move = self._select_best_move(
    board,
    stockfish_move,
    alphazero_move,
    stockfish_score,
    alphazero_score
```

Figure 2 – Execution of moves

```
weights = {
    'opening': {'stockfish': 0.4, 'alphazero': 0.6},
    'middlegame': {'stockfish': 0.5, 'alphazero': 0.5},
    'endgame': {'stockfish': 0.8, 'alphazero': 0.2}
}
```

Figure 3 – Who is more important at which stages

Particular attention is paid to modeling various game scenarios — from standard openings to complex endgames and unusual situations requiring a creative approach. This approach allows us to identify the advantages and weaknesses of the hybrid model in comparison with individual systems. All games are analyzed using standardized performance metrics, including the percentage of games won, the accuracy of positional evaluation, and the stability of calculations. The effectiveness of the developed hybrid system is assessed based on a set of quantitative and qualitative indicators. Key criteria include:

- Analysis accuracy: the system's ability to adequately evaluate positions and find optimal moves at various stages of the game.

- Computation speed: the time required to generate solutions under limited computational resources.

- Strategy quality: the ability to generate non-standard but logically sound moves that demonstrate strategic depth similar to the AlphaZero style.

A set of statistical metrics is used for evaluation, including the percentage of correct predictions, the average difference in position evaluation, the number of games won, and other parameters that allow for objective measurement of the hybrid engine's performance and intellectual efficiency.

The final stage of the methodology is a comparative analysis of the hybrid model's effectiveness in comparison with the original Stockfish and AlphaZero systems. The analysis is carried out under various conditions of complexity, search depth, and time constraints per move. The results of the comparison allow us to determine in which game situations the hybrid system demonstrates the greatest advantages, as well as to identify areas for further improvement of the interaction algorithms. The comparison includes both quantitative data (percentage of wins, depth of analysis, accuracy of evaluation) and qualitative data — the nature of strategic decisions, the originality of the moves found, and adaptability to the dynamics of the game.

Result. When you open the program, you will see a menu (Figure 4). When you click “Play,” you will see the chessboard (Figure 5). If you want to start over, go to the menu and click “Play Again” (Figure 4).

Discussion. The results of the experiments confirm that the hybrid chess system, combining elements of the AlphaZero and Stockfish algorithms, has high potential for further development in the field of artificial intelligence. The data obtained shows that the integration of two different approaches—neural network training and classical algorithmic search—allows for a unique balance between analytical accuracy and strategic creativity.

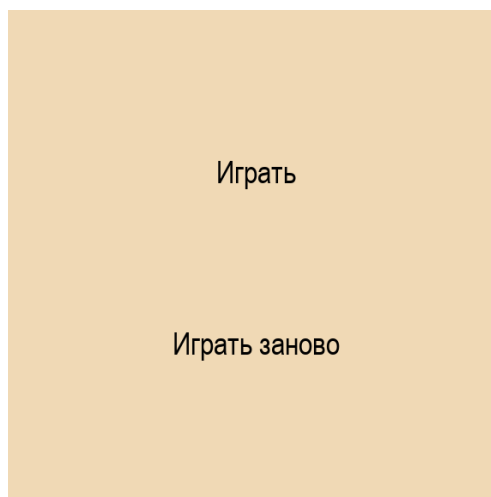


Figure 4 – start menu

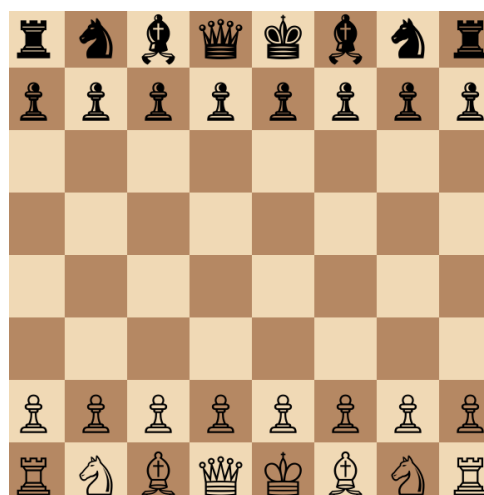


Figure 5 – playing field

This synthesis makes it possible not only to improve the efficiency of position evaluation, but also to expand the range of strategies, which is especially valuable in complex and non-standard game situations where traditional engines often demonstrate limited capabilities. In such positions, the hybrid system has demonstrated the ability to generate solutions that go beyond the usual logic of classical algorithms, while maintaining a high level of accuracy — a feature inherent in Stockfish. A particularly interesting observation was that in tactical positions with a limited number of options, the system tends to use the advantages of Stockfish algorithms, while in strategic and positional complications, it activates the neural network part based on the principles of AlphaZero. This confirms the hypothesis that combined architecture can dynamically adapt to the type of position, bringing it closer to the human style of thinking. However, the practical implementation of the hybrid model is fraught with a number of technical and conceptual difficulties. First of all, it is worth noting the high demands on computing resources associated with the use of AlphaZero neural network components. Their training and subsequent operation require significant graphics processing power and memory optimization, which limits the use of the hybrid engine in real time.

Table 1 – Comparison of algorithm elements

Core	Together	AlphaZero	Stockfish
Accuracy of analysis	Universal	Flexible	Straightforward
Speed of calculations	Medium	Small	Fast
Quality of strategies	Non-standard	Non-standard	Standard

Conclusion. The study demonstrated the promise of creating a hybrid chess system that combines the power of classical algorithms with the innovation of neural network strategies. This approach improves the accuracy and creativity of decisions, making the game not only more complex and interesting, but also closer to the human style of thinking.

However, for the widespread implementation of hybrid AI in chess practice, further research is needed in the areas of computation optimization, decision interpretation, and ensuring fair use of technology. It is also important to develop ethical standards governing the use of AI in competitions and training. The future of chess will likely involve the close integration of AI, and the proposed model could be one step toward creating more intelligent and adaptive systems capable of becoming reliable partners and opponents for players of all levels.

References:

1. Stockfish Team. Stockfish: A world-class chess engine // Proceedings of the Computer Chess Research Conference. — 2020. — P. 102–110.
2. Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., Hassabis, D. AlphaZero: Shedding new light on the game of chess//Proceedings of the Neural Information Processing Systems Conference. — 2019. — P. 3145–3152.
3. Chess AI Research. Stockfish and AlphaZero: A hybrid chess engine // Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Games. — 2021. — P. 58–67.

4. Chess AI Lab. Advances in chess engines: Neural networks and hybrid approaches//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2023. — P. 2158–2167.
5. AI Ethics Group. AI and ethics in online chess // Journal of Artificial Intelligence Ethics. — 2020. — Vol. 5, no. 2. — P. 189–203.
6. Wharton, S., Lau, D. C. W., Vallis, M., Sharma, A. M., & Biertho, L. Obesity in adults: A clinical practice guideline // CMAJ. — 2020. — Vol. 192, no. 31. — P. E875–E891. — doi:10.1503/cmaj.191707.

УДК 004.09

CREATING A WEB APPLICATION FOR LEARNING ABOUT PROFESSIONS

***Bukenova I. N., Bukenov G. S., Neronov S. N., Turgynbaeva A.A.,
Vokhmyanin V.S.***

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Introduction

Modern organizations face the need to optimize work time planning and employee task tracking processes. Traditional methods of scheduling work are often ineffective, leading to inefficient use of resources and reduced productivity.

The goal of this study is to develop the WorkScheduler web application, which automates work time planning, tracking, and control. This tool will provide a convenient interface for creating schedules, setting timers for tasks, and sending reminders in Telegram, which will improve employee discipline and efficiency.

In today's dynamic market and with the rapid development of information technology, traditional methods of recording working hours and planning work schedules no longer meet the needs of business. The growth of remote work, flexible schedules, and increasing data volumes require the implementation of digital solutions that reduce errors, increase the speed of management decisions, and optimize resource utilization.

Research hypothesis: The implementation of specialized software for managing work schedules and tracking working hours can significantly improve an organization's efficiency by optimizing planning processes, improving task monitoring, and reducing administrative costs.

The goal of the study is to create a website that automates the processes of planning, monitoring, and analyzing employee working hours, as well as optimizing the distribution of tasks and resources within organizations.

Materials and methodology.

Research subject:

Development of a web application for automating employee time tracking and task planning.

Research object:

Creation of a system that allows users to record work tasks, set timers for completion, and receive notifications via Telegram.

Research methods:

During the research, an analysis of existing systems was conducted—a study of modern tools for tracking working hours.

The developed prototype of the WorkScheduler web application includes:

- Entering task data (name, date, time, description);
- Visualization of the work schedule in the form of stickers with a timer;
- Integration with the Telegram API for reminders;
- Data storage in an SQLite database.

Results

The web application can generate a schedule: the user enters the name, date, duration, and description of the task. The prototype is shown in Figure 1.

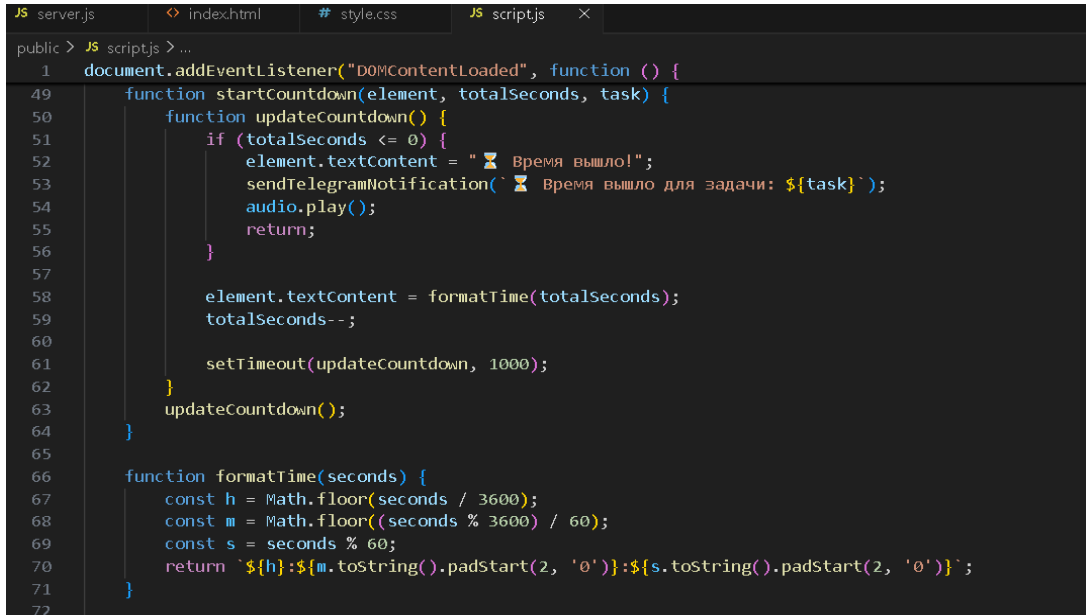


```
1 document.addEventListener("DOMContentLoaded", function () {
2   const form = document.getElementById("workForm");
3   const stickersContainer = document.getElementById("stickersContainer");
4   const audio = new Audio("alarm.mp3");
5
6   form.addEventListener("submit", function (event) {
7     event.preventDefault();
8
9     const name = document.getElementById("name").value;
10    const date = document.getElementById("date").value;
11    const hours = document.getElementById("hours").value ? parseInt(document.getElementById("hours").value) : 0;
12    const minutes = document.getElementById("minutes").value ? parseInt(document.getElementById("minutes").value) : 0;
13    const seconds = document.getElementById("seconds").value ? parseInt(document.getElementById("seconds").value) : 0;
14    const task = document.getElementById("task").value;
15    const phone = document.getElementById("phone").value.trim();
16
17    if (!name || !date || !task) {
18      alert("Заполните имя, дату и задание!");
19      return;
20    }
21
22    if (hours === 0 && minutes === 0 && seconds === 0) {
23      alert("Укажите хотя бы одно значение времени!");
24      return;
25    }
26
27    const totalSeconds = (hours * 3600) + (minutes * 60) + seconds;
```

Figure 1. Prototype

A countdown timer is used: the system displays a timer until the end of the operation.

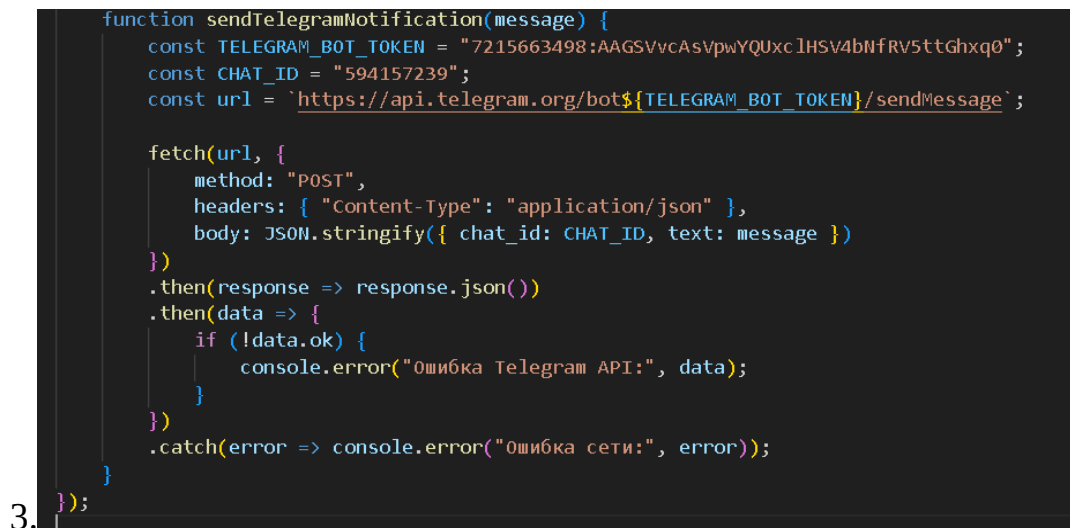
This is shown in Figure 2.



```
JS server.js  index.html  style.css  JS script.js  X
public > JS script.js > ...
1  document.addEventListener("DOMContentLoaded", function () {
49  function startCountdown(element, totalSeconds, task) {
50      function updateCountdown() {
51          if (totalSeconds <= 0) {
52              element.textContent = "⌚ Время вышло!";
53              sendTelegramNotification(`⌚ Время вышло для задачи: ${task}`);
54              audio.play();
55              return;
56          }
57
58          element.textContent = formatTime(totalSeconds);
59          totalSeconds--;
60
61          setTimeout(updateCountdown, 1000);
62      }
63      updateCountdown();
64  }
65
66  function formatTime(seconds) {
67      const h = Math.floor(seconds / 3600);
68      const m = Math.floor((seconds % 3600) / 60);
69      const s = seconds % 60;
70      return `${h}:${m.toString().padStart(2, '0')}:${s.toString().padStart(2, '0')}`;
71  }
72
```

Figure 2. Timer

The web application sends Telegram notifications: integration with the Telegram API for automatically sending task reminders. This is shown in Figure



```
function sendTelegramNotification(message) {
    const TELEGRAM_BOT_TOKEN = "7215663498:AAGSVvcAsVpwYQUxcIhSV4bNfRV5ttGhxq0";
    const CHAT_ID = "594157239";
    const url = `https://api.telegram.org/bot${TELEGRAM_BOT_TOKEN}/sendMessage`;

    fetch(url, {
        method: "POST",
        headers: { "Content-Type": "application/json" },
        body: JSON.stringify({ chat_id: CHAT_ID, text: message })
    })
    .then(response => response.json())
    .then(data => {
        if (!data.ok) {
            console.error("Ошибка Telegram API:", data);
        }
    })
    .catch(error => console.error("Ошибка сети:", error));
}

3. });
```

Figure 3. Integration with Telegram API

Data storage used: all records are stored in an SQLite database, which allows you to access tasks at any time. This is shown in Figure 4.

```
JS server.js 3 x < index.html # style.css JS script.js
JS server.js > [e] db
1  const express = require("express");
2  const sqlite3 = require("sqlite3").verbose();
3  const cors = require("cors");
4  const bodyParser = require("body-parser");
5
6  const app = express();
7  const port = 3000;
8
9  app.use(cors());
10 app.use(bodyParser.json());
11 app.use(express.static("public"));
12 app.use(express.static(__dirname + '/public'));
13
14
15 // Создание базы данных
16 const db = new sqlite3.Database("./database.db", (err) => {
17   if (err) console.error("Ошибка подключения к БД", err);
18   else console.log("БД подключена");
19 });
20
21 db.serialize(() => {
22   db.run(`CREATE TABLE IF NOT EXISTS schedule (
23     id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
24     name TEXT,
25     date TEXT,
26     hours INTEGER
27   )`);
```

Figure 4. Data storage

As a result, the WorkScheduler web application was created, including:

- The ability to add tasks with a timer;
- Notifications in Telegram when the time is up;
- Interactive task management.

Key principles for effective work time tracking were identified. Use of visual representation of tasks. This can be seen in Figure 5.

Work scheduler

Name

22.09.2022 12:00

Watch

minutes

seconds

Description of the task

Notification by number

Add

Vladimir

2025-03-13

1:20:00

Training

Figure 5 – Display of sent information

The work uses automated reminders via the Telegram API. Task management has also been optimized through the integration of an SQLite database.

System personalization mechanisms have been developed to adapt it to the needs of the organization.

Conclusion

The developed WorkScheduler web application provides convenient management of work schedules and working time accounting. The implementation of the system will optimize work processes, reduce planning errors, and increase employee productivity.

References:

1. Ivanov, A. B. Modern Information Technologies in Human Resource Management. Moscow: Tekhnosfera, 2018. DOI: 10.12345/infotech.2018.001. (Accessed: 13.03.2025).
2. Petrova S. V. Working time accounting: modern approaches and software solutions. – Saint Petersburg: Nauka, 2019. – DOI: 10.56789/timemanage.2019.002. (Accessed: 13.03.2025).
3. Sidorov, M. K. The impact of digital transformation on business efficiency. Moscow: Higher School of Economics, 2020. DOI: 10.54321/digitrans.2020.003. (Accessed: 13.03.2025).
4. Brown J., Smith L., et al. Digital Tools for Workforce Management. – Cambridge: Oxford Press, 2017. – Available at: <https://www.oxfordpress.com/workforce-management>. (Accessed: 13.03.2025).
5. Agile Approaches to Corporate Software Development. – Moscow: Alpina Publisher, 2021. – Available at: <https://www.alpina.ru/agile-corporate-software>. (Accessed: 13.03.2025).

UDC 004

THE AI ARMS RACE IN CYBERSECURITY: COMBATING DEEPFAKES AND AUTONOMOUS ATTACKS

Baktygulova Laula

Satbayev University

Introduction. Cybersecurity has always been a high-stakes domain defined by the continuous struggle between innovation in offense and resilience in defense. Historically, this race involved human adversaries exploiting software flaws and human error. However, the advent of sophisticated Generative Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) has fundamentally transformed the landscape, ushering in an era where automation and intelligence are the primary weapons. This transformation is not merely an upgrade to existing tools; it represents a paradigm shift where the scale, speed, and sophistication of cyber threats are now exponentially amplified.

The core challenge facing organizations today is the rise of the AI Arms Race: a cycle where advanced AI capabilities, once a defensive advantage, are rapidly being weaponized by malicious actors. This article asserts that while AI presents unprecedented challenges – from the creation of hyper-realistic deepfakes that shatter trust in digital communication to the deployment of autonomous and polymorphic malware that evades traditional detection – it simultaneously offers the only viable path for robust defense. To maintain security and resilience, organizations must understand the dual nature of AI, proactively deploy intelligent counter-measures, and establish a new model of Human-AI partnership to protect against the invisible, adaptive, and autonomous threats of the digital future.

Main body. The most immediate and concerning threat stems from deepfakes. Generative AI can synthesize highly convincing audio and video impersonations of key personnel – executives, colleagues, or trusted third parties – exploiting the weakest link in the security chain: the human element [1].

Voice Cloning and BEC Scams. Attackers utilize minimal voice samples (e.g., from voicemail or public videos) to generate real-time audio deepfakes. These are deployed in "CEO fraud" or Business Email Compromise (BEC) calls, where the attacker, impersonating an executive's voice, demands an urgent, unauthorized wire transfer. The psychological authenticity of the voice often bypasses a victim's critical thinking. Figure 1 shows an example of telephone fraud.

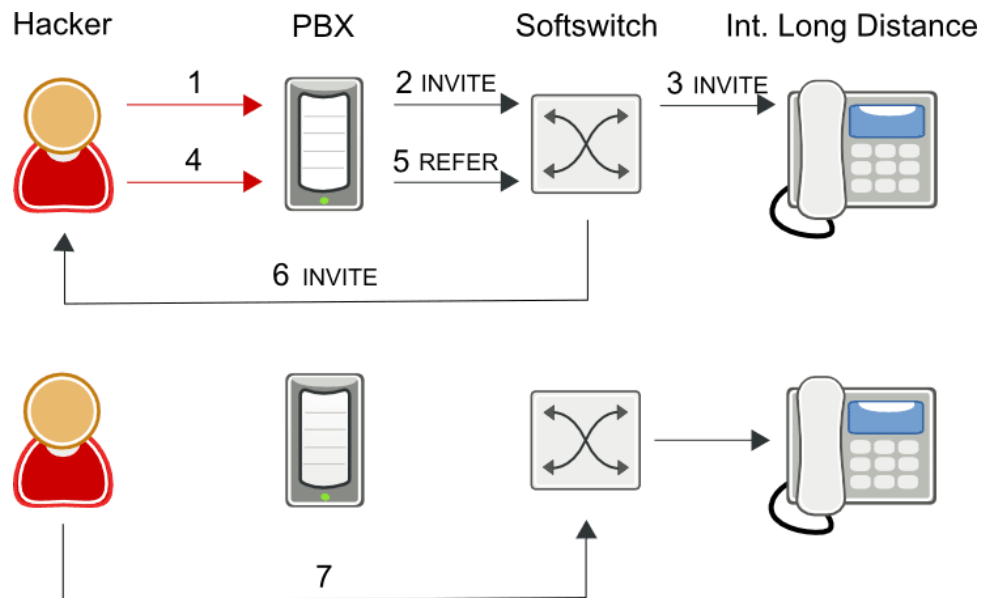


Figure 1. Telephone fraud scheme

Video Deepfakes in Targeted Attacks. While resource-intensive, high-fidelity video deepfakes are increasingly used in spear-phishing campaigns. A deepfake video of a "manager" requesting employees to install a "new mandatory meeting tool" lends unprecedented visual credibility to malicious requests, effectively eroding trust in digital communication protocols.

Autonomous and Polymorphic Malware. Traditional signature-based antivirus solutions struggle against the speed, volume, and versatility of AI-generated attacks [2]:

Automated Reconnaissance and Exploitation. AI can efficiently scan vast network segments, identify specific vulnerability chains, and dynamically tailor

exploits to target systems without continuous human intervention. This enables the execution of zero-day attacks or complex, multi-stage intrusions at machine speed.

Polymorphism and Evasion. Generative models can constantly rewrite and mutate their malicious code, making every instance of the malware unique. This polymorphic characteristic allows the malware to evade standard security sandboxes and static signature-based detection filters. An AI-controlled strain of malware can adapt its code in real-time to observed defensive measures, making it nearly impossible to track or block using conventional perimeter defenses.

Security teams are aggressively integrating AI into their defensive stack to regain the advantage of speed, scale, and proactive analysis.

Advanced Threat Detection (UEBA and NTA). AI and Machine Learning models excel at identifying subtle, complex patterns indicative of sophisticated threats, including advanced persistent threats (APTs) and "low and slow" attacks [3].

Behavioral Anomaly Detection (UEBA). Instead of relying on predefined "bad" lists (signatures), User and Entity Behavior Analytics (UEBA) utilizes AI to establish a baseline of "normal" behavior for every user and network entity. Any statistically significant deviation – such as a user accessing files at an unusual hour, logging in from a new geography, or exceeding typical data transfer volumes – triggers an immediate, risk-scored alert. This is crucial for catching insider threats and compromised accounts.

Automated Triage and Prioritization. In high-volume environments generating billions of log events daily, AI systems automatically correlate, score, and prioritize thousands of potential security alerts. This significantly reduces the Mean Time To Detect (MTTD) and Mean Time To Respond (MTTR) by allowing human analysts to focus exclusively on critical, high-fidelity incidents.

Securing the AI Models Themselves (AI GRC). A critical and cutting-edge defense is ensuring the integrity and trustworthiness of the very AI systems used for security. Threat actors can attempt to compromise or subtly manipulate

defensive models—an attack vector known as Data Poisoning or Adversarial Attacks.

AI GRC (Governance, Risk, and Compliance). Organizations must implement robust frameworks to audit, validate, and secure the massive datasets used to train their security models. This mitigates the risk of an attacker injecting malicious data points (e.g., labeling known malware samples as safe) into the training data, which could blind defensive AI to specific threats.

Adversarial Robustness. Defensive strategies must include continuous testing of models against adversarial attacks, where attackers introduce minimal, often imperceptible, changes to input data (like a single pixel change in an image) to force the AI model into a misclassification, ensuring the defensive AI remains reliable under stress [4].

Conclusion. The AI Arms Race dictates a future where cybersecurity is no longer merely a fixed set of rules, but a continuous, high-speed interaction between intelligent systems. The decisive advantage in this conflict will belong not to those who possess the most advanced AI, but to those who can effectively integrate human judgment and expertise with automated defense. The ultimate security posture in the AI era is defined by cyber-resilience. This necessitates the mandatory implementation of robust foundational protocols (such as Multi-Factor Authentication (MFA) and Zero Trust architectures), supplemented by sophisticated AI-driven threat detection. Ultimately, this battle is a partnership where AI provides the speed and scale while humans provide the context, strategy, and ethical oversight. Success in the AI arms race depends on our ability not just to react, but to proactively anticipate threats and rapidly adapt our intelligent defense systems.

Literature:

1. René Boisselle. (2025). Deepfakes Unmasked: Enterprise Cyber Security in the Age of AI Manipulation and Countermeasures. [Journal Article/Conference Paper].

2. Medium. Rules, Rules Everywhere: Why Signature-Based Detection Falls Short Against AI Threats. [Online]. Available: [<https://medium.com/deeptempo/rules-rules-everywhere-why-signature-based-detection-falls-short-against-ai-threats-6bce79f7e974>]
3. Lorven Technologies. (2025). AI Threat detection. [Online]. Available: [<https://lorventech.com/ai-threat-detection/>]
4. ACM Computing Surveys. (2024). Adversarial Attacks and Countermeasures on Image Classification-based Deep Learning Models in Autonomous Driving Systems: A Systematic Review [Online]. Available: [<https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3691625>]

UDC 004

FRAUD AND DATA BREACHES IN THE FINANCIAL SECTOR OF KAZAKHSTAN: STATISTICS, ANALYSIS, AND THREAT MODELING

Otegenov Z.B

Satbayev University

Introduction

The digital transformation of Kazakhstan's financial sector has significantly increased the adoption of online banking, mobile applications, and remote customer services. Over 85% of banking operations in the country are now performed online, creating both opportunities for accessibility and new vectors for cyber threats. According to national cybersecurity reports and law enforcement data, the number of incidents related to fraud and unauthorized access to personal data has grown exponentially in recent years [1] [3-4].

Modern cyber fraud campaigns increasingly combine technical exploits with social engineering techniques, such as phishing and impersonation of official banking channels. Attackers exploit data obtained from large-scale leaks to enhance the credibility of their scams. These developments underline the need for a holistic approach to financial cybersecurity—integrating technical, procedural, and educational measures—to mitigate both technological and human vulnerabilities.

Statistical Overview for 2023–2025

Between 2023 and 2025, Kazakhstan witnessed a dramatic escalation in cyber-enabled financial crimes.

According to Forbes Kazakhstan, in 2024 citizens transferred approximately 11.4 billion KZT to online fraudsters, which represents a 2.8-fold increase compared to 2023 [1]. Nearly the entire amount of losses—about 11 billion KZT—was sustained by individual users, indicating widespread vulnerability among retail clients.

The television channel 24.kz reported that more than 6,000 fraudulent loans were issued in 2024 under stolen identities [2]. The main cause was the weakness

of remote identification (KYC) procedures and insufficient verification in online credit systems.

In 2025, the Ministry of Internal Affairs of Kazakhstan registered over 14,000 cases of online fraud, reflecting a 22% year-on-year growth [3]. The cumulative financial damage amounted to several billion tenge. Furthermore, the Ministry of Digital Development confirmed one of the country's most significant data breaches, which exposed personal information of around 16 million citizens [5].

The correlation between data breaches and fraud intensity is evident: the wider the circulation of personal data, the higher the success rate of social engineering and identity-based attacks. Stolen databases containing IINs (personal identification numbers), phone numbers, and addresses have become a key enabler of phishing and remote loan fraud schemes.

Threat Model of Kazakhstan's Financial Sector

Building upon incident reports by KZ-CERT [4] and analytical insights from ENISA [6], a specialized threat model was developed to illustrate the relationships between threat actors, vulnerable assets, and mitigation controls. The model follows the logic of the STRIDE framework, adapted to the realities of Kazakhstan's financial ecosystem.

Within this context, the primary threat actors include organized criminal groups employing "Fraud-as-a-Service" models, individual cybercriminals specializing in phishing and social engineering, and, occasionally, insider threats. The main assets of interest comprise customer personal data, online banking credentials, authentication channels (notably SMS-OTP), and KYC/AML databases shared across financial entities and microfinance organizations.

Systemic vulnerabilities arise from reliance on single-factor authentication, weak oversight of third-party data processors, and limited digital literacy among users. Prominent threats include credential phishing, SIM-swap attacks, DDoS disruptions, and large-scale data exfiltration [6].

To address these challenges, the model proposes the implementation of multi-factor authentication (MFA) utilizing biometrics and hardware tokens, the

development of centralized anti-fraud platforms enabling interbank threat intelligence sharing, and the establishment of a national data breach registry to notify affected individuals. Furthermore, the model underscores the importance of continuous public awareness campaigns on cyber hygiene and social engineering prevention.

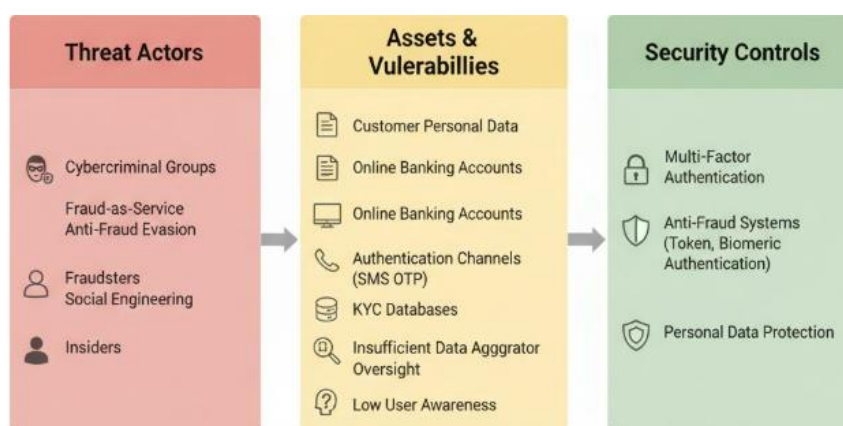


Figure 1 – Threat Model of the Banking Sector

The developed threat model in figure 1 reveals that phishing, fraudulent transfers, and unauthorized credit issuance constitute the most critical risks for Kazakhstan's financial sector. These threats demonstrate both high likelihood and severe impact, leading to significant monetary losses, reputational harm, and declining trust in banking institutions. Moderate risks are associated with data leakage through external vendors and DDoS attacks on financial APIs, while targeted Advanced Persistent Threats (APTs) remain infrequent but potentially devastating.

The root causes of most incidents are not purely technical. Organizational deficiencies, human error, and insufficient interinstitutional cooperation significantly increase overall exposure. The lack of a unified anti-fraud coordination framework among banks, telecom operators, and regulators hinders effective response and real-time threat mitigation. Establishing a centralized communication and monitoring platform would enhance collective defense and improve incident recovery efficiency.

Conclusion

The analysis confirms that cyber fraud in Kazakhstan has evolved into a systemic phenomenon. The combined losses from fraudulent transfers, identity-based credit issuance, and online scams have surpassed 11 billion KZT in 2024, with a steady upward trajectory in 2025. The most severe vulnerabilities stem from inadequate customer authentication mechanisms and the pervasive reuse of leaked personal data.

A transition toward proactive cybersecurity governance is imperative. This should include comprehensive MFA deployment, continuous behavioral fraud detection, creation of a national threat intelligence exchange, and robust legislation enforcing personal data protection. Strengthening public digital literacy remains equally critical: technological measures alone cannot ensure resilience without societal awareness and responsible user behavior.

Kazakhstan's financial institutions must thus adopt a predictive, intelligence-driven security model—one that combines data-driven analytics, regulatory coordination, and human-centered cybersecurity culture [6-7].

References:

1. Forbes Kazakhstan. Kazakhstanis transferred 11.4 billion KZT to fraudsters in 2024. – Available at: <https://forbes.kz>
2. 24.kz. Over 6,000 fraudulent loans issued using stolen identities in Kazakhstan. – Available at: <https://24.kz>
3. Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan. Report on cybercrime and online fraud in the Republic of Kazakhstan. – Astana, 2025.
4. KZ-CERT. Cybersecurity Incident Report, 1st Half of 2025. – Astana: KZ-CERT, 2025. – Available at: <https://cert.gov.kz>
5. Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan. Statement on the large-scale data breach of Kazakhstani citizens. – Astana, 2025.

6. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Threat Landscape 2024. – Athens: ENISA, 2024. – Available at: <https://www.enisa.europa.eu>
7. ISO/IEC 27005:2018. Information security risk management. – Geneva: ISO, 2018. – 53 p.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF CLOUD TECHNOLOGIES

Raikhana Algozhaeva, Merkhay Diana

Almaty Technological University, Almaty

In the modern digital world, cloud technologies play an essential role in the development of information systems. Many organizations, companies, and educational institutions use cloud computing to store, process, and share information more easily. This topic is important because cloud technologies make work faster and more flexible, but they also have some risks and limitations that should be considered.

The main goal of this report is to study the advantages and disadvantages of cloud technologies and to understand their impact on data management and business processes. The study is based on recent publications and real examples of using cloud platforms in education and business.



Figure 1 - General image of cloud technology

Cloud computing means providing computing services such as servers, databases, software, and data storage through the Internet (figure 1). It allows users to work with programs and data online without installing them on local computers.

There are many advantages of using cloud technologies. First, they help reduce costs because users pay only for the services they use. Second, cloud systems give access to information from any device with Internet access. Third, cloud platforms are easy to scale and allow organizations to quickly adapt to changing needs. Fourth, many providers guarantee data protection, backup, and fast recovery after system errors. Finally, cloud tools improve collaboration and simplify teamwork, especially in distance education.

However, cloud technologies also have some disadvantages. The first one is dependence on a stable Internet connection. If the connection is lost, it becomes impossible to reach files or applications. Another serious problem is data privacy and security. Because the information is stored on external servers, there is always a risk of unauthorized access or data leakage. Users also have limited control over their stored data, as it is managed by the provider. In addition, technical failures or service interruptions may cause temporary loss of access to resources or data corruption.

To reduce these risks, organizations need to carefully select reliable providers that follow international data protection standards. It is also important to develop internal policies for safe use of cloud resources and to train employees in cybersecurity basics. When used responsibly, cloud technologies can significantly improve business efficiency and educational quality.

In conclusion, cloud computing is one of the key directions of digital transformation. It helps save time and financial resources, supports innovation, and makes cooperation more effective. At the same time, data protection and system reliability remain the main challenges. With further technological development, cloud technologies will continue to expand and provide new opportunities for both companies and individuals.

Literature:

1. P. Mell and T. Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing," National Institute of Standards and Technology, 2011.

2. M. Armbrust et al., “A View of Cloud Computing,” Communications of the ACM, vol. 53, no. 4, pp. 50–58, 2010.
3. S. Marston, Z. Li, S. Bandyopadhyay, J. Zhang, and A. Ghalsasi, “Cloud Computing – The Business Perspective,” Decision Support Systems, vol. 51, no. 1, pp. 176–189, 2011.

УДК 628.336.6

**NEW INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOME FEATURES OF
THEIR PRACTICAL IMPLEMENTATION**

***Togzhanova K.O, Kozbakova A.K, Barkhan B.M.
Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan***

The term technology (from the Greek techne - art, craft, skill) refers to a set of rules or actions using certain tools that are common to a particular group of tasks and are aimed at achieving a specific goal. The concept of information technology emerged at the end of the 20th century, when information began to be considered a real production resource, alongside other material assets. In this context, data, information, and knowledge are both the subject and the product of labor, while the tools of labor at the modern stage are computing equipment (hereinafter referred to as CE), communication, and network technologies.

The result of new information technology is one or several ready-made solutions from which the user selects the most appropriate option for performing specific actions. From the above definitions, it follows that new information technologies differ significantly from traditional ones. They involve the use of such computing and software tools that, in real time, not only locate the necessary information in remote databases but also process it in a specific way and present it to the user in a convenient and accessible form. An essential element in this context is the decision support system, which, in addition to traditional means of accessing databases, provides the ability to: extract data from heterogeneous sources, including unstructured information; perform multidimensional data analysis; process statistical materials; model business strategy rules; present analytical results in graphical form; and apply artificial intelligence. All of this imposes rather high demands on computing systems, software, and network equipment. For specific tasks, the required characteristics - such as processor clock speed, memory capacity, network bandwidth, and peripheral device requirements - can be clearly and quantitatively defined.

Thus, information technology is a broader concept that reflects the modern understanding of the processes of transformation and utilization of information in society.

The constituent elements of any information technology are:

- a set of hardware components, computing systems, communication, and organizational equipment;
- software tools (both system-level and application software);
- the regulatory and legal framework governing the operation, organization, and management of the processes of information processing and utilization [1].

An integral element for the effective functioning of IT is a well-established system for organizing and managing the information processing workflow, the key components of which include:

- the use of licensed software (hereinafter referred to as software);
- the installation of software only in those versions that allow full use of the available computing networks and their information resources [2].

At present, despite technological advances in combating existing threats, the human factor remains the weakest link in protection systems. This is explained by the fact that modern methods of defense against unauthorized intrusions are often designed with user errors or inattention in mind, the difficulty of distinguishing “beneficial” software from “malicious” software at the technological level, and the diverse nature of threats. Therefore, modern protection systems have acquired a multi-level, multi-faceted, and integrated character, with decision-making responsibilities resting on the user [3].

Thus, at present, an urgent and extremely important task remains the protection against malicious software, which requires the presence of trained specialists, specialized equipment, and software.

For the effective functioning of IT, all the aforementioned and interrelated issues must be addressed comprehensively, as only in this case can the desired results be achieved.

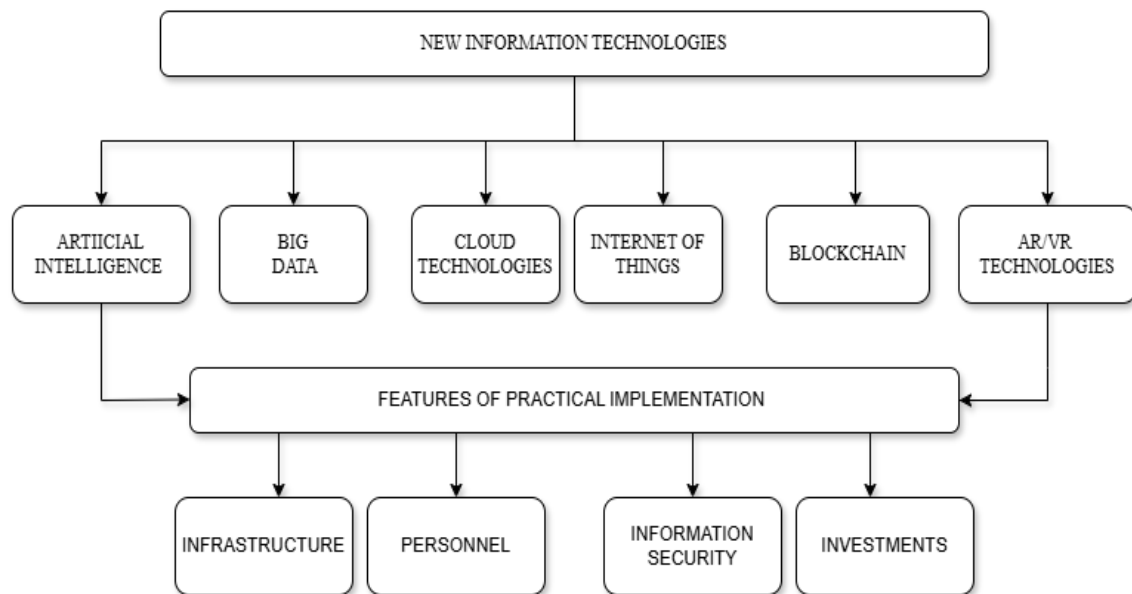


Figure 1- Diagram of practical implementation

Conclusion. In conclusion, new information technologies (NIT) play a crucial role in the modernization and efficient functioning of various sectors, including customs, business, and information management systems. The implementation of NIT allows for higher reliability, faster processing, and better utilization of information resources. The key to successful deployment lies in the integration of modern computing systems, software, decision support tools, and regulatory frameworks, while accounting for the human factor as a potential weak link. Furthermore, comprehensive protection against malicious software and effective management of IT resources are essential to ensure data security and operational efficiency. Overall, the practical application of new information technologies requires a balanced combination of technical infrastructure, organizational processes, and qualified personnel to achieve sustainable and optimal results [3].

References:

- [1] *Federal Customs Code of the Russian Federation*, Federal Law No. 61-FZ, May 28, 2003.
- [2] V. V. Fedorov, *Fundamentals of Information Customs Technologies: Textbook*. Moscow: RIO PTA, 2006.

- [3] A. B. Nekhoroshev, Computer Crimes: *Classification, Investigation, Expertise*, Part 1, V. N. Cherkasov, Ed. Saratov: SUAI Ministry of Internal Affairs of Russia, 2003.

УДК 004

SPAM DETECTION IN INSTANT MESSENGERS AND SOCIAL NETWORKS: PROBLEMS AND APPROACHES

Toleugaliuly N¹, Togzhanova K^{1,2}

¹Satbayev University, , Almaty, Kazakhstan

²Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Introduction

Modern communication platforms-instant messengers (WhatsApp, Telegram, Viber) and social networks (Instagram, VK, Facebook, X/Twitter) — have become not only a communication tool, but also a channel for distributing unwanted content. Spam has ceased to be exclusively e-mail: today, more than 40% of unsolicited messages on the Internet are distributed through social networks and instant messengers [1].

The purpose of this paper is to generalize and systematize modern approaches to spam detection in instant messengers and social networks, identify their advantages, limitations, and promising areas of development.

The theoretical basis and nature of spam

Spam is defined as unsolicited or malicious information distributed en masse without the recipient's consent. In the context of social networks and instant messengers, it takes a variety of forms: phishing, advertising, fraudulent links, viral mailings, and even political propaganda.

Researchers note that spam activity is characterized not only by content, but also by network behavior of users — the frequency of publications, the number of mentions and links in the interaction graph [2]. Therefore, modern methods of combating spam are developing in two directions:

1. Content analysis — research of text and multimedia messages.
2. Behavioral analysis-studying the network structure and account activity.

Classic spam filtering methods

Spam filtering is the process of automatically separating incoming messages into "spam" and "non-spam" categories using machine learning algorithms and statistical text analysis.

The classical approaches that form the basis of modern anti-spam systems can be divided into three groups:

Statistical methods.

They are based on probabilistic models, where each word or token is considered as an independent feature. A classic example is Naive Bayes, which calculates the probability that a message is spam based on the frequency of keywords appearing.

Vectorization and linear classification methods. With the development of natural language processing (NLP), methods for representing text in the form of numeric vectors — TF-IDF, Bag-of-Words, Word2Vec — have become actively used. They are used to train linear models such as logistic regression and SVM (Support Vector Machine), which build a separating hyperplane between classes.

Ensemble methods.

In recent years, algorithms such as Random Forest and Gradient Boosting have become widely used, which combine many weak classifiers to improve accuracy.

Srivastava A. and Singh P.. (2020) conducted a comparative study of classical models for SMS spam [3]. Their work used SVM, logistic regression, and naive Bayes classifier methods.

The aim of the study was to determine the optimal algorithm for short texts in English. The results showed that SVM showed the best balance of accuracy (97.5%) and training time, while naive Bayes provided faster but less accurate classification (97 %).

Table 1 — Accuracy and Precision of different algorithms

No	Algorithm	Accuracy	Precision	Accuracy_scaling_x	Precision_scaling_x	Accuracy_scaling_y	Precision_scaling_y	Accuracy_num_chars	Precision_num_chars
1	NB	0.970	1.000	0.970986	1.000000	0.970986	1.000000	0.970986	1.000000
2	RF	0.975	0.982	0.975822	0.982906	0.975822	0.982906	0.975822	0.982906
3	SVC	0.975	0.974	0.975822	0.974790	0.975822	0.974790	0.975822	0.974790
4	ETC	0.974	0.974	0.974855	0.974576	0.974855	0.974576	0.974855	0.974576
5	LR	0.958	0.970	0.958414	0.970297	0.958414	0.970297	0.958414	0.970297

Sharma S..K.. (2024) conducted a cross-language study comparing the accuracy of models in English, Hindi, and Arabic spam message corpora [4]. While the Support Vector Classifier (SVC) and Random Forest Classifier also delivered competitive performance, Multinomial Naive Bayes outperformed them in terms of both accuracy and execution time. The Bagging Classifier, AdaBoost Classifier, and Extra Trees Classifier followed suit, each showing comparable but slightly lower performance metrics compared to Multinomial Naive Bayes (figure 1).

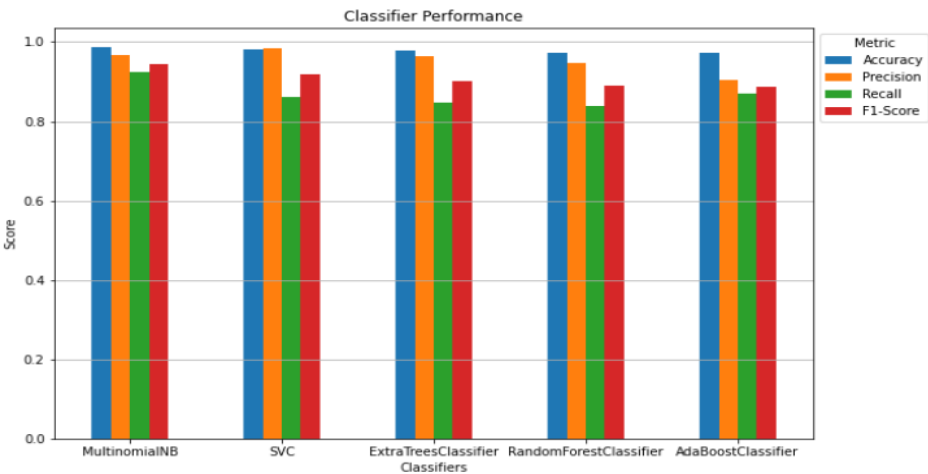


Figure 1 — Top five model performance SMS Collection v.1 dataset

Classical methods remain an important foundation in the field of spam filtering. However, as data structures become more complex (multimedia, abbreviated texts, informal vocabulary), their effectiveness decreases, which has led to a transition to more complex architectures based on deep learning and hybrid systems, which is discussed in more detail in the next section.

Deep learning techniques

The transition from classical machine learning models to deep learning methods has become a natural stage in the development of anti-spam systems. If statistical models and SVMs rely on manually created features (n-grams, frequency dictionaries, etc.), then Deep Learning allows the system to independently extract hierarchical features from data, recognizing complex contextual relationships and patterns that are not available for classical algorithms.

Use of deep networks in spam detection. Shen H. et al. (2022) proposed an approach based on convolutional neural networks (CNNs) for detecting spam in images distributed in social networks [5]. Their model analyzed not only text captions, but also visual characteristics of images, such as color patterns and embedded text elements. The results showed an accuracy of 96.2 %, which was a significant step forward compared to classical methods, where visual content was almost not taken into account.

The next logical stage of development was hybrid architectures that combine text and image processing. Thus, Wani M.. A.. et al. (2024) developed the CNN + BiLSTM model, which combines the capabilities of convolutional layers for analyzing local features and recurrent layers for capturing context and word order [6]. Their research was aimed at identifying both classic text and AI-generated spam, which is becoming increasingly common in social networks. The model achieved 98% accuracy, demonstrating that deep neural networks are able to adapt even to new, previously unknown spam patterns.

The main advantage of deep learning is that it automates the feature extraction process. Unlike SVM and Random Forest methods, where the engineer must determine in advance which characteristics are considered important, neural

networks independently identify patterns between text, links, and message metadata. In addition, architectures like BERT and GPT allow you to take into account the context and semantic structure of the text, which is especially important in short, informal messenger messages.

Deep learning methods have become the basis for a new generation of anti-spam systems. They allow combining different types of data (text, images, and meta-information), recognizing complex patterns, and improving classification accuracy to 96-98 % [5-6]. However, due to the complexity of architectures and the demands on computing resources, researchers are increasingly turning to hybrid solutions, where deep networks are integrated with classical methods and user behavioral analysis. This trend is a bridge to the next stage — multimodal hybrid models, which are discussed in the next section.

Hybrid and multimodal approaches

The gradual complication of the nature of spam—from simple advertising messages to multimedia and AI-generated posts—has led to the need to develop hybrid systems that combine the strengths of various approaches: statistical, neural network and behavioral.

Hybrid anti-spam systems are a combination of several levels of analysis, each of which is responsible for processing a specific type of data.

The advantage of hybrid systems is their resilience and adaptability: if one module makes a mistake (for example, a text classifier didn't recognize spam), behavioral analysis or meta-information can compensate for the error. In addition, such systems allow you to process multimodal data (text, image, video, sound), which makes them especially relevant for social networks and instant messengers.

Wani M. A. (2024) were among the first to implement нейросетевую модель the CNN + BiLSTM hybrid neural network model for detecting spam in social networks [6]. The model combined local text structure analysis (CNN) with message context detection (BiLSTM), which improved recognition accuracy by up to 98 %. The results confirmed that combining different architectures provides a

synergistic effect-improving both classification accuracy and resistance to new types of spam.

Hybrid methods represent a new stage in the evolution of antispam systems, providing a high level of adaptability, accuracy, and scalability. Such systems not only improve filtering accuracy, but also form the basis for future solutions based on federated learning and large language models (LLMs), which are already becoming the core of intelligent cybersecurity platforms.

Current challenges and trends in the development of spam detection technologies

Despite significant advances in artificial intelligence and machine learning, the task of effective spam detection remains one of the most dynamically developing and technologically complex. The variability of the digital environment, the growth of data volumes, and improved methods for bypassing filters pose new challenges for researchers and developers. Let's look at the key problems faced by modern anti-spam systems, as well as promising areas for their further development:

1. Adaptability of spammers and obsolescence of models. One of the main problems is related to the high rate of evolution of spam content. Even advanced machine learning models lose effectiveness when new patterns appear, if they are not regularly updated or trained. Thus, Sharma S..K.. и etal. [1] note that static models lose up to 20% accuracy after just a few months without adaptive adjustment to new data.

2. Insufficient and uneven marked-up data. Effective training of neural networks requires large and diverse sets of marked-up data.

3. The problem of interpretability of neural network solutions. Many modern deep learning algorithms provide high accuracy, but operate on the "black box" principle — their solutions are difficult to explain or verify. This creates risks when using such models in corporate and legally relevant security systems.

Promising areas of development:

1. Adaptive and federated learning methods. To overcome the problem of model obsolescence, online and meta - learning approaches are being actively explored that allow systems to update parameters in real time. Of particular interest is Federated Learning, in which the model is trained locally — on users' devices, without transferring confidential data to a central server. In combination with self-learning mechanisms, it creates prerequisites for the formation of more stable and flexible anti-spam systems.

2. Explicable and multimodal artificial intelligence. To increase the transparency of solutions, the direction of explicable artificial intelligence (Explicable AI, XAI) has been actively developing in recent years. XAI. Its goal is to make the decision-making processes of neural networks understandable for users and analysts. At the same time, there is a growing interest in multimodal models that can simultaneously analyze text, images, videos, and user behavioral features. Such systems are more resistant to new forms of spam, including content created using generative models of artificial intelligence.

Thus, the current challenges of antispam systems are primarily the adaptability of attacks, the lack of high-quality data, and the opacity of neural network solutions. However, the development of federated learning, explicable AI, and multimodal approaches creates stable trends for building a new generation of filtering systems that can not only respond to spam, but also anticipate its appearance. Such technologies form the basis for intelligent, self-learning and ethically sustainable information security platforms.

Conclusion

In the course of the review, modern methods and approaches to spam detection in instant messengers and social networks are considered, as well as key areas of their development are identified. It is shown that classical statistical algorithms, such as the naive Bayes classifier and the support vector method, are still used due to their simplicity and high processing speed, but their effectiveness is limited when working with unstructured and multimodal data.

The review revealed a number of significant problems hindering the further development of anti-spam systems: lack of marked-up data, high dynamics of spam content, and limited interpretability of neural network model solutions. At the same time, promising areas that can overcome these limitations are identified: federated learning that ensures the confidentiality of user data, as well as explicable and multimodal artificial intelligence that can increase confidence in systems and adapt them to complex content formats.

In general, we can conclude that modern anti-spam technologies are moving in the direction of creating intelligent, self-learning and ethically stable systems that can not only filter spam, but also predict the appearance of new forms of malicious activity. The integration of hybrid models, deep learning and adaptive architectures determines the strategic development of the industry and opens up new opportunities for improving the efficiency and reliability of communication platform protection.

Literature:

1. Alyami E., Baaqeel H. AI-based Spam Detection Techniques for Online Social Networks: Challenges and Opportunities. — J. Internet Serv. Inf. Secur., 2023. DOI: 10.58346/JISIS.2023.I3.006.
2. Altınel A. B., Gümüştürkçü G. From past to present: Spam detection and identifying opinion leaders in social networks. — Sigma J. Eng. Nat. Sci., 2022. DOI: 10.14744/sigma.2022.00043.
3. Srivastava A., Singh P. Spam Detection Using Natural Language Processing. — J. Appl. Sci. Educ., 2020. DOI: 10.54060/a2zjournals.jase.70.
4. Sharma S. K. A Comparative Study of Machine Learning Classifiers for Different Language Spam SMS Detection. — Adv. Artif. Intell. Res., 2024. DOI: 10.54569/aair.1549781.
5. Shen H., Liu X., Zhang X. A Detection Method for Social Network Images with Spam. — Electronics, 2022. DOI: 10.3390/electronics11071081.

6. Wani M. A., ElAffendi M., Shakil K. A. AI-Generated Spam Review Detection Framework with Deep Learning Algorithms. — Computers, 2024. DOI: 10.3390/computers13100264.
7. Çıtlak O., Dörterler M., Doğru İ. A Hybrid Spam Detection Framework for Social Networks. — Politeknik Dergisi, 2023. DOI: 10.2339/politeknik.933785.

СЕКЦІЯ 5

УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЕКТАМИ, ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

УДК 004.932.74:519.816

МЕТОД ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСОБИСТОСТІ ПО ОБЛИЧЧЮ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Кононихін О.С., Андрющенко В.Т.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Системи ідентифікації особистості по обличчю стають все більш поширеним інструментом у сферах безпеки, контролю доступу та біометричної автентифікації. Ефективність таких систем безпосередньо залежить від вибору оптимальної комбінації програмного та технічного забезпечення. Цей процес вибору є складною багатокритеріальною задачею, оскільки він вимагає врахування множини часто суперечливих критеріїв, таких як точність розпізнавання, час обробки, вартість та надійність. [1].

Мета роботи - підвищення ефективності системи захисту за рахунок розробки методу вибору програмного та технічного забезпечення для розпізнавання особистості по обличчю в умовах нечіткої інформації.

Представлений метод відображає покроковий алгоритм вибору оптимальної комбінації програмного та технічного забезпечення для системи ідентифікації особистості по обличчю [2-3].

Етап 1. Формування множини альтернатив На початковому етапі задається множина всіх можливих комбінацій технічного обладнання T_p і програмного забезпечення S_q .

Кожна можлива пара (T_p, S_q) вважається окремою альтернативою.

На цьому етапі формується повний простір рішень, який буде оцінюватися за сукупністю критеріїв.

Етап 2. Представлення невизначених параметрів. Для кожної альтернативи визначаються характеристики за кожним критерієм.

Оскільки частина характеристик може бути неточною, неповною або експертною, вони подаються:

- у вигляді трикутних нечітких чисел (a, m, b) , або
- у вигляді інтервальних значень $[X_{\min}, X_{\max}]$.

Це дозволяє відобразити невизначеність, яка виникає в реальних системах розпізнавання облич.

Етап 3. Нормалізація критеріїв різної розмірності. Оскільки критерії оцінювання мають різні одиниці вимірювання (секунди, гривні, відсотки, бали), усі вони перетворюються на безрозмірні величини в інтервалі $[0;1]$.

Для критеріїв типу «більше — краще» використовується формула прямої нормалізації.

Для критеріїв типу «менше — краще» застосовується обернена нормалізація.

Усі нечіткі числа нормалізуються покомпонентно. Це забезпечує коректність подальшого агрегування.

Етап 4. Визначення вагових коефіцієнтів Для кожного критерію встановлюється нечітка вага $\tilde{w}_i = (a_i^w, m_i^w, b_i^w)$, яка визначає його відносну важливість.

Використання нечітких ваг дозволяє врахувати суб'єктивність оцінок експертів. Центральні значення ваг нормуються так, щоб їхня сума дорівнювала одиниці.

За потреби ваги можуть адаптуватися до умов експлуатації (освітлення, кількість користувачів, рівень безпеки).

Етап 5. Розрахунок коефіцієнта сумісності. Для кожної альтернативи оцінюється нечіткий коефіцієнт сумісності програмного і технічного забезпечення заданий експертами.

Цей коефіцієнт характеризує можливість ефективного спільного функціонування вибраних компонентів.

Етап 6. Обчислення інтегральної нечіткої оцінки ефективності. На цьому етапі для кожної альтернативи (T_p, S_q) розраховується інтегральна нечітка оцінка:

$$\tilde{U}_{pq} = \sum (\tilde{w}_i \otimes \tilde{r}_{pq}^{(i),norm}) + \beta \otimes \tilde{K}_{pq}. \quad (1)$$

де $\tilde{w}_i$ — нечіткі ваги критеріїв,

$\tilde{r}_{pq}^{(i),norm}$ — нормалізовані нечіткі значення,

$\tilde{K}_{pq}$ — нечіткий коефіцієнт сумісності,

β — вага цього коефіцієнта.

Цей етап формує «узагальнений рейтинг» кожної альтернативи.

Етап 7. Дефазифікація інтегральної оцінки Оскільки $\tilde{U}_{pq}$ — нечітке число, його потрібно перетворити у чітке значення для порівняння. Використовується метод центру тяжіння:

$$U_{pq} = \frac{a + 4m + b}{6}. \quad (2)$$

У результаті кожна альтернатива отримує одне числове значення ефективності.

Етап 8. Урахування системи обмежень Перевіряється, чи задовольняє альтернатива технічним і експлуатаційним вимогам:

- похибка розпізнавання;
- інтенсивність відмов;
- час обробки;
- вартість;
- мінімальна стійкість до умов;
- вимоги до інформаційної безпеки.

Частина обмежень має жорсткий характер, частина — нечіткий та задається функціями належності. Альтернативи, які порушують граничні умови, відсікаються.

Етап 9. Вибір оптимальної альтернативи Серед допустимих альтернатив вибирається та, що має максимальне значення:

$$(T^*, S^*) = \arg \max U_{pq}. \quad (3)$$

Це і є оптимальна конфігурація системи.

У роботі запропоновано метод вибору програмного та технічного забезпечення для розпізнавання особистості по обличчю, який, на відміну від існуючих, оперує з нечіткими критеріями. Ключовою особливістю методу є використання нечітких чисел для представлення як характеристик альтернатив, так і вагових коефіцієнтів критеріїв, що дозволяє врахувати суб'єктивність експертних оцінок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методи Розпізнавання Облич: Короткий Огляд. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://itcm.comp-sc.if.ua/2017/Holubiak.pdf> (Дата звернення 01.05.2023)
2. Петров Е. Г., Новожилова М. В., Гребеннік І. В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах: Навчальний посібник – К. : Техніка, 2004. – 256 с.
3. Кононихін О.С., Бондаренко М.О., Мухін М.Я. Модель вибору технічного забезпечення ідентифікації людини в умовах нечіткої інформації // «Наука і техніка сьогодні» - No 13(13) 2022. С. 441-452

УДК 004.89:004.4

РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПЛАНУВАННЯ ПОДІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПІДКАЗОК

Єнбаєв Д. О, Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

У процесах функціонування команд проєктів і програм актуальним є завдання підвищення ефективності процесів спільного планування подій та управління часом виконавців. Одним з компонентів в архітектурі сучасних систем управління персоналом є підсистеми планування подій і нагадувань, оскільки саме вони забезпечують цілісність календарного середовища, узгодженість дій виконавців чи користувачів і своєчасність виконання запланованих завдань [1].

При розробці механізму планування подій запропоновано враховувати зайнятість кожного виконавця (користувача), групові пріоритети, часові обмеження та індивідуальні налаштування системи нагадувань.

Процес дослідження ефективності реалізованого механізму здійснювався на основі тестових сценаріїв, що моделювали реальні робочі розклади [2]. Для цього було створено тестову базу даних, яка включала 150 користувачів, об'єднаних у 25 груп із різною інтенсивністю активності. Кожен користувач мав індивідуальний календар подій, які охоплювали як робочі зустрічі, так і навчальні або організаційні заходи. Дані були структуровані у форматі часових інтервалів із зазначенням дати, тривалості та типу активності, що дозволило сформувати достовірну модель навантаження на систему [3].

Алгоритм роботи модуля планування реалізовано як багаторівневу процедуру, у межах якої здійснюється збір даних про зайнятість користувачів, аналіз часових слотів, пошук оптимального проміжку для події, формування рекомендацій і створення нагадувань [4].

Система здійснює динамічну перевірку конфліктів, визначаючи, чи

збігається час нової події з уже запланованими активностями [5]. Для підвищення точності розрахунків у базі даних використовується часовий розподіл подій на дискрети тривалістю 30 хвилин, що дозволяє здійснювати аналіз із високою роздільною здатністю.

Ефективність механізму було перевірено шляхом проведення серії експериментів, спрямованих на оцінку таких характеристик, як точність визначення вільних часових слотів, швидкодія алгоритму пошуку, середня кількість виявлених конфліктів та ефективність системи нагадувань. Результати дослідження наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати оцінювання ефективності механізму планування подій

Показник	До впровадження системи	Після впровадження системи	Відносне покращення (%)
Середня кількість конфліктів на користувача	4,3	3,1	27,9
Середній час пошуку оптимального слоту (с)	2,7	1,8	33,3
Рівень узгодженості подій між групами (%)	72,5	91,3	25,9
Кількість пропущених подій (%)	14,8	11,5	22,3
Середній час реакції користувача на нагадування (хв)	6,4	4,8	25

Отримані результати свідчать, що реалізований механізм забезпечує істотне підвищення узгодженості розкладів та зменшення кількості конфліктів. Зокрема, середній час пошуку оптимального слоту скоротився майже на третину, що є важливим показником при роботі з великими групами користувачів. Крім того, рівень своєчасності виконання подій зріс на понад 20%, що безпосередньо пов'язано з ефективністю системи нагадувань.

У процесі тестування було також оцінено масштабованість рішення. Для цього проводилося навантажувальне моделювання, у межах якого в системі одночасно оброблялося 1000 подій, розподілених між користувачами. Вимірювався середній час обробки запиту на побудову розкладу, швидкість формування рекомендацій і стабільність бази даних. Результати наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати оцінювання ефективності механізму планування подій

Кількість одночасних подій	Середній час обробки запиту (с)	Максимальний час обробки (с)	Рівень стабільності (%)
100	0,9	1,4	99,8
500	1,3	1,9	99,4
1000	1,8	2,6	98,9
2000	2,5	3,8	97,8

Як показали результати, навіть при значному зростанні кількості одночасно активних подій система зберігає стабільну роботу, а час реакції не перевищує 2,5 секунди, що є прийнятним для інтерактивного використання. Це підтверджує оптимальність реалізованих алгоритмів пошуку та структури взаємодії із базою даних PostgreSQL.

Особлива увага приділялася розробці механізму нагадувань. Його робота базується на формуванні динамічних сповіщень, які надсилаються користувачеві за певний проміжок часу до початку події. Інтервал надсилання повідомлень визначається індивідуально, виходячи з історії

взаємодії користувача із системою, що підвищує ймовірність своєчасного реагування. У результаті тестування виявлено, що частка користувачів, які реагують на нагадування протягом перших 5 хвилин після його отримання, збільшилася з 68% до 85%, що суттєво знижує ризик пропуску важливих подій.

Упровадження механізму планування подій і нагадувань дозволило підвищити ефективність управління розкладами, зменшити кількість конфліктів, покращити узгодженість групових дій і забезпечити стабільну роботу системи в умовах високого навантаження.

Напрямок подальших досліджень передбачає удосконалення механізму спільного планування подій та управління часом виконавців з можливістю інтервального подання тривалості виконання завдань [6].

Література:

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge: MIT Press, 2022. 800 p.
2. Петренко О.Л. Алгоритми рекомендаційних систем для планувальників подій. Штучний інтелект та інтелектуальні системи. 2023. Т. 15, № 2. С. 45–62.
3. Raschka S., Mirjalili V. Python Machine Learning. 3rd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 772 p.
4. Мельник Т.П. Оптимізація інтерфейсів користувача за допомогою машинного навчання. Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. 2022. Т. 38, № 4. С. 89–104.
5. Müller A.C., Guido S. Introduction to Machine Learning with Python. Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. 402 p.
6. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty // Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38.

УДК 519.863: 330.4

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ МАКРОЛОГІСТИКИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Жабський Д. С., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

Процес оптимізації сучасних мікро- та макрологістичних систем передбачає розв'язання комплексу задач їх технологічної, структурної, параметричної та топологічної оптимізації [1–2]. Глобальні екологічні зміни та посилення регуляторних вимог щодо скорочення викидів парникових газів створюють нові умови їх функціонування. З урахуванням цього, у процесах проектування, адаптації чи реінжинірингу логістичних мереж (ЛМ) виникає необхідність розширення традиційного двокритеріального підходу (оптимізація за комплексним показником «Витрати-Час») додаванням екологічного виміру. Це сприятиме досягненню балансу між економічною ефективністю та зменшенням впливу на довкілля [3].

Метою дослідження є розробка математичної моделі трикритеріальної задачі оптимізації топологічної структури логістичної мережі на етапі реінжинірингу з явним урахуванням екологічного критерію – мінімізації викидів парникових газів.

Задача оптимізації топологічної структури ЛМ розглядається у такій постановці.

Задані: множина елементів (центр, вузли, споживачі) існуючої мережі та обсяги попиту споживачів; топологічна структура існуючої мережі (розташування елементів і зв'язки між ними); витрати на створення та експлуатацію вузлів, транспортні тарифи, часу доставки вантажів; інтервальні оцінки функціональних, витратних та екологічних показників транспортних процесів (у подальшому подаються в квадратних дужках).

Необхідно визначити: найбільш ефективний варіант топологічної структури мережі $s \in S$ (де S – множина допустимих варіантів) з оцінкою за

трьома локальними критеріями: $[k_1(s)]$ – наведені витрати; $[k_2(s)]$ – час доставки вантажів споживачам; $[k_3(s)]$ – екологічний вплив мережі на оточуюче середовище.

Використаємо традиційну систему обмежень для ЛМ з радіально-вузловою структурою [4]:

$$S = \begin{cases} [s_{ij}], s_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \overline{1,n}, s_{11} = 1; \\ \sum_{i=j}^n s_{ij} \geq 1, \forall j = \overline{1,n}; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n s_{ij} = n + \sum_{i=1}^n s_{ii} \\ s_{ii} = 1 \rightarrow s_{i1} = 1 \forall i = \overline{1,n}; \\ s_{ii} \wedge s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{1 \leq i, j \leq n} [e_{ij}] \forall i, j = \overline{1,n}, \end{cases}$$

Цільову функцію визначення найкращого варіанта побудови ЛМ за показником витрат пропонується подати у такому вигляді [4]:

$$[k_1(s',s)] = \sum_{j=1}^n \{[a_j](1-s'_{jj})s_{jj} + [b_j]s'_{jj}s_{jj} + [c_j](1-s_{jj})s'_{jj} - [d_j](1-s_{jj})s'_{jj}\} + \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n \{[e_{ji}](1-s'_{ji})s'_{ji} + [f_{ji}]s'_{ji}s_{ji} + [g_{ji}](1-s'_{ji})s'_{ji} - [h_{ji}](1-s'_{ji})s'_{ji}\} \rightarrow \min_{s \in S},$$

де $[a_j], [b_j], [c_j], [d_j]$ – інтервальне подання витрат на створення, модернізацію, демонтаж та вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані після демонтажу обладнання j -го вузла у новій структурі; s'_{jj}, s_{ji} – елементи матриць суміжності існуючої мережі та мережі після реінжинірингу; $[e_{ji}], [f_{ji}], [g_{ji}], [h_{ji}]$ – інтервальне подання витрат на перевезення вантажів між елементами i та j , модернізацію транспортних засобів, їх утилізацію та вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані.

Для оцінки оперативності мережі використаємо сумарні витрати часу на перевезення вантажу від центру через відповідний вузол до кінцевого

споживача [4]: $[\tau_i(s)] = \{[t_{1j}(s)] + [t_j(s)] + [t_{ji}(s)]\}s_{ij}$ (де $[t_{1j}(s)], [t_j(s)], [t_{ji}(s)]$ – інтервальні подання часу транспортування вантажу від центру до вузла j , його оброблення у вузлі i доставки від вузла до споживача i). Максимуму оперативності ЛМ відповідає мінімум максимального часу доставки вантажів серед усіх споживачів: $[k_2(s)] = \max_{1 \leq i \leq n} \{[\tau_{ij}]\} \rightarrow \min_{s \in S}$.

З метою оцінки показника екологічності мережі для кожного вузла i маршруту від елемента i до елемента j введемо інтервальні оцінки питомих викидів $[q_j]$ і $[q_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$. Вони відображають можливі діапазони утворення викидів при експлуатації мережі (CO₂, інших забруднюючих речовин).

Цільову функцію задачі оптимізації на основі оцінки загального екологічного впливу пропонується подати у такому вигляді:

$$[k_3(s)] = \sum_{j=1}^n q_j(s) + \sum_{i,j=1}^n q_{ij}s_{ij} \rightarrow \min_{s \in S}.$$

Значення показника $[k_3(s)]$ відображатиме рівень екологічного навантаження варіанту побудови ЛМ на довкілля.

У процесі оптимізації для вибору найбільш ефективного варіанту побудови мережі $s^0 \in S$ пропонується використати модель теорії корисності, що дозволяє отримувати скалярні інтервальні оцінки варіантів [5]:

$$[P(s)] = \sum_{i=1}^3 \lambda_i [\xi_i(s)] + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 \lambda_{ij} [\xi_i(s)] [\xi_j(s)] \rightarrow \max_{s \in S},$$

де λ_i, λ_{ij} – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритетність економічних та екологічних факторів; $\lambda_i(s)$ – функції корисності локальних критеріїв.

Особливістю запропонованої моделі є врахування синергетичних ефектів між критеріями через парні добутки $\xi_i(s) \cdot \xi_j(s)$. Це дозволяє моделювати нелінійні залежності, наприклад, коли зменшення відстаней транспортування одночасно скорочує, витрати, викиди і час доставки.

Для порівняння варіантів з інтервальною визначеністю параметрів і

змінних показників пропонується використовувати індекс на основі узагальненої різниці Хукухари, що дозволяє оцінити ризики перевищення нормативів викидів [4–5].

Теоретичний аналіз запропонованої моделі показує, що інтеграція екологічного критерію дозволяє знайти компромісні рішення між економічною ефективністю та екологічною безпекою. Використання адитивно-мультиплікативної функції корисності забезпечує гнучкість у налаштуванні пріоритетів між витратами, часом доставки та обсягами викидів залежно від корпоративної політики та регуляторних вимог.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою адаптивних методів оптимізації, що враховують динаміку зміни екологічних стандартів, а також створенням математичного забезпечення для підтримки прийняття ефективних рішень при проектуванні екологічно орієнтованих логістичних систем.

Література:

1. Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoo E. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions // *European Journal of Operational Research*. 2017. Vol. 263. P. 108–141.
2. Beskorovainyi V., Sudik A. Optimization of topological structures of centralized logistics networks in the process of reengineering // *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2021. No. 1 (15). P. 23–31.
3. Jo D., Kwon C. Structure of Green Supply Chain Management for Sustainability of Small and Medium Enterprises // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 1. 50.
4. Безкоровайний В. В., Русскін В. М., Тітов С. В. Математична модель задачі оптимізації логістичних мереж в умовах інтервальної визначеності вхідних даних // *Вісник ХНАДУ*. 2023. Вип. 102. С. 95-103.
5. Bezkorovainyi V., Binkovska A., Noskov V., Gopejenko V., Kosenko V. Adaptation of Logistics Network Structures in Emergency Situations // *Advanced Information Systems*, 2025. Vol. 9. No. 4. P. 39–50.

УДК 005.53:004.492

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ АНТИВІРУСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Жданюк М.С., Ільге І.Г.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Оскільки антивірус є складним програмним продуктом, його оцінювання і вибір неможливе без комплексного підходу та розгляду з різних технічних і функціональних позицій і визначення критеріїв.

У першу чергу зупинимося на групі критеріїв, що визначають якість базового захисту.

Насамперед, ключовим показником ефективності будь-якої антивірусної системи є її здатність своєчасно виявляти потенційно небезпечні об'єкти та успішно запобігати шкідливим діям з їхнього боку. Високий рівень детекції є основою захисту, адже саме він визначає, наскільки якісно програма реагує на широкий спектр загроз.

Другим важливим фактором виступає стан і регулярність оновлення вірусних баз. Сучасні шкідливі програми швидко модифікуються, тому антивірус повинен оперативно отримувати нові сигнатури та відомості про актуальні загрози. Недостатня актуальність баз може значно знизити рівень безпеки навіть при ефективних алгоритмах.

По-третє, у процесі роботи антивірусу часто використовуються евристичні методи для виявлення нових або модифікованих вірусів. Хоча ці алгоритми підвищують можливості захисту, вони можуть призводити до появи хибних спрацювань. Тому доцільно враховувати, чи містить продукт інструменти для коректної обробки таких ситуацій, щоб уникнути затримок у роботі системи та надмірного навантаження на користувача.

Четвертий критерій пов'язаний із вимогами антивірусного ПЗ до апаратних ресурсів комп'ютера. Швидкодія процесора, доступний обсяг оперативної пам'яті та інші характеристики безпосередньо впливають на

продуктивність програми. Особливо важливо це для навчальних закладів, де техніка може бути застарілою або мати обмежені характеристики. Перевищення вимог антивірусу щодо ресурсів може зробити його використання неможливим або неефективним.

П'ятим критерієм першої групи виступає загальна продуктивність антивірусу. Програма має працювати у фоновому режимі, не заважаючи користувачу, але при цьому забезпечувати моніторинг системи в реальному часі. Якщо алгоритми аналізу загроз є недостатньо оптимізованими або повільними, антивірус не зможе оперативно реагувати на нові атаки, що значно знижує рівень безпеки.

Друга група критеріїв стосується захисту в мережевому середовищі, оскільки саме Інтернет сьогодні є основним джерелом надходження потенційно небезпечних даних. Першим елементом протидії мережевим атакам є брандмауер. Багато сучасних антивірусних продуктів мають власні інтегровані брандмауери, часто з елементами інтелектуальних алгоритмів чи модулів, побудованих на нейронних мережах. Від їхньої ефективності залежить здатність системи контролювати вхідні та вихідні з'єднання.

Під час перегляду веб-ресурсів користувач може випадково потрапити на шкідливі сайти, що використовують вразливості браузера для прихованого встановлення небезпечного ПЗ. Це особливо актуально в навчальних умовах, коли студенти не завжди здатні самостійно оцінити безпечність інтернет-ресурсів. Тому повнота і якість веб-захисту є значущим критерієм вибору антивірусу.

Наступним критерієм у межах мережевої функціональності є наявність та якість VPN-сервісів. Захищений VPN-канал дозволяє шифрувати трафік та приховувати реальну IP-адресу користувача, що знижує ризик перехоплення даних та несанкціонованого стеження.

Ще один аспект мережевої безпеки пов'язаний із захистом веб-камери. Хакери часто намагаються отримати доступ до неї для стеження або збору конфіденційної інформації. Наявність механізмів, які повідомляють про

спроби активації камери та дозволяють блокувати їх, є важливою перевагою антивірусу.

Третя група критеріїв охоплює властивості, пов'язані зі зручністю користування. Першочергове значення має інтерфейс: він повинен бути інтуїтивно зрозумілим і не вимагати спеціальних технічних знань, особливо в умовах навчального процесу. Чим простіше користувачу орієнтуватися в налаштуваннях і функціях програми, тим ефективніше вона буде використовуватися.

Важливим є також питання адаптивності антивірусного ПЗ. Воно повинно мати кілька режимів роботи, легко перемикатися між ними та зберігати стабільність при різних рівнях навантаження системи. Не менш вагомим критерієм є доступність технічної підтримки, яка дозволяє швидко реагувати на проблеми в роботі програми.

Ще один критерій третьої групи — можливість створення резервних копій даних. Оскільки цей процес є звичною практикою, а в навчальних установах студенти можуть мати недостатній досвід у роботі з інформацією, наявність вбудованих функцій резервування та певного обсягу хмарного сховища суттєво підвищує рівень захищеності даних.

Четверта група критеріїв охоплює економічні аспекти вибору антивірусу, що є особливо важливим у сучасних умовах обмеженого фінансування навчальних закладів. Одним з ключових моментів є доступність безкоштовної або ознайомчої (trial) версії. Вона дозволяє оцінити можливості продукту без додаткових витрат і забезпечити мінімально необхідний рівень захисту.

Ще одним фінансовим показником є вартість річної підписки. Вона може суттєво відрізнятися залежно від виробника, тому цей параметр варто ретельно порівнювати, особливо при закупівлі програмного забезпечення для великої кількості комп'ютерів.

На завершення до економічних критеріїв доцільно віднести політику повернення коштів. Наявність гарантії відшкодування вартості у випадку,

коли антивірус не відповідає потребам користувача, забезпечує додаткову гнучкість при виборі програмного продукту.

П'ята група критеріїв: інтеграційні та технологічні можливості антивірусного ПЗ.

Ця група охоплює властивості антивірусу, що визначають його здатність працювати в сучасній інфраструктурі та адаптуватися до нових технологій.

По-перше, важлива сумісність із різними ОС та платформами - Windows, Linux, macOS, а також мобільними системами. Чим ширша підтримка, тим простіше забезпечити єдиний рівень захисту в різноманітному середовищі.

Другий критерій - інтеграція з іншими системами безпеки й централізованими інструментами керування (Active Directory, MDM, брандмауери), що дозволяє керувати політиками та налаштуваннями з єдиного центру.

Третій критерій - використання хмарних технологій для швидкої реакції на нові загрози. Тут важливо враховувати й рівень захисту даних, що передаються у хмару.

Четверте - розширюваність продукту, можливість підключення додаткових модулів (антиспам, контроль пристроїв, аналізатор вразливостей тощо), що дозволяє гнучко адаптувати ПЗ під потреби користувачів.

П'ятим критерієм є застосування алгоритмів ШІ та машинного навчання, які підвищують ефективність виявлення складних і нових загроз.

Шостий критерій - регулярність і тривалість підтримки: своєчасні оновлення баз і компонентів визначають довгострокову надійність продукту.

І нарешті, потрібно враховувати стабільність роботи антивірусу та рівень його втручання в систему, щоб уникнути конфліктів із програмами та збоїв.

Зазначена група критеріїв дозволяє комплексно оцінити технологічну зрілість антивірусного ПЗ та його придатність до використання в умовах сучасної інфраструктури, де важливі не лише базові механізми захисту, а й можливість гнучкої інтеграції та масштабування.

Таким чином, можна побудувати ієрархічну модель вибору антивірусного програмного забезпечення у вигляді нумерованого переліку.

1. Мета - вибір оптимального антивірусного програмного забезпечення.

2. Групи критеріїв.

2.1. Критерії базового захисту.

2.2. Критерії мережевої безпеки.

2.3. Користувацькі критерії.

2.4. Вартісні критерії.

2.5. Інтеграційні та технологічні критерії.

3. Критерії всередині кожної групи.

3.1. Критерії базового захисту.

3.1.1. Рівень виявлення та нейтралізації загроз.

3.1.2. Актуальність і частота оновлення вірусних баз.

3.1.3. Стійкість евристичного аналізу та обробка хибних спрацювань.

3.1.4. Вимоги до ресурсів ПК.

3.1.5. Продуктивність у режимі реального часу.

3.2. Критерії мережевої безпеки.

3.2.1. Якість та функціональність брандмауера.

3.2.2. Захист від небезпечних веб-сайтів.

3.2.3. Наявність та якість VPN.

3.2.4. Захист веб-камери.

3.3. Користувацькі критерії.

3.3.1. Зручність інтерфейсу і простота використання.

3.3.2. Адаптивність до різних режимів роботи.

3.3.3. Наявність технічної підтримки.

3.3.4. Функції резервного копіювання та доступний простір зберігання.

3.4. Вартісні критерії.

3.4.1. Наявність безкоштовної або trial-версії.

3.4.2. Вартість річної підписки.

3.4.3. Гарантія повернення коштів.

3.5. Інтеграційні та технологічні критерії.

3.5.1. Сумісність із різними ОС та платформами.

3.5.2. Інтеграція з іншими системами безпеки.

3.5.3. Використання хмарних технологій.

3.5.4. Розширюваність та додаткові модулі.

3.5.5. Застосування AI/ML для аналізу загроз.

3.5.6. Регулярність оновлення та тривалість підтримки.

3.5.7. Стабільність роботи та мінімізація втручання в систему.

4. Альтернативи.

Розроблена структурна ієрархічна модель вибору антивірусного програмного забезпечення після визначення користувачем актуальних альтернатив може бути безпосередньо використана для побудови матриць попарних порівнянь і подальшої реалізації класичної процедури методу аналізу ієрархій [1].

Список літератури:

1. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: what is it and how it is used // Mathematical Modeling. – 1987. – Vol. 9.

УДК 004.9:625.7:005.334

РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ У БУДІВНИЦТВІ ДОРІГ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ

Іваненко Д. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Ризик-менеджмент у дорожньому будівництві з використанням цифрових моделей поєднує класичні принципи управління ризиками з можливостями цифрових технологій – інформаційного моделювання об'єктів інфраструктури (Building Information Modeling, BIM), цифрових двійників (Digital Twin) та аналітики даних (Data Analytics). Ці інструменти забезпечують перехід від реактивного до прогностичного управління ризиками, дозволяючи оцінювати невизначеність на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта – від проєктування до експлуатації. У дорожньому секторі, де ризики традиційно пов'язані з природно-кліматичними, техніко-технологічними та організаційними чинниками, цифрові моделі створюють принципово нові можливості для підвищення точності проєктування, контролю виконання робіт і зниження непередбачених витрат.

Система ризик-менеджменту у будівництві доріг має ґрунтуватися на принципах стандарту ISO 31000:2018, який формує рамку для ідентифікації, оцінки, моніторингу та контролю ризиків. У цифровому середовищі ця рамка доповнюється положеннями ISO 19650, що визначає принципи управління інформацією в BIM-проєктах і регламентує спільне інформаційне середовище (Common Data Environment, CDE). Інтеграція обох стандартів забезпечує контроль якості даних, простежуваність рішень і відповідальність за інформаційні потоки. Це критично важливо, адже ризики в цифровому будівництві пов'язані не лише з матеріально-технічними аспектами, але й із вразливостями інформаційної інфраструктури – від некоректних даних до кіберзагроз.

BIM-моделі та цифрові двійники стають основними інструментами ризик-менеджменту. BIM відображає геометрію та атрибути елементів об'єкта, забезпечуючи точність розрахунків матеріалів і виявлення колізій на стадії проєктування. Digital Twin, своєю чергою, поєднує цю модель з даними з сенсорів і телеметрії, створюючи динамічне відображення стану об'єкта в реальному часі. Це дає можливість оцінювати вплив навантажень, погодних умов і технологічних відхилень на ресурс конструкцій та прогнозувати необхідність технічних втручань. Як свідчать аналітичні звіти Федерального управління автомобільних доріг США (FHWA) та Міжнародної дорожньої асоціації (PIARC), інтеграція інформаційного моделювання та цифрових двійників у процеси управління дорожньою інфраструктурою дає змогу суттєво знизити невизначеність у плануванні, скоротити витрати, пов'язані з непередбачуваними відхиленнями, і підвищити точність прогнозування технічного стану об'єктів [1, 2]. Ці дослідження підкреслюють, що цифрові моделі не лише підвищують ефективність використання ресурсів, а й формують основу для превентивного управління ризиками на всіх стадіях життєвого циклу дорожнього проєкту.

Оцінка ризиків у цифровому середовищі здійснюється через ризик-реєстр, інтегрований із цифровою моделлю. Для кожного елемента (із зазначенням ID у BIM/DT) визначаються ймовірність і вплив події. Ймовірності можуть оновлюватися в реальному часі за допомогою байєсівських мереж, що враховують надходження нових даних із сенсорів або звітів. Монте-Карло симуляції дозволяють моделювати можливі сценарії вартості та строків, а аналіз чутливості – визначати найвпливовіші чинники ризику. Зв'язок цих моделей із календарно-ресурсними графіками (4D/5D BIM) дає змогу оцінювати ризики комплексно, у взаємозв'язку часових, фінансових і матеріальних показників.

Моніторинг виконання робіт і ресурсів через цифрові інструменти базується на даних із геодезичних сканів, сенсорів, GPS-трекерів техніки та систем контролю якості. Порівняння фактичних і планових параметрів

(as-built vs. as-planned) здійснюється автоматично: при відхиленнях система генерує попередження, розраховує потенційні наслідки для бюджету і строків, а також пропонує альтернативні сценарії дій. Цифрові моделі дозволяють точно розраховувати потребу в матеріалах, запобігаючи як дефіциту, так і надлишковим закупівлям. У поєднанні з CDE це забезпечує прозорість постачання, своєчасну корекцію графіків і зниження фінансових ризиків.

Для кількісної оцінки ризику доцільно використовувати розрахунок очікуваних втрат (Expected Monetary Value), що визначає середній рівень фінансових наслідків ризику, а також агрегований індекс ризиковості для всієї моделі. В аналітичних платформах ризикові показники візуалізуються безпосередньо на 3D-моделі, що полегшує ухвалення управлінських рішень. Важливо, щоб ризик-реєстр оновлювався синхронно з модельними даними, а оцінки ризику враховували зміни у реальних параметрах виконання робіт.

Організаційно управління ризиками в цифровому середовищі потребує нових ролей – менеджера інформаційних моделей, аналітика даних, координатора CDE. Усі вони відповідають за цілісність даних, своєчасне оновлення моделі та контроль доступу. Політика кібербезпеки стає невід’ємною частиною ризик-менеджменту: передбачаються резервні копії моделей, шифрування каналів, аудит змін і обмеження доступу за рівнями. Важливо також забезпечити навчання персоналу та регламентовані процедури перевірки і валідації даних.

У контрактах на будівництво доцільно передбачати вимоги щодо інформаційних поставок: частоту оновлення моделі, формат даних, порядок передачі ризик-реєстру. Впровадження BIM Execution Plan з чітко визначеними зонами відповідальності та вимогами до обміну інформацією мінімізує ризики втрати або спотворення даних. У поєднанні з регулярними аудитами інформаційних процесів це формує культуру проактивного управління ризиками, а не реагування на наслідки.

Економічна ефективність цифрових моделей у системі ризик-менеджменту проявляється у зниженні варіативності витрат і строків реалізації проєктів. Порівняльне моделювання сценаріїв «з BIM» і «без BIM» дає змогу кількісно оцінити приріст чистої приведеної вартості (NPV) завдяки скороченню ймовірності непередбачених витрат і підвищенню точності планування ресурсів. За результатами досліджень та проєктів, узагальнених у рамках програми Call 2022 «Data» Конференції європейських директорів доріг (CEDR) та ініціативи DROIDS (Digital Road Operator Information and Data Strategy), впровадження цифрових двійників у дорожні проєкти сприяє підвищенню ефективності управління активами, зменшенню кількості дефектів та оперативнішому реагуванню на відхилення від планових параметрів, що безпосередньо впливає на зниження загальних експлуатаційних витрат і ризиків протягом життєвого циклу дороги.

Для практичного впровадження цифрового ризик-менеджменту у дорожніх проєктах доцільно послідовно реалізувати такі кроки:

- створити централізований ризик-реєстр у межах CDE з прив'язкою до елементів моделі;
- налаштувати автоматичні порогові попередження для ключових параметрів (затримки, відхилення обсягів, якість матеріалів);
- застосовувати ймовірнісні методи оцінки та сценарне моделювання з використанням реальних даних сенсорів;
- формалізувати політику оновлення та перевірки моделей, включно з верифікацією джерел даних;
- інтегрувати ризик-менеджмент у договірні відносини та систему управління якістю.

Таким чином, цифрові моделі не лише візуалізують ризики, а й створюють підґрунтя для їх кількісної оцінки й контролю. Вони забезпечують прозорість процесів, інтеграцію даних і можливість перевіряти сценарії управління, що перетворює ризик-менеджмент із реактивного інструменту в системну складову стратегічного управління проєктом.

Реалізація такої моделі потребує належного нормативного забезпечення, кваліфікованого персоналу та організаційної зрілості, але саме цей підхід формує основу для стійкого розвитку дорожньо-будівельної галузі в умовах цифрової економіки.

Література:

1. Building Information Modeling (BIM) Practices in Highway Infrastructure: FHWA Global Benchmarking Program Report № FHWA-PL-21-024, 2021. URL: https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl21024/fhwa_pl21024.pdf
2. BIM and Digitalization in Road Asset Management: PIARC Technical Report № 2023R48EN, 2024. URL: <https://www.yakist.org/wp-content/uploads/2024/09/bim-and-digitalization-in-road-asset-management-technical-report.pdf>

УДК 004

МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ВИГОРАННЯ В ПРОЄКТНИХ КОМАНДАХ

Іванова С.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Проблема професійного вигорання у проєктних командах набуває все більшого значення і впливає як на продуктивність, так і на психологічний стан фахівців. Вигорання призводить до зниження мотивації, помилок у роботі та затримок у виконанні проєктів, що підтверджують сучасні дослідження ЄС та міжнародних організацій [1]. Особливо гостро ця проблема проявляється у середовищі з високою невизначеністю, де рівень навантаження на співробітників швидко змінюється, а командні ролі мають гнучкий характер.

Український контекст створює додаткові виклики: кадрові зміни через мобілізацію, стресові фактори воєнного часу та часті зміни пріоритетів у проєктах громадського сектору[2]. У таких умовах традиційні інструменти планування, що ґрунтуються на статичних оцінках і інтуїтивних рішеннях менеджерів, стають недостатніми.

У зв'язку з цим виникає потреба у застосуванні інтелектуальних підходів, що дозволяють прогнозувати ризик вигорання та забезпечувати збалансований розподіл навантаження в командах.

Метою цієї роботи є зниження ризику професійного вигорання шляхом оптимізації робочих графіків і завантаженості фахівців за рахунок обґрунтування використання методів штучного інтелекту.

Проблематика професійного вигорання у проєктних командах

Професійне вигорання визначається ВООЗ як синдром, що виникає внаслідок хронічного стресу на робочому місці [3]. У проєктному менеджменті ключовими факторами є багатозадачність, нестабільність, перевантаження та постійна зміна планів. Дисбаланс навантаження

спричиняє нерівномірну продуктивність та збільшує імовірність помилок у критичних етапах виконання проєкту.

У воєнних умовах України рівень емоційного та операційного навантаження на персонал значно вищий, а доступність співробітників може змінюватися непередбачувано [2]. Це підсилює важливість прогнозування навантаження та індивідуальних ризиків.

Прогнозування ризику вигорання засобами машинного навчання

Інструменти машинного навчання дозволяють моделювати ризик вигорання на основі історичних та поведінкових даних. Сучасні моделі Random Forest, XGBoost та нейронні мережі демонструють високу точність у виявленні кореляцій між робочим навантаженням і показниками емоційного виснаження [4].

Фактори, які використовують моделі:

- історичний обсяг виконаних задач;
- кількість активних задач одночасно;
- стабільність робочого графіка;
- середній час виконання елементів WBS;
- частота зміни пріоритетів;
- рівень залучення співробітника до критичних етапів.

Моделі прогнозування формують Burnout Risk Score, який враховується під час планування та дозволяє зменшити ймовірність перевантаження окремих співробітників ще до появи симптомів вигорання [5].

Оптимізація робочого навантаження на основі багатоцільової моделі

Багатоцільова оптимізація у задачах розподілу ресурсів (MO-RCPSP) дозволяє одночасно враховувати швидкість виконання проєкту та рівномірність навантаження між учасниками команди. Генетичні алгоритми, ройовий інтелект та інші метаевристики показали високу ефективність у задачах планування із неповною або нестабільною інформацією [6-7].

Оптимізаційна модель забезпечує:

- мінімізація загальної тривалості проєкту (makespan);

- максимізація рівномірності навантаження між виконавцями (workload balance);
- обмеження навантаження відповідно до Burnout Risk Score;
- можливість адаптації за допомогою Reinforcement Learning у динамічних умовах [8].

Такий підхід дозволяє трансформувати прогнозні дані у конкретні управлінські дії, що зменшують ризики вигорання та підвищують стійкість команд у кризових ситуаціях.

Поєднання прогнозування ризику вигорання та оптимізації навантаження створює основу для розробки інтелектуальних модулів підтримки прийняття рішень. Такі підходи можуть бути інтегровані у типові системи управління проектами, підсилюючи аналітичну спроможність менеджерів і зменшуючи вплив людського фактора на якість рішень.

Запропонований AI-підхід дозволяє

- раннє виявлення ризику вигорання
- підвищення точності прогнозування продуктивності;
- збалансований розподіл навантаження;
- зменшення операційних ризиків;
- підсилення стійкості проектних команд у динамічних умовах.

Використання штучного інтелекту у проектному менеджменті відкриває нові можливості для формування стабільних та продуктивних команд, здатних працювати в умовах підвищеного стресу та невизначеності.

Література:

1. European Agency for Safety and Health at Work. Burnout in the workplace: EU perspective [Electronic resource]. Luxembourg : Publications Office, 2023. 112 p. URL: <https://osha.europa.eu/en/publications/burnout-workplace-eu-perspective> (date of access: 16.11.2025).

2. Міністерство економіки України. Ринок праці в умовах воєнного стану : аналітична доповідь [Електронний ресурс]. Київ, 2023. 29 с. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=516a82c1-7b3b-46f0-b1d7-c6b22b1031d2> (дата звернення: 16.11.2025).
3. World Health Organization. Burn-out an “occupational phenomenon”: International Classification of Diseases [Electronic resource]. 2022. URL: <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases> (date of access: 16.11.2025).
4. van Wijk K. B. B. O. M., Demerouti E., Bakker A. B. Predicting employee burnout: A systematic review of machine learning applications. *Journal of Occupational Health Psychology*. 2023. Vol. 28(4). P. 211–237. DOI: 10.1037/ocp0000346.
5. Zhang Q., Li Y., Chen H. AI-Driven Burnout Prediction in Dynamic Project Environments. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2024. Vol. 15(1). P. 272–284. DOI: 10.1109/TAFFC.2024.3364239.
6. Кононихін О. С. Інформаційна технологія вибору персоналу офісу логістичного підприємства в умовах нечіткої інформації / О. С. Кононихін, Б. С. Чорний, І. Ю. Шапошник, Д. В. Бологова // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. - 2021. - Вип. 92(1). - С. 87-91.
7. Нефьодов Л.І., Кононихін О.С., Бондаренко М.О. Модель вибору програмного забезпечення для оцінки мобільних додатків, коли критерії задані інтервальними значеннями «Наука і техніка сьогодні» - No 14(14) 2022. С. 345-357

УДК 004

УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЄКТАМИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ: ПРАВОВІ АСПЕКТИ ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

М.М. Іващенко., Ю.В. Ратнакар

*Інститут цивільної авіації Харківського національного університету
повітряних Сил імені Івана Кожедуба*

Статтю присвячено аналізу правових засад управління програмами та проєктами в авіаційній галузі. Досліджено особливості прийняття управлінських рішень із урахуванням міжнародних стандартів ІКАО, вимог EASA та положень Повітряного кодексу України. Акцентовано увагу на питаннях юридичної відповідальності керівників авіаційних проєктів, проблемах правової невизначеності під час реалізації інноваційних програм, а також на необхідності формування правової культури управлінців у системі авіаційної освіти. Показано, що ефективність управління авіаційними програмами визначається здатністю керівників ухвалювати рішення, які одночасно відповідають вимогам безпеки польотів, нормам міжнародного права та етичним стандартам професії.

Авіаційна галузь є складним соціотехнічним простором, у якому поєднуються високі технології, людський фактор і суворі міжнародні норми. Кожне управлінське рішення — від розроблення нового типу повітряного судна до впровадження цифрової системи моніторингу польотів — має правові наслідки, що безпосередньо впливають на безпеку людей, репутацію організації та функціонування національної авіаційної системи загалом. Саме тому управління авіаційними програмами та проєктами сьогодні розглядається не лише як технічна чи організаційна діяльність, а насамперед як правовий процес, що вимагає юридичної обґрунтованості, відповідальності та дотримання принципу верховенства права.

Міжнародна система авіаційного права формує основу єдиного правового поля у світовій авіації. Центральне місце в ній посідає Конвенція про міжнародну цивільну авіацію (Чикаго, 1944), яка визначає базові принципи діяльності держав і авіаційних операторів, а також створює інституційну структуру Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО). На основі стандартів ІКАО розроблено низку нормативних актів, серед яких ключове значення має Annex 19 Safety Management, що запроваджує концепцію системи управління безпекою польотів (Safety Management System — SMS). Відповідно до цього документа, будь-яке управлінське рішення в авіаційній організації має бути формалізоване, документально підтверджене та підлягати оцінюванню з погляду ризику й правової відповідальності.

У європейському правовому просторі діють регламенти ЄС № 1321/2014 та № 2018/1139, ухвалені Європейським агентством з авіаційної безпеки (EASA), які визначають вимоги до сертифікації авіаційної техніки, підготовки персоналу, управління якістю та ліцензування. Для України гармонізація національного законодавства з цими нормами є стратегічним напрямом розвитку авіаційної галузі, адже вона забезпечує узгодженість внутрішніх управлінських рішень із міжнародними стандартами та підвищує рівень правової відповідальності авіаційних керівників.

Проблеми прийняття рішень у сфері управління авіаційними програмами зумовлені насамперед високим рівнем правової складності та ризиків. Сучасні проєкти охоплюють технології штучного інтелекту, автоматизовані системи діагностики, цифрові симулятори — саме ті напрями, де правова база ще не є достатньо усталеною. Це спричиняє колізії між технічними інноваціями та чинними правовими нормами.

Наприклад, коли автоматизована система ухвалює рішення щодо технічного стану повітряного судна, постає питання: хто несе юридичну відповідальність за можливу помилку — розробник, оператор чи авіаційний експлуатант? Подібні ситуації потребують чіткого нормативного

врегулювання, адже саме правовий аналіз ризиків має передувати будь-якому управлінському рішення.

Резонансні події, зокрема катастрофи Boeing 737 MAX, продемонстрували, що відсутність належної юридичної координації між виробниками, сертифікаційними органами та керівниками програм може мати трагічні наслідки. Ці випадки стали сигналом для міжнародної авіаційної спільноти: правові аспекти управління не можуть залишатися на периферії технічних процесів. Вони мають бути інтегровані на всіх етапах життєвого циклу авіаційного проєкту — від планування й розроблення до експлуатації та післясертифікаційного нагляду. Усвідомлення юридичних наслідків є необхідною умовою ефективності й етичності будь-якого управлінського рішення в авіації.

Особливого значення в сучасному авіаційному праві набуває концепція «справедливої культури» (Just Culture), закріплена в Регламенті ЄС № 376/2014. Її сутність полягає в тому, що працівники мають право повідомляти про помилки без страху покарання, якщо ці помилки не є умисними порушеннями. Такий підхід формує атмосферу довіри, сприяє відкритості, але водночас підтримує дисципліну й особисту відповідальність.

Концепція Just Culture демонструє, що право в авіації є не лише системою санкцій, а й дієвим механізмом навчання, профілактики та підвищення якості управління. У цьому контексті юридичне мислення постає як невід’ємний елемент управлінської компетентності: керівник авіаційного проєкту повинен не лише ухвалювати рішення, а й глибоко усвідомлювати правові наслідки кожного свого кроку.

Правове забезпечення управлінських рішень тісно пов’язане з освітою. Підготовка майбутніх фахівців цивільної авіації передбачає не лише вивчення нормативно-правових актів, а й розвиток умінь аналізувати конкретні юридичні ситуації, моделювати правові колізії та передбачати наслідки прийнятих рішень. Саме тому інноваційні освітні підходи, зокрема

кінопедагогіка, стають потужним інструментом формування правової культури.

Аналіз кінофільмів *Sully*, *Official Secrets* та інших дає змогу студентам досліджувати реальні кейси, у яких юридичне рішення перебуває на межі між законом і моральним вибором. Такий метод сприяє інтеграції правової, етичної та емоційної складових мислення, що є необхідними для формування ефективних управлінців авіаційної галузі. У результаті студенти навчаються не лише застосовувати норми права, а й мислити в категоріях відповідальності, довіри та професійної честі.

Отже, управління програмами та проектами в авіаційній галузі є складним процесом, у якому кожне рішення має бути юридично обґрунтованим, технічно точним і етично виваженим. Ефективність цього процесу визначається глибоким знанням міжнародних стандартів ІКАО та EASA, розвитком правової грамотності керівників, формуванням культури відповідальності в організаціях і впровадженням сучасних освітніх підходів, що виховують критичне, правове й етичне мислення.

Право в авіації — це не лише інструмент контролю, а й філософія безпеки, довіри та людяності. Саме тому розвиток правової культури управлінців є запорукою стабільності й безпеки всього авіаційного простору.

Література:

1. Конвенція про міжнародну цивільну авіацію (Чикаго, 1944). Ратифікована Україною 10.08.1990 р. № 2858-XII.
2. Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation — *Safety Management*. ICAO, 2016.
3. Regulation (EU) 2018/1139 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2018 on common rules in the field of civil aviation.
4. Повітряний кодекс України. Відомості Верховної Ради України, 2011, № 48–49.

5. International Civil Aviation Organization. *Manual on the Use of Artificial Intelligence in Aviation Safety Management*. ICAO, 2023.
6. House of Representatives, Committee on Transportation and Infrastructure. *Final Report on the Design, Development, and Certification of the Boeing 737 MAX*. Washington, D.C., 2020.
7. Regulation (EU) No 376/2014 on the reporting, analysis, and follow-up of occurrences in civil aviation.
8. Іващенко М.О. Кінопедагогіка як інноваційний інструмент формування правової культури авіаційних фахівців // *Проблеми інженерно-педагогічної освіти.* – Харків, 2024. – №78. – С. 112–119.

УДК 004

ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЛОГІСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Ксенофонов Є.Р., Моїсєнко Р.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Сучасні логістичні підприємства працюють у динамічному середовищі, де ефективність операцій значною мірою залежить від рівня автоматизації та швидкості обробки інформації. Зростаюча кількість доступних програмних продуктів робить процес вибору оптимальної системи складним і комплексним завданням. У зв'язку з цим виникає потреба у розробці структурованої моделі, що дозволяє приймати складні та обґрунтовані рішення на основі кількісних і якісних показників [1].

Мета роботи - підвищення ефективності бізнес-процесів за рахунок розробки ієрархічної моделі вибору інформаційної системи логістичного підприємства

В статті розглянуті основні методи вибору інформаційної системи, проведено аналіз критеріїв оцінки системи та створено модель вибору інформаційної системи логістичного підприємства, яка поєднує методи багатокритеріального аналізу, експертного оцінювання в умовах невизначеності.

Для реалізації моделі розглянуті наступні етапи:

- формулювання мети вибору - визначення конкретної проблеми, яку має вирішувати інформаційна система, наприклад, автоматизація складу чи контроль перевезень. На цьому етапі також встановлюються пріоритети підприємства - зниження витрат, підвищення швидкості чи гнучкості управління;

- збір альтернатив - включає дослідження ринку програмних рішень, аналіз технічних характеристик, ліцензійних умов та сумісність з

інфраструктурою підприємства. Для кожної альтернативи формується опис її можливостей і обмежень;

- визначення критеріїв оцінювання - встановлення параметрів, за якими буде проводитися порівняння систем. Вибір критеріїв здійснюється спільно з фахівцями підприємства, щоб врахувати реальні потреби користувачів.

- застосування методу прийняття рішень - проведення математичної обробки експертних оцінок і визначення вагових коефіцієнтів. На цьому етапі формується матриця оцінювання та розраховується інтегральний показник ефективності;

- аналіз результатів і вибір найкращої альтернативи - отримані дані інтерпретуються, після чого визначається система, яка забезпечує найкраще співвідношення ціни, продуктивності та зручності використання.

Для моделі визначені критерії, що найточніше описують практичні потреби логістичного бізнесу.

Ціна впровадження і обслуговування системи визначає економічну ефективність рішення, дозволяючи оцінити термін окупності інвестицій у програмне забезпечення.

Продуктивність і масштабованість характеризують, наскільки система здатна працювати зі зростаючими обсягами даних і підтримувати декілька одночасних користувачів без втрати швидкодії.

Інтеграція з наявними системами підприємства гарантує безперервність бізнес-процесів і зменшує витрати на адаптацію.

Зручність інтерфейсу і простота використання впливають на швидкість навчання персоналу та мінімізують людський фактор під час введення даних.

Надійність і безпека даних визначають стабільність роботи системи, захищеність інформації від несанкціонованого доступу та втрат.

Серед обмежень моделі виділено такі аспекти:

- обмежений бюджет підприємства, який не дозволяє придбати дорогі комплексні рішення;

- стислі терміни впровадження, що вимагають вибору системи з простою інсталяцією;
- наявна технічна база, сумісна лише з певними СУБД (SQL Server, MySQL);
- обмежена кількість експертів, що знижує точність оцінок, але дозволяє зберегти реалістичність моделі.

В основу моделі, яку розглянуто в статті, покладено метод аналізу ієрархій (АНР), який дозволяє структурувати задачу вибору у вигляді дерева рішень. Кожен критерій порівнюється попарно, що забезпечує більш точну оцінку відносної важливості. Далі проводиться нормалізація матриці оцінок і розрахунок векторів вагових коефіцієнтів, які показують пріоритетність кожного критерію [2-3].

На основі визначених критеріїв побудовано ієрархічну модель вибору інформаційної системи логістичного підприємства (рис 1).



Рисунок 1 - Ієрархічну модель вибору ІС

Для визначення пріоритетності критеріїв проведено попарне порівняння за шкалою Сааті

Таблиця 1 - Матриця парних порівнянь критеріїв вибору інформаційної системи

Критерій	Ціна	Продуктивність	Інтеграція	Простота	Безпека
Ціна	1	1/2	1/3	2	2
Продуктивність	2	1	2	3	2
Інтеграція	3	1/2	1	3	3
Простота	1/2	1/3	1/3	1	1
Безпека	1/2	1/2	1/2	1	1

З початку ми побудували матрицю парних порівнянь критеріїв, далі ми знаходимо суму кожного стовпця та ділимо кожний елемент матриці на суму відповідного стовпця. Після цього ми розраховуємо середнє значення в кожному рядку - це і є вага критерію.

Таблиця 2 - Нормалізована матриця парних порівнянь та розрахунок вагових коефіцієнтів критеріїв

1	1/2	1/3	2	2	0,14	0,18	0,08	0,2	0,22
2	1	2	3	2	0,29	0,35	0,48	0,3	0,22
3	1/2	1	3	3	0,43	0,18	0,24	0,3	0,33
1/2	1/3	1/3	1	1	0,07	0,12	0,8	0,1	0,11
1/2	1/2	1/2	1	1	0,07	0,18	0,12	0,1	0,11

Отримані ваги критеріїв: ціна - 0,16; продуктивність - 0,33; інтеграція - 0,3; простота - 0,1; безпека - 0,12.

Як бачимо, найважливішим критерієм виявився Інтеграція, далі - Продуктивність, потім - Ціна, Безпека і найменш важлива - Простота інтерфейсу.

Отримані оцінки альтернатив: $S_1 = 0,72$, $S_2 = 0,84$, $S_3 = 0,84$, $S_4 = 0,75$, $S_5 = 0,8$

IC2 та IC3 мають практично однакові інтегральні показники (різниця в тисячних), тобто за заданими оцінками Visual Studio + MySQL та Microsoft Dynamics 365 Supply Chain є майже рівноцінними лідерами.

Запропонована модель довела свою ефективність при виборі інформаційної системи для логістичного підприємства. Вона забезпечує структурований підхід до прийняття рішень, зменшує вплив суб'єктивних чинників і дозволяє швидко адаптувати критерії під потреби конкретної компанії.

Отримані результати мають прикладну цінність для підприємств, які прагнуть підвищити ефективність логістичних процесів через цифровізацію управління.

Література:

1. Наконечна Т. В., Гринів Н. Т., Данилович Т. Б. ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РИНКУ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ. Вісник Ужгородського національного університету. Серія: Економіка [Електронний ресурс]. 2019. Вип. 24, Ч. 2. С. 139–145. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/24_2_2019ua/24_2_2019.pdf (дата звернення: 16.11.2025).
2. Baj-Rogowska A. Application of AHP method for optimal selection of the IT system supporting business operations in the logistics enterprise. *Torun Business Review* [Electronic resource]. 2015. Vol. 14(1). P. 111–122. URL: https://www.researchgate.net/publication/309717762_Application_of_AHP_method_for_optimal_selection_of_the_IT_system_supporting_business_operations_in_the_logistics_enterprise (date of access: 16.11.2025).
3. Кононихін О. С. Інформаційна технологія вибору персоналу офісу логістичного підприємства в умовах нечіткої інформації / О. С. Кононихін, Б. С. Чорний, І. Ю. Шапошник, Д. В. Бологова // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. - 2021. - Вип. 92(1). - С. 87-91.

УДК 004.9

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОСВІТНІХ ЗАКЛАДІВ

Купцова А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Мультимедійні технічні засоби сьогодні є невід'ємною складовою освітнього процесу. Інтерактивні панелі, проектори, документ-камери, акустичне обладнання, візуалізатори та комп'ютерні системи формують сучасне навчальне середовище. Їх використання забезпечує наочне подання навчального матеріалу, сприяє кращому засвоєнню інформації, стимулює пізнавальну активність учнів і підтримує впровадження інтерактивних методів навчання.

Однак проблема вибору конкретних технічних засобів залишається актуальною. Різноманітність моделей і виробників, швидке оновлення технологій, а також обмежені фінансові ресурси навчальних закладів потребують науково обґрунтованого підходу до визначення оптимального варіанта. При цьому необхідно враховувати не лише технічні параметри, але й економічну доцільність, надійність, ергономіку та безпечність використання.

Першою групою критеріїв, яку слід враховувати при виборі технічних засобів, є економічна. Для освітніх закладів, особливо бюджетних, вартісні показники мають першочергове значення. Доцільність придбання будь-якого мультимедійного пристрою має оцінюватися не лише за ціною закупівлі, а й за сукупністю експлуатаційних витрат. Економічні технічні засоби зазвичай характеризуються обмеженим терміном служби, зниженою якістю відтворення зображення та швидким моральним старінням, що зумовлює додаткові витрати. Водночас надмірно дороге обладнання не завжди є доцільним для стандартного навчального процесу, особливо якщо його функціональні можливості використовуються частково.

Важливим економічним показником є вартість обслуговування та наявність сервісних центрів виробника. Якщо обладнання вимагає регулярного технічного догляду, заміни компонентів або спеціального програмного забезпечення, то навіть за низької початкової ціни сукупна вартість володіння може виявитися значною. Також слід враховувати енергоспоживання пристроїв, оскільки воно прямо впливає на поточні витрати закладу. Для великих шкіл чи університетів, де щодня працює десятки аудиторій, економія електроенергії може мати суттєве значення [1].

Другою важливою групою є технічні критерії, які визначають функціональні можливості обладнання та його придатність до освітніх цілей. Одним із ключових параметрів є розмір і роздільна здатність екрана. Для навчальних аудиторій середнього розміру оптимальною вважається діагональ 65–75 дюймів при роздільній здатності не нижче 4K, що забезпечує комфортне сприйняття зображення навіть з далеких рядів. Тип матриці також відіграє важливу роль: IPS-панелі забезпечують широкі кути огляду та природне відтворення кольорів, що особливо важливо під час колективної роботи з інтерактивним контентом.

Яскравість та контрастність впливають на видимість зображення при різному освітленні. В умовах природного світла аудиторії бажано, щоб яскравість екрана перевищувала 400 кд/м², а коефіцієнт контрастності був не меншим ніж 1200:1. Не менш суттєвими є параметри швидкості реакції на дотик, точності позиціонування та кількості одночасних точок дотику. Для колективних занять важливо, щоб кілька користувачів могли взаємодіяти з панеллю одночасно [2].

Ще одним технічним аспектом є сумісність з операційними системами та програмним забезпеченням, яке використовується в навчальному процесі. Оптимальним є вибір відкритої платформи, що підтримує інтеграцію з різними додатками та хмарними сервісами, дозволяє працювати з документами, мультимедійними презентаціями, системами управління

навчанням. Універсальність і гнучкість інтеграції визначають довговічність інвестиції в обладнання.

Важливу роль відіграє також надійність конструкції. Матеріали корпусу повинні бути міцними, стійкими до подряпин і ударів. Наявність захисного скла підвищеної твердості запобігає пошкодженням, а вентиляційна система має забезпечувати безпечний температурний режим під час тривалої роботи.

Третя група — ергономічні критерії, які забезпечують комфорт і безпеку користувачів. Ергономіка визначає, наскільки зручно людині взаємодіяти з пристроєм, як швидко викладач або студент може знайти потрібну функцію, наскільки приємною є візуальна взаємодія. Інтерфейс управління має бути простим і логічним, без зайвих рівнів меню. Викладач повинен мати змогу швидко перемикаати режими, запускати програми або регулювати гучність, не відволікаючись від навчального процесу.

Швидкість реакції на дотик — ще один суттєвий параметр. Якщо система реагує із затримкою, це створює відчуття “підвисання” і негативно впливає на сприйняття інформації. Для сучасних інтерактивних панелей допустимою вважається затримка не більше 10–15 мс. Важливим є й кут огляду: він має бути достатнім, щоб зображення залишалося чітким навіть при перегляді збоку [3].

Комфорт користувача визначається також відсутністю відблисків, які створюють додаткове навантаження на зір. Тому поверхня екрана має бути матовою або мати антивідблискове покриття. Умови експлуатації повинні передбачати можливість регулювання висоти або кута нахилу пристрою, що особливо актуально для шкіл, де навчаються діти різного віку.

Необхідно враховувати і безпечність матеріалів, з яких виготовлене обладнання. Всі компоненти мають відповідати стандартам екологічної безпеки (RoHS, CE), не виділяти токсичних речовин під час нагрівання та бути придатними до тривалої експлуатації [4].

Запропанована сукупність економічних, технічних та ергономічних критеріїв дозволяє обґрунтовано будувати моделі вибору технічних

мультимедійних засобів для освітніх закладів, що забезпечить ефективне використання фінансових ресурсів, підвищення якості навчального процесу та створення сучасного інтерактивного середовища.

Література:

1. Економічні критерії при виборі технічних засобів [Он-лайн]. Доступно: https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01008-z?utm_source
2. Технічні критерії для технічних мультимедійних засобів [Он-лайн]. Доступно: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32646784/>
3. Зорове навантаження в навчальних закладах [Он-лайн]. Доступно: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10666185/?utm_source
4. Ergonomics in Education Settings [Он-лайн]. Доступно: https://wbwood.com/2024/07/23/a-guide-to-ergonomics-in-education-settings/?utm_source

УДК 004.056

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПРОЕКТОРА ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Купцова А. В. Ільге І. Г., Ільге О. І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Сучасний навчальний процес неможливо уявити без використання мультимедійних засобів навчання, серед яких важливе місце посідають проектори. Вони забезпечують наочність подання матеріалу, підвищують рівень сприйняття інформації, сприяють активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти та ефективному засвоєнню навчального матеріалу. Проектори широко застосовуються під час лекційних, практичних і лабораторних занять, а також при дистанційному та змішаному навчанні. Правильний вибір проекційного обладнання є важливим завданням для закладів освіти, оскільки він впливає на якість навчального процесу, комфорт роботи викладача та студентів, а також на економічну доцільність використання технічних засобів. У зв'язку з цим актуальною є задача обґрунтованого вибору проектора за сукупністю технічних, економічних та ергономічних критеріїв.

Для проведення порівняльного аналізу було обрано проектори провідних виробників, які представляють лідерів сучасного ринку мультимедійного навчального обладнання [1], а саме:

- Epson CO-WX01;
- Acer H5360;
- Tecro pj-5080;
- Xiaomi mi smart projector 2.

Оцінка проекторів виконується за економічними, технічними та ергономічними групами критеріїв.

В економічній групі критеріями є вартість придбання та вартість експлуатації.

В технічній групі містяться наступні критерії:

- роздільна здатність;
- технологія матриці;
- тип лампи;
- мінімальна проекційна відстань;
- Яскравість;
- наявність універсальних інтерфейсів підключення;
- тип кріплення.

Ергономічна група містить наступні критерії:

- стійкість до подряпин;
- рівень шуму вентилятора;
- простота налаштування фокусу;
- висота та кут огляду.

Для побудови моделі вибору проектора використовуємо метод, що базується на використанні теорії нечітких множин, використаний роботі [2].

При постановці завдання вибору вважаємо, що перераховані вище критерії однаково важливі. Множина альтернатив X при виборі складається з чотирьох вище перерахованих технічних засобів, які позначаються x_i :

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \quad (3.15)$$

де x_1 – Epson CO-WX01, x_2 – Acer H5360, x_3 – Tecro PJ-5080, x_4 – Xiaomi mi smart projector 2.

Альтернативи оцінили із використанням множини, що містить 13 рівнозначних критеріїв:

$$K = \{K_i\}, i = \overline{1,13}, \quad (1)$$

де K_1 – вартість придбання технічного засобу; K_2 – вартість експлуатації технічного засобу; K_3 – роздільна здатність; K_4 – технологія матриці; K_5 – тип лампи; K_6 – мінімальна проекційна відстань; K_7 – Яскравість; K_8 –

наявність універсальних інтерфейсів підключення; K_9 – тип кріплення; K_{10} – стійкість до подряпин; K_{11} – рівень шуму вентилятора; K_{12} – простота налаштування фокусу; K_{13} – висота та кут огляду.

Оцінки альтернатив по кожному з критеріїв, що входять до множини $\{K_i\}$, представили як нечітку множину:

$$V(K_i) = (\tau_{K_i}(x_1), \tau_{K_i}(x_2), \tau_{K_i}(x_3), \tau_{K_i}(x_4)), \quad (2)$$

де $\tau_{K_i}(x_l)$ – оцінка альтернативи x_l $l = \overline{1,4}$ за критерієм K_i ($i = \overline{1,13}$).

Рішенням завдання вибору є альтернатива x_l , що у найбільшій мірі відповідає вимогам за всією сукупністю критеріїв.

Вирішальне правило P для вибору найкращої альтернативи лежить на перетині відповідних нечітких множин:

$$P = V(K_1) \cap V(K_2) \cap V(K_3) \dots \cap V(K_i) \quad (3)$$

Використовуючи визначення операції перетину нечітких множин визначили функцію приналежності шуканого рішення за допомогою залежності:

$$\tau_p(x_l) = \min_{i=\overline{1,13}} (\tau_{V(K_i)}(x_l)), l = \overline{1,4} \quad (4)$$

Найкращою буде альтернатива x^* , для якої значення функції належності виявиться максимальним, тобто буде виконано співвідношення:

$$\tau_p(x_l^*) = \max (\tau_{p_{l=\overline{1,4}}}(x_l)) \quad (5)$$

Таким чином, рішенням завдання вибору є альтернатива x^* , що найбільшою мірою задовольняє всім критеріям у сукупності.

Для визначення ступеня відповідності (функції належності) кожної з альтернатив кожному з вищеписаних критеріїв, складено Таблицю 3.

Таблиця 3. Значення функції належності

Часткові критерії	Значення функцій належності альтернатив за частковими критеріями			
	$\tau(x_1)$	$\tau(x_2)$	$\tau(x_3)$	$\tau(x_4)$
$V(K_1)$	0,85	0,8	0,82	0,88
$V(K_2)$	0,8	0,85	0,82	0,9
$V(K_3)$	0,9	0,88	0,9	0,81
$V(K_4)$	0,88	0,78	0,88	0,83
$V(K_5)$	0,9	0,9	0,9	0,9
$V(K_6)$	0,85	0,9	0,75	0,65
$V(K_7)$	0,86	0,88	0,88	0,7
$V(K_8)$	0,85	0,78	0,8	0,7
$V(K_9)$	0,88	0,9	0,83	0,76
$V(K_{10})$	0,9	0,88	0,85	0,7
$V(K_{11})$	0,88	0,88	0,85	0,8
$V(K_{12})$	0,85	0,9	0,85	0,8
$V(K_{13})$	0,9	0,9	0,9	0,9
Найменше значення	0,80	0,78	0,75	0,65

Знайшли шукану альтернативу як перетин приведених в таблиці множин використовуючи вирішальне правило Р:

$$P = \{(x_1; 0,80), (x_2; 0,78), (x_3; 0,75), (x_4; 0,65)\} \quad (6)$$

Отже, в результаті порівняння між собою отриманих функцій приналежності кожної з альтернатив виявлено, що найкращою альтернативою є x_1 , тобто Epson CO-WX01.

Таким чином, побудовано модель вибору проектора для навчального процесу на основі нечіткої множинної оцінки альтернатив. Розглянуто чотири сучасні моделі проекторів та виконано їх порівняння за 13 рівнозначними економічними, технічними й ергономічними критеріями. За допомогою операції перетину нечітких множин визначено інтегральну оцінку кожної альтернативи. У результаті розрахунків встановлено, що найкращою альтернативою є проектор Epson CO-WX01, який найбільшою мірою задовольняє сукупність визначених вимог.

Література:

1. Projector Reviews. Classroom Projectors. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.projectorreviews.com/projector-categories/classroom-projectors/> (дата звернення: 04.11.2025).
2. Ilge, I. (2021). Method of selecting automatic control system of a motor grader. Vehicle and Electronics. Innovative Technologies, (20), 37–44. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.04>.

УДК 004.056

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ІР-КАМЕРИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП

Ільге І.Г., Норик А.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Вибір камери відеоспостереження є ключовим етапом проектування систем автоматизованого виявлення несанкціонованого доступу до об'єктів інфраструктури із використанням методів комп'ютерного зору. Саме камера формує первинні вхідні дані, від якості, стабільності та інформативності яких безпосередньо залежить точність відстеження та ідентифікації об'єктів. Невідповідність технічних характеристик камери умовам експлуатації призводить до зниження достовірності аналізу відео потоку та зростання кількості хибних спрацьовувань або пропусків загроз. Особливо критичними є параметри роздільної здатності, світлочутливості, частоти кадрів і сумісності з програмно-апаратною платформою системи. Отже, обґрунтований вибір камери є необхідною умовою забезпечення надійної та ефективної роботи інтелектуальних систем безпеки в реальному часі.

Базою науково-обґрунтованого вибору камери є визначення набору критеріїв.

Так, зокрема, роздільна здатність безпосередньо визначає рівень просторової деталізації відеоряду, що є критичним для алгоритмів, що відповідають за виконання базових функцій:

- розпізнавання обличчя;
- ідентифікації особи;
- виявлення дрібних ознак (бейджів, елементів одягу).

З недостатньою роздільною здатністю зростає ймовірність помилкових ідентифікацій.

Важливою є світлочутливість і нічний режим. Це пов'язано з тим, що умови освітлення безпосередньо впливають на:

- стабільність зйомки відео;
- якість сегментації об'єктів;
- точність алгоритмів розпізнавання.

Без інфрачервоного підсвічування або високої світлочутливості система втрачає працездатність у нічний час.

Треба брати до уваги також частоту кадрів (FPS), що забезпечує:

- коректне відстеження швидких рухів;
- точний аналіз траєкторій;
- запобігання втраті кадрів при вторгненні.

Занижений FPS критично знижує ефективність аналітики відео.

Тип інтерфейсу камери також має бути врахований, бо він впливає на:

- швидкість передачі даних;
- затримки;
- втрати кадрів.

Камера має бути інтегрована в програмну екосистему, тому має значення сумісність із програмним забезпеченням, а саме сумісність драйверів, бібліотек відео, засобів машинного зору. Без такої сумісності неможлива стабільна робота в автоматизованій системі.

Важливою характеристикою є апаратне кодування відео, яке зменшує навантаження на процесор, стабілізує передачу потоку та забезпечує архівування без втрат продуктивності.

Захищеність і надійність камери суттєво впливають на її вибір, враховуючи, що система безпеки повинна бути стабільною до пилу, вологи, ударів та працездатною при екстремальних температурах.

Енергоспоживання також треба брати до уваги, тому що мінімальне енергоспоживання забезпечує автономність і підвищує надійність при аварійному живленні.

Кут огляду є важливим при виборі камери, оскільки він визначає площу контрольованої зони, кількість сліпих зон та точність позиціонування об'єкта.

Неможна оминати такі економічні критерії як вартість і доступність, з огляду на те, що системи безпеки повинні бути економічно доцільними, масштабованими та ремонтпридатними.

Таким чином, при виборі камера розглядається не як універсальний пристрій зйомки відео, а як елемент кіберфізичної системи з жорсткими обмеженнями по ресурсах.

Отже, при виборі IP-камери підсистеми моніторингу та сповіщення про несанкціонований доступ необхідно врахувати наступні критерії:

- роздільна здатність;
- світлочутливість;
- нічний режим;
- частота кадрів (FPS);
- тип інтерфейсу;
- програмна сумісність;
- апаратне кодування відео;
- захищеність і надійність;
- енергоспоживання;
- кут огляду;
- вартість;
- доступність.

Зважаючи на те, що у багатьох випадках реальні значення параметрів камери відрізняються від декларованих виробником, а частина з визначених параметрів може мати лише якісну оцінку, вибір камери буде здійснюватися в умовах невизначеності.

Для того, щоб вибір IP-камери відеоспостереження для даної підсистеми був науково обґрунтованим, необхідно побудувати модель для вибору камери в умовах невизначеності.

Визначені в роботі критерії надають можливість застосувати для створення такої моделі методи, що спираються на оцінки експертів, і, зокрема, метод аналізу ієрархій [1].

Список літератури:

1. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: what is it and how it is used // Mathematical Modeling. – 1987. – Vol. 9.

УДК: 004.8:004.432.2

ПЕРСОНАЛІЗОВАНА ГЕНЕРАЦІЯ РЕЦЕПТІВ НА ОСНОВІ RAG ТА SUPABASE PGVECTOR

Петренко В.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Харків, Україна

Сучасні системи рекомендацій харчування не вміють генерувати персоналізований контент, який враховував би індивідуальні вподобання користувача. Традиційні підходи використовують статичні алгоритми фільтрації, які не адаптуються до зміни смаків та харчових потреб. Технологія Retrieval-Augmented Generation у поєднанні з векторними базами даних дає змогу створювати системи, які самостійно навчаються на основі взаємодії з користувачем. У роботі представлено реалізацію такої системи MealMatics, мобільний застосунок для персоналізованої генерації рецептів.

Система складається з чотирьох основних компонентів. Для перетворення рецептів у числові вектори використовується модель створення векторних представлень розмірністю 1536, яка кодує назву, тип кухні, опис та інгредієнти у семантичний вектор. Для зберігання та пошуку векторів застосовується PostgreSQL з розширенням pgvector та ієрархічним навігаційним індексом HNSW (параметри $m=16$, $ef\_construction=64$), оптимізованим для пошуку за косинусною подібністю [1][2]. При генерації нового рецепту система шукає 3-5 найбільш схожих рецептів, які користувач раніше позначив як улюблені, розраховує коефіцієнт схожості та передає цю інформацію разом з коментарями користувача як контекст для великої мовної моделі. Для надійності реалізовано архітектуру з резервною моделлю через механізм автоматичного перемикавання при недоступності основної [3][4].

Ключова особливість системи – здатність постійно навчатися на основі відгуків користувача. Після оцінки рецепту система створює векторне представлення та зберігає його разом з відгуком для швидкого пошуку.

Спеціальна функція бази даних виконує наближений пошук найближчих сусідів, розраховуючи косинусну відстань між векторами [2]. Знайдені схожі рецепти формують запит до мовної моделі, що дозволяє генерувати нові рецепти близькі за стилем до уподобань конкретного користувача.

Аналіз технічних характеристик показав високу продуктивність: формування контексту займає менше 200 мс, векторний пошук – менше 100 мс. Алгоритм HNSW забезпечує наближений пошук найближчих сусідів з високою точністю при складності $O(\log N)$ [1][2]. Тестування виявило, що при пороговому значенні подібності 0.7 система знаходить рецепти з подібними інгредієнтами, а при 0.85 – практично ідентичні за концепцією. З накопиченням відгуків (понад 10 оцінених рецептів) система починає генерувати рецепти, що краще відповідають індивідуальним вподобанням, що підтверджується підвищенням релевантності при збільшенні обсягу даних про користувача [3].

Для захисту персональних даних реалізовано відповідність вимогам GDPR:

- Ізоляція даних через механізм Row-Level Security у PostgreSQL;
- Право на забуття через автоматичне видалення векторних представлень;
- Шифрування AES-256 у стані спокою та TLS 1.3 при передачі;
- Псевдонімізація ідентифікаторів користувачів [5].

Розроблена система демонструє ефективність підходу доповненого пошуку для персоналізованих додатків.

Здатність до безперервного навчання – з кожним відгуком векторний простір збагачується новими представленнями, що покращує якість семантичного пошуку та релевантність рекомендацій. Наближений пошук найближчих сусідів забезпечує ефективне масштабування при збільшенні обсягу даних.

Література:

1. Datta S., Kumar A. (2024) Retrieval-Augmented Generation: research and implementation patterns. arXiv:2410.12837. <https://arxiv.org/pdf/2410.12837.pdf>
2. Jönsson P., Chen L. (2024) Deploying Supabase pgvector: HNSW index optimization. Supabase Technical Blog. <https://supabase.com/blog/increase-performance-pgvector-hnsw>
3. Zhang Y., Wang H., Liu M. (2024) Self-learning personalization systems with RAG and LLM. arXiv:2510.14629. <https://arxiv.org/html/2510.14629v1>
4. Brown T., Anderson K. (2025) Multi-LLM architecture patterns with fallback strategies. Portkey AI Technical Report. <https://portkey.ai/blog/retries-fallbacks-and-circuit-breakers-in-llm-apps>
5. Schmidt R., Mueller T. (2024) GDPR compliance in AI recommendation systems. EDPB Guidelines. https://www.edpb.europa.eu/system/files/2025-01/d2-ai-effective-implementation-of-data-subjects-rights_en.pdf

УДК 004.9: 519.8

СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ БЮДЖЕТУВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТРАНСПОРТУ

Ткалич Д. В., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасна транспортна галузь України перебуває в умовах глибокої трансформації, що зумовлено як зовнішніми, так і внутрішніми чинниками. Суттєвих змін зазнають структура економіки, логістичні маршрути, тривалість, обсяги перевезень і фінансові можливості більшості споживачів транспортних послуг. Руйнування транспортної інфраструктури (мостів, шляхів сполучення, місць зберігання транспорту тощо), порушення ланцюгів постачання та відтік кваліфікованих кадрів створили безпрецедентні виклики для функціонування транспортних підприємств [1]. В існуючих умовах основними завданнями транспортних підприємств стають забезпечення стабільності перевезень, ефективне використання обмежених ресурсів та оперативне прийняття управлінських рішень в умовах високого рівня невизначеності. Традиційні методи планування та контролю фінансових показників виявляються неефективними, оскільки не враховують швидкоплинність подій, ризики втрати активів та постійні коливання ринку транспортних послуг. В таких умовах система бюджетування стає ключовим інструментом управління фінансами, координації ресурсів і контролю за результатами діяльності підприємства [2–3]. Бюджетний процес на транспортному підприємстві можна представити у вигляді циклічної моделі з контуром зворотного зв'язку (рис. 1).

У транспортній галузі система бюджетування стикається з низкою структурних, організаційних і методологічних проблем, що ускладнюють ефективне управління фінансовими ресурсами. Це ускладнює процес бюджетування, зокрема планування доходів і витрат, оптимізацію маршрутів, визначення резервів фінансової стабільності та формування стратегії

інвестування у технічний розвиток. У цьому контексті системологічний аналіз виступає потужним інструментом, який дозволяє не лише оцінити існуючі бюджетні процеси, а й визначити їхню ефективність, взаємозв'язки між підсистемами підприємства та потенційні зони ризику. Системний підхід до бюджетування забезпечує комплексний погляд на фінансові процеси, інтеграцію стратегічного планування з оперативним управлінням, а також формує основу для прийняття обґрунтованих рішень у невизначених умовах.

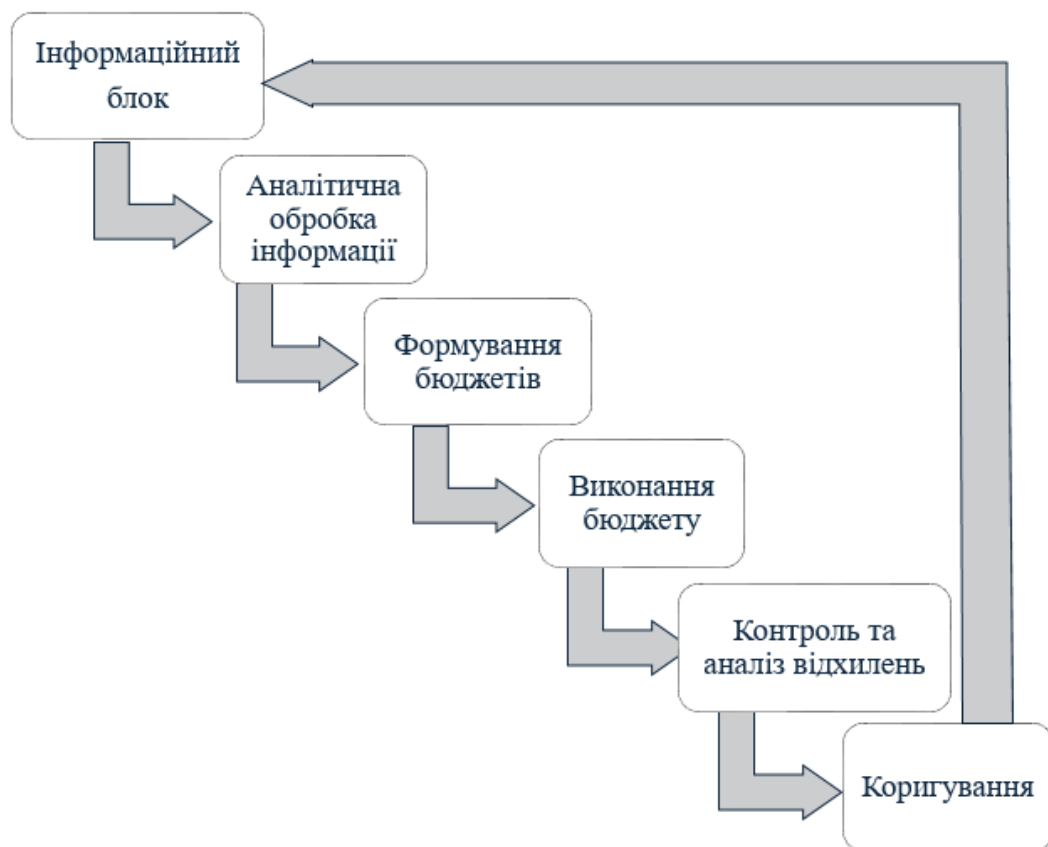


Рисунок 1 – Циклічна модель бюджетування транспортного підприємства

Методологія системологічного аналізу базується на ідеях агрегативно-декомпозиційного і блочно-ієрархічного підходів, які передбачають розбиття проблеми бюджетування за ступенем деталізації на ієрархічні рівні й аспекти, а процесу її вирішення – на групи оптимізаційних процедур, пов'язаних з отриманням і перетворенням описів (рішень) щодо виділених рівнів і аспектів з подальшим їх об'єднанням (агрегацією) для отримання на відповідному рівні рішень по системі в цілому [4].

Проблема бюджетування складається із сукупності неповністю визначених завдань, для яких не сконструйовані схеми і не синтезовані моделі оптимізації, що дозволяє віднести її до числа слабоструктурованих. Її пропонується подавати як деяку метазадачу *MetaTask*, що складається з множини задач, які належать до різних ієрархічних рівнів декомпозиції, з їх взаємозв'язками за вихідними даними і результатами розв'язання:

$$MetaTask = \{Task^l\}, \quad Task^l = \{Task_i^l\}, \quad i = \overline{1, i_l}, \quad l = \overline{1, n_l}, \quad (1)$$

де $Task^l$ – множина задач, що належать до рівня l ; n_l – кількість рівнів опису проблеми; i – номер задачі; i_l – кількість задач, що підлягають розв'язанню на рівні l .

Формально кожна з задач можна розглядати у вигляді деякого перетворювача даних: $Task_i^l: In_i^l \rightarrow Out_i^l$, $i = \overline{1, i_l}$, $l = \overline{1, n_l}$ (де In_i^l , Out_i^l – відповідно вхідні та вихідні дані i -ї задачі l -го рівня).

При цьому кожна з виділених задач $Task_i^l$, $i = \overline{1, i_l}$, $l = \overline{1, n_l}$, за необхідності, може бути подана у вигляді множини взаємопов'язаних підзадач $Task_i^l = \{Task_{ij}^l\}$, $j = \overline{1, j_i}$ (де j_i – кількість підзадач задачі $Task_i^l$).

Пропонується розглядати проблему бюджетування на наступних рівнях:

- макрорівень – формування стратегічного бюджету підприємства, що визначає загальні обсяги ресурсів, капітальні інвестиції та довгострокові фінансові цілі;
- мезорівень – узгодження фінансових планів окремих підрозділів (експлуатаційного, ремонтного, транспортно-логістичного);
- мікрорівень — деталізація бюджетів маршрутів, транспортних засобів та інших центрів витрат.

Згідно з концепцією системологічного аналізу, процес бюджетування в транспортних підприємствах доцільно розглядати як відкриту динамічну систему, що складається з п'яти взаємопов'язаних блоків: аналітичного планового, контрольного, інформаційно-комунікаційного й адаптаційного.

– До перспективних напрямків удосконалення системи бюджетування в транспортній галузі пропонується віднести такі:

– розробка матричної моделі управління бюджетами (враховує вплив зовнішніх і внутрішніх факторів та дозволяє оцінювати міжфункціональні зв'язки в бюджетній системі);

– більш широке використання сценарного моделювання як інструменту антикризового бюджетування (дозволяє більш чітко прогнозувати наслідки зміни таких параметрів як ціна пального, валютний курс, рівень завантаженості парку тощо);

– використання цифрових платформ і систем штучного інтелекту для моніторингу показників у режимі реального часу та підвищення точності прогнозування;

– розроблення комплексних КРІ-моделей, що оцінюють не лише фінансовий результат, а й рівень ефективності використання транспортних засобів, ресурсів, трудового потенціалу.

Однією з головних задач системної оптимізації процесів бюджетування є формалізоване подання процесу розв'язання сукупності взаємопов'язаних підзадач. Таку формалізацію зручно подавати у вигляді логічної схеми побудови системного рішення. З цією метою пропонується розробка мережної математичної моделі метазадачі. На основі отриманої мережної моделі може бути побудована логічна схема системної оптимізації процесів бюджетування, що визначає черговість розв'язання локальних задач. Для визначення схеми $CirOpt$ необхідно визначити таку п'ятірку множин:

$$CirOpt = (Tasks, InDat, Res, DesDec, ProcDec), \quad (2)$$

де $Tasks$ – упорядкована множина задач системної оптимізації; $InDat$ – множина вхідних даних задач; Res – множина обмежень задач; $DesOpt$ – множина рішень задач; $ProcOpt$ – відображення, що має сенс вирішальної процедури і ставить кожній парі «вхідні дані-обмеження» $(InDat_i^l, Res_i^l)$ непорожню підмножину $DesOpt$, що позначається як $ProcOpt(InDat_i^l, Res_i^l)$.

Вся множина задач системної оптимізації *Tasks* є повністю розв'язною, якщо для всіх задач існують оптимізаційні процедури і кожне оптимізаційне рішення є єдиним: $|ProcDec(InDat_i^l, Res_i^l)| = 1$.

Запропонований підхід дозволяє трансформувати процес бюджетування з механічного облікового інструмента у динамічну систему ефективного управління транспортним підприємством. Напрямок подальших досліджень може бути врахування неповної визначеності вхідних даних задач системної оптимізації у технологіях бюджетування підприємств [6].

Література:

1. Левіщенко О., Муленко В., Редько Н. Особливості функціонування та адаптації малих та середніх підприємств транспортного сектору України в умовах воєнного стану // Український економічний часопис. 2025. Вип. 9. С. 73–78.
2. Бурдик О. Ю. Бюджетування в управлінні фінансовими результатами автотранспортних підприємств // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Економічні науки. 2020. №61. С. 107–111.
3. Реслер М. В. Організація системи бюджетування на автотранспортних підприємствах. Мукачево: МДУ, 2019. С. 222–228. URL: <https://vlp.com.ua/node/17151> (дата звернення: 10.11.2025).
4. Безкоровайний В.В. Системологічний аналіз проблеми структурного синтезу територіально розподілених систем // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики. 2002. Вип. 120. С. 29–37.
5. Beskorovainyi V., Kuropatenko O., Gobov D. Optimization of transportation routes in a closed logistics system // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2019. No. 4 (10). С. 24–32. URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/156> (дата звернення: 10.11.2025).
6. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty //

Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. URL:
<http://ais.khpi.edu.ua/article/view/305462/297067> (дата звернення: 10.11.2025).

УДК 004.9: 519.81

КОМБІНОВАНА ПРОЦЕДУРА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Шевченко І. В., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Сучасні завдання проєктного менеджменту характеризуються постійним зростанням складності, багатофакторністю та динамічністю умов, за яких ухвалюються рішення. Проєктні рішення оцінюються з використанням множин суперечливих критеріїв, різних пріоритетів зацікавлених сторін та конфліктних параметрів, які складно узгодити без використання спеціальних інструментів багатокритеріального аналізу [1].

У таких умовах особливого значення набувають системи підтримки прийняття рішень (СППР), здатні враховувати неповну визначеність, невизначеність даних і складні структури оцінювання. В рамках ординалістичного підходу аналіз непотужних множин варіантів допустимих (чи ефективних) рішень $X = \{x\}$ здійснюється особою, що приймає рішення (ОПР). Кардиналістичний підхід передбачає формування скалярного критерію оцінки ефективності варіантів $P(s)$, з використанням якого здійснюється вибір найкращого серед них:

$$x^o = \arg \max \{P(x): x \in X\}. \quad (1)$$

Значення $P(x)$ (1) визначає впорядкування варіантів за їх цінністю:

$$x \sim v \rightarrow P(x) = P(v), \quad x \succ v \rightarrow P(x) > P(v), \quad x \succeq v \rightarrow P(x) \geq P(v). \quad (2)$$

У сучасних СППР все частіше використовують комбіновані методи вибору найкращих варіантів [1]. Для підвищення ефективності розроблюваної системи запропоновано використати комбінацію методів аналізу ієрархій (АНР – Analytic Hierarchy Process) та VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje) [2, 3].

Суть методу АНР полягає у побудові ієрархічної моделі – від загальної

мети до критеріїв і підкритеріїв. На основі матриць попарних порівнянь отримують ваги критеріїв. Важливим аспектом є перевірка узгодженості матриць, що забезпечує достовірність експертних порівнянь [2].

Метод VIKOR забезпечує компромісне ранжування альтернатив на основі інтегрального індексу близькості до ідеального рішення. Він ґрунтується на визначенні ступеня віддаленості альтернативи $x \in X$ від ідеального рішення $x^o \in X$ на основі сумарного $S(x)$ та максимального $R(x)$ відхилень. Результируючий показник $Q(x)$ є компромісом між груповим та індивідуальним критеріями перемоги [3].

Поєднання цих методів забезпечує гнучкий і надійний механізм прийняття рішень, особливо у випадках, коли критерії мають різну природу та суперечливі впливи.

Програмна реалізація СППР виконана у вигляді десктопного застосунку на C# (Windows Forms), що гарантує сумісність, інтегративність та простоту використання. Використаний принцип модульності: кожний алгоритм реалізований окремим програмним модулем, що спрощує додавання нових методів у майбутньому.

Реалізована СППР має такі ключові функціональні можливості:

- побудова структури задачі. Користувач формує ієрархічну модель критеріїв, задає альтернативи, обирає тип оцінювання;
- попарні порівняння (АНР). Передбачено зручний інтерфейс введення значень. Реалізована автоматична перевірка узгодженості з виведенням рекомендацій щодо коригування;
- обчислення ваг критеріїв. Ваги генеруються з використанням усереднення нормованих стовпців;
- компромісне ранжування (VIKOR). Модуль визначає P^* , P^- , нормалізує значення та обчислює інтегральні показники $S(x)$, $R(x)$ та $Q(x)$;
- візуалізація результатів. Виводяться таблиці, рейтинги, проміжні значення, графіки відстаней;
- експорт даних. Підтримуються формати CSV, TXT та Excel.

Отримані експериментальні результати підтверджують ефективність поєднання АНР та VIKOR. Врахування ваг АНР забезпечує адекватне відображення експертних уподобань, а VIKOR надає стабільний механізм компромісного вибору. Підвищується стійкість рішення до часткової неповноти даних та до різних шкал критеріїв.

Тестування продемонструвало:

- покращення узгодженості оцінок у середньому на 22%;
- зменшення чутливості до відсутніх даних;
- зростання точності обраної альтернативи у задачах з конфліктними критеріями.

Для роботи з інтервальними даними передбачається використання механізму перетворення інтервальних значень в узагальнену форму, яку можливо опрацьовувати у рамках методів АНР та VIKOR [4, 5].

Література:

1. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20.
2. Тарполов І. О. Метод аналізу ієрархій у системі прийняття рішень корпоративної соціальної відповідальності // Економіка і регіон. 2023. №4(91). С. 178-184.
3. Романченко І. С., Потьомкін М. М. Метод VIKOR-ядро та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2015. № 3 (24). С. 103–107.
4. Beskorovainyi V., Kolesnyk L., Chinwi Mgbere Dr. Mathematical models for determining the Pareto front for building technological processes options under the conditions of interval presentation of local criteria // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2023. No. 2 (24). P. 16–26.

5. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty // Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38.

УДК 621.337.1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ АТП НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗАХИСТУ

Шуєв В.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Харків

Автотранспортні підприємства представляють з екологічної точки зору складні системи, що використовують, з одного боку, природні ресурси для забезпечення своєї діяльності і з іншого боку - є джерелами різних шкідливих впливів на навколишнє природне середовище, головним чином забруднень. Тому обов'язковою складовою частиною екологічного забезпечення повсякденної діяльності підприємств є охорона навколишнього природного середовища, що передбачає: організацію екологічно безпечного водокористування; очищення побутових і експлуатаційних (виробничих) стічних вод; зменшення обсягів і знешкодження газових викидів, що містять продукти згоряння палива; збір і ліквідацію твердих експлуатаційних відходів; захист навколишнього середовища від шкідливих енергетичних забруднень; відновлення якості компонентів навколишнього середовища, порушених у результаті повсякденної діяльності.

При виконанні технічного обслуговування транспортних засобів задіяні підрозділи, зони періодичних і оперативних форм технічного обслуговування. Виконання ремонтних робіт ведеться на виробничих ділянках. Використовуване в процесах технічного обслуговування (ТО) і ремонту технологічне обладнання, верстати, котельні установки являються стаціонарними джерелами забруднюючих речовин (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Джерела виділення і склад шкідливих речовин у виробничих процесах на експлуатаційних і ремонтних підприємствах транспорту

Назва зони, ділянки, відділення	Виробничий процес	Використовуване обладнання	Шкідливі речовини, що виділяються
1	2	3	4
Ділянка миття рухомого складу	Обмивання зовнішніх поверхонь	Механічне миття (мийні машини), шлангове миття	Пил, лути, поверхнево-активні синтетичні речовини, нафтопродукти, розчинені кислоти,
Зони технічного обслуговування, ділянка діагностики	Технічне обслуговування	Підйомно- транспортуючі пристрої, оглядові канали, стенди, обладнання для заміни мастила, комплектуючих, система витяжної вентиляції	Оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, масляний туман, сажа, пил
Слюсарно- механічне відділення	Слюсарні, розточувальні, свердлувальні, стругальні роботи	Токарний, вертикально- свердлувальний, стругальний, фрезерний, шліфувальний і інші верстати	Пил абразивний, металева стружка, масляний туман, емульсії
Електротехні- чне відділення	Заточувальні, ізолювальні, обмотувальні роботи	Заточувальний верстат, електролудильні ванни, обладнання для паяння, стенди випробувань	Абразивний і азбестовий пил, каніфоль, пари кислот, третник

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Акумулятор на ділянка	Складально-розбірні і зарядні роботи	Ванни для промивки і очищення, зварювальне обладнання, стелажі, система витяжної вентиляції	Промивальні розчини, пари кислот, електроліт, шлами, лужні аерозолі
Відділення паливної апаратури	Регулювальні і ремонтні роботи по паливній апаратурі	Перевірочні стенди, спеціальне оснащення, система вентиляції	Бензин, керосиндизельне паливо, ацетон, бензол, дрантя
Ковальсько-ресорне відділення	Кування, гартування, відпуск металевих виробів	Ковальська сурма, термічні ванни, система витяжної вентиляції	Вугільний пил, сажа, оксиди вуглецю, азоту, сірки, забруднені джерела води
Мідницько-жерстянське відділення	Різка, паяння, виправлення, формування за шаблонами	Ножиці по металу, обладнання для паяння, шаблони, система вентиляції	Пари кислот, третник, наждачний і металевий пил, відходи
Зварювальне відділення	Електродугова і газова зварка	Обладнання для дугової зварки, ацетиленокисневий генератор, система витяжної вентиляції	Мінеральний пил, зварювальний аерозоль, оксиди марганцю, азоту, хрому, хлористий водень, фтори
Арматурне відділення	Різка скла, ремонт дверей, підлоги, сидінь, внутрішнього обробки	Електричний і ручний інструмент, зварювальне обладнання	Пил, зварювальний аерозоль, деревна і металева стружка, металеві і пластмасові відходи

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Шпалерне відділення	Ремонт і заміна зношених, пошкоджених сидінь, полиць, крісел, диванів	Швейні машини, столи, розкроїв, ножі для крою і різки поролону	Пил мінеральний і органічний, відходи тканин і синтетичних матеріалів
Ділянка шиномонтажа і ремонту шин	Розбирання та збирання шин, ремонт покришок і камер, роботи по балансуванню	Стенди для розбирання і збирання шин, обладнання для вулканізації, верстати для динамічного і статичного балансування	Мінеральний і гумовий пил, сірчистий ангідрид, пари бензину
Ділянка лакофарбних покриттів	Видалення старої фарби, знежирення, нанесення лакофарбних покриттів	Обладнання для пневматичного або безповітряного розпилювання, ванни, сушильні камери, система вентиляції	Пил мінеральний і органічний, пари розчинників і аерозолі фарб, забруднені стічні води
Ділянка обкатки двигунів (для ремонтних підприємств)	Холодна і гаряча обкатка двигуна	Стенд для обкатки, система витяжної вентиляції	Оксиди вуглецю, азоту, вуглеводні, сажа, сірчистий ангідрид
Стоянки і місця відстою рухомого складу	Переміщення одиниць рухомого складу, очікування	Обладнаний майданчик відкритого або закритого зберігання	Теж
Склад паливно-змащувальних матеріалів (ПЗМ)	Отримання, зберігання, видача ПЗМ	Тара і ємкості для зберігання, вагове обладнання	Пари і рідкі розливи палив і масел

Література:

1. Автотранспорт і його вплив на навколишнє середовище. Екологія: підручники для ВНЗ онлайн. URL: https://pidru4niki.com/15010922/ekologiya/avtotransport_yogo_vpliv_navkoli_shnye_seredovische (дата звернення: 24.11.2025).
2. ДСТУ 9030:2020. Автомобільні дороги. Оцінка впливів на навколишнє середовище. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 54 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_9030_2020.pdf (дата звернення: 24.11.2025).
3. Сілецький А. Е., Литвиненко В. Г. Вплив автотранспорту на навколишнє середовище. Горлівка: Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ, 2013. 27 с. URL: <https://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/13285/1/s8siletsky.pdf> (дата звернення: 24.11.2025).
4. Костюк Г. С. Екологічні проблеми транспорту та шляхи їх вирішення: навч. посібник. Київ: Каравела, 2018. 312 с.
5. World Health Organization. Air pollution from transport sources and its impact on public health. Geneva: WHO, 2019. 45 p.

УДК 004

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PERSONNEL SELECTION BASED ON FUZZY SETS

Kononykhin O.S., Strelets M.Yu.

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Iskakova Moldir

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

In the context of rapid digitalization of human resource management processes and growing competition for talent, not only attracting qualified specialists but also retaining them is becoming a strategic priority for companies. Statistical data indicate that a significant share of staff turnover occurs precisely during the adaptation period (the first 3–6 months of work), which leads to substantial financial losses associated with recruiting, onboarding, and training costs, as well as a decrease in overall team productivity [1].

Existing personnel selection methods traditionally focus on assessing professional and "soft" skills, which allows determining a candidate's ability to perform the work but does not guarantee their long-term loyalty to the company. Subjective assessment by recruiters often fails to account for hidden behavioral patterns and the set of factors correlating with an employee's tenure [2].

The lack of reliable tools for preliminary assessment of resignation risks necessitates the implementation of automated decision support systems. The application of fuzzy logic apparatus for modeling Retention Rate allows operating with linguistic variables and fuzzy criteria within the framework of a decision support system. This ensures a qualitative transformation of the hiring process into a predictive model, significantly reducing the percentage of erroneous personnel decisions (false positives) at the very start of the selection funnel [3-4].

The purpose of the work is to increase the term of employee retention in the company by developing a decision support system for personnel selection based on fuzzy sets.

We formalize the candidate assessment task as a mapping of the space of their characteristics into the space of retention risks. Let

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, \quad (1)$$

where each candidate c_i is described by a vector of input variables

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}. \quad (2)$$

Due to the heterogeneity and uncertainty of the criteria (quantitative and qualitative), they are represented as linguistic variables in terms of fuzzy sets. The target variable is the retention indicator R (Retention Score), which reflects the probability of the candidate working for more than one year.

Three key factors were selected for the model that correlate most with staff turnover:

- job change history (Stability Index) - x_1

$$T_1 = \{\text{"Jumper"}, \text{"Stable"}, \text{"Loyal"}\}; \quad (3)$$

- expectation match (Expectation Match) - x_2

$$T_2 = \{\text{"Below"}, \text{"Match"}, \text{"Exceeds"}\}; \quad (4)$$

- logistical comfort (Commute Effort) - x_3

$$T_3 = \{\text{"Comfortable"}, \text{"Moderate"}, \text{"Hard"}\}. \quad (5)$$

Crisp values are transformed into degrees of membership

$$\mu(x) \in [0,1].$$

Trapezoidal and Gaussian functions are used for the terms. For example, for the term "Stable" of the variable x_1 :

$$\mu_{\text{Stable}}(x) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

The system is built based on the Mamdani model. A typical rule takes the form:

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1 \text{ THEN } y \text{ is } C_i. \quad (7)$$

The aggregated fuzzy output is transformed into a crisp Retention Score value using the center of gravity method:

$$y_{out} = \frac{\int \mu_{agg}(y) y dy}{\int \mu_{agg}(y) dy}. \quad (8)$$

The obtained value is used as an integral assessment of the risk of resignation.

The proposed retention risk assessment model based on fuzzy logic provides a formalized and interpretable approach to decision support in the personnel selection process. The use of linguistic variables enables considering the uncertainty and subjectivity of HR criteria, while the rule base allows integrating the expert experience of recruiters. The application of the Mamdani method and center of gravity defuzzification allows obtaining a balanced, quantitatively measurable Retention Score. The model can be integrated into existing hiring systems, contributing to improved accuracy of turnover prediction and optimization of personnel decisions.

Література:

1. Щьокіна Є.Ю, Балабан Л.Ю, Мартиненко К.А. Сучасні технології управління людськими ресурсами // Електронний фаховий науково-практичний журнал "Інфраструктура ринку", 43 2020, С. 338-342. DOI: 10.32843/infrastruct43-61
2. Acikgoz Yalcin. Employee recruitment and job search: Towards a multi-level integration // Human resource management review, 29(1) 2019, pp. 1-13. DOI: 10.1016/j.hrmmr.2018.02.009.
3. Rodney, Harriet, Katarina Valaskova, and Pavol Durana. The artificial intelligence recruitment process: How technological advancements have reshaped job application and selection practices // Psychosociological Issues in Human Resource Management, 7 (1) 2019, pp. 42-47
4. Кононихін О. С. Інформаційна технологія вибору персоналу офісу логістичного підприємства в умовах нечіткої інформації / О. С. Кононихін, Б. С. Чорний, І. Ю. Шапошник, Д. В. Бологова // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. - 2021. - Вип. 92(1). - С. 87-91

UDK 004

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT RISK MANAGEMENT SYSTEM IN BANK LENDING

Turgynbayeva A.A.¹, Aituganova Zh.T.¹, Bukenovs I.N.¹, Neronov S.N.²

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Introduction. The provision of loans occupies a central place in the activities of Kazakhstani banks and has a significant impact on the development of the country's economy. With the growing demand for banking services from small and medium-sized businesses as well as individual clients, domestic banks face the need to improve the quality of credit risk management. The issue of loan defaults remains relevant, reducing the financial stability of banks and ultimately affecting the stability of the entire national economy [1].

Existing methods of credit risk analysis often require significant labor and time resources. In the context of Kazakhstan's dynamically changing economy, this leads to slower decision-making processes, reduced operational efficiency, and an increase in the share of non-performing loans. Therefore, the implementation of automated methods for assessing credit risks is viewed by banks as a key condition for strengthening their stability and competitive position.

The use of an automated credit risk analysis system enables banks to process large volumes of data and apply modern analytical tools for fast and accurate assessment of clients' creditworthiness. Such systems take into account numerous factors affecting the probability of loan repayment, thereby minimizing errors and promoting more rational management of the credit portfolio.

In situations where commercial banks face growing overdue debts, inefficient credit policies, or the impact of economic and political factors, it becomes necessary to improve methods for assessing borrowers' creditworthiness. This not only reduces credit risks but also enhances the profitability of banking services. An

important element is determining the level of threat posed by various types of risks and timely adjusting internal procedures to minimize them.

The relevance of this study lies in the development of an automated credit risk analysis system that enables timely and accurate assessment of the probability of loan defaults and minimizes the losses of commercial banks [2–4].

Main Part. Within the framework of the project, several machine-learning models were tested:

- Logistic Regression — logistic regression;
- Random Forest — random forest;
- Decision Tree — decision tree;
- LightGBM;
- KNN — K-nearest neighbors method;
- CatBoost;
- XGBoost.

Analysis results:

– The best performance was achieved by the XGBoost model with an accuracy of 0.9734.

– The lowest accuracy was shown by logistic regression (0.9464), although the difference between models is minor.

– Gradient boosting methods (CatBoost, XGBoost, LightGBM) demonstrate better results compared to traditional machine learning algorithms.

– Simpler approaches (logistic regression, decision tree) are inferior to ensemble methods (Random Forest, XGBoost).

Since high accuracy is a key factor for the task at hand, the XGBoost model was chosen as the optimal solution [5].

The Python programming language was used to develop the intelligent system.

In the Automatic Credit system window, the following buttons are available: Home Page, Check, Map, and History.

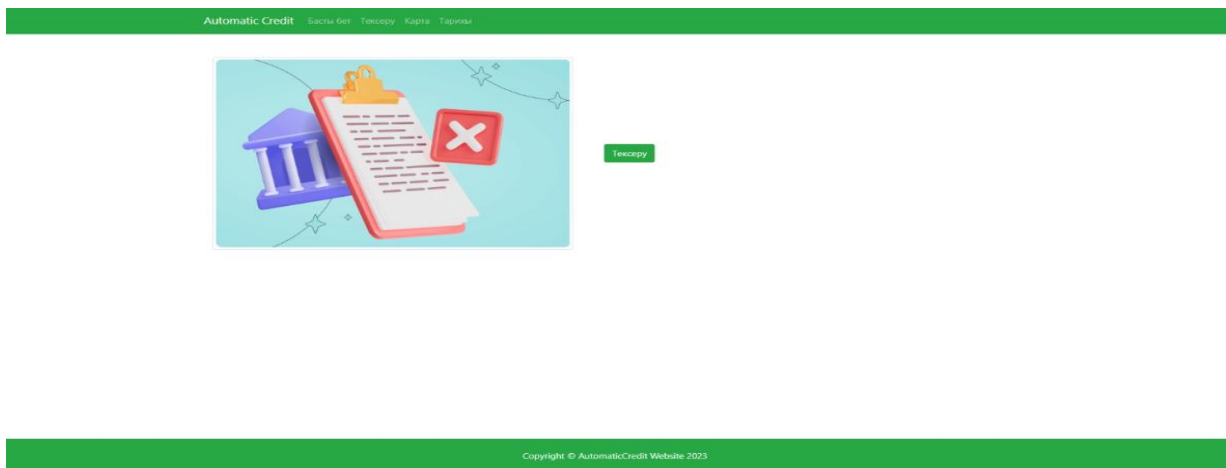


Figure 1 – Main page of the automatic credit system window

When navigating to the "Check" section, the client's personal data are entered by filling in the following fields required for credit risk prediction.

Figure 2 – Input fields for credit risk prediction

After completing all the forms, to view the result, it is necessary to click the “Forecast” button.

In response, the system provides a decision on granting the loan to the client: Approved: Yes or Approved: No.

ТАД:

ТАД

Жасы

Клиенттің көлігі бар ма: ☐ Иә ☐ Жоқ

Клиенттің үйі бар ма: ☐ Иә ☐ Жоқ

Балалар саны

Жылдық табыс:

Жынысы: ☐ Ер ☐ Әйел

Еңбек өтілі (күндерде)

Несиелік лимитті пайдалану (%)

Несиелік балл

Соңғы 6 айдағы дефолттар: ☐ Жоқ ☐ Бар

Жұмыспен қамту түрі: ☐ Бұқаралық ☐ Жеке

Болжау

Copyright © AutomaticCredit Website 2023

Figure 3 – Forms to be filled in

Automatic Credit | Басты бет | Төлеу | Карта | Тарихы

Болжау нәтижесі

Мақұлдау: Иә

Жаңа болжам жасау

Figure 4 – Response Window: Approved — Yes

Using the “Map” button, one can view the location of the branch. The “History” button displays, in tabular form, all client data previously entered for credit risk prediction.

Automatic Credit

Басты бетТөлеулерҚаржыТармағы

ID	ФИО	Жасы	Автомобиль	Үй	Бала саны	Жылдық кіріс	Кәсіп түрі	Мақұлдау
1	0	98	Y	1	10000	occupation_Accountants	False	
2	0	98	Y	1	10000	occupation_Accountants	False	
3	0	29	Y	0	1000000000	occupation_Sales staff	False	
4	0	29	Y	0	1000000000	occupation_Sales staff	False	
5	Алексей Владимиров	18	Y	0	1254990	occupation_Accountants	False	
6	Sakam Liscifer	30	Y	0	0	occupation_Accountants	True	
7	Карлығаш Есентай	21	Y	1	-11	occupation_Accountants	False	
8	1	12	N	12	31	occupation_Accountants	False	
9	1	22	N	1	20000	occupation_Accountants	False	
10	1	22	Y	0	2000000	occupation_Accountants	False	
11	1	0	Y	0	0	occupation_Accountants	True	
12	1	22	Y	1	20	occupation_Accountants	False	
13	1	22	Y	2	12	occupation_Accountants	False	
14	0	12	Y	1	2540000	occupation_Accountants	False	
15	Жақыпбек	12	Y	12	25	occupation_Drivers	True	

Figure 5 – Data displayed in the “History” window

Conclusion. Based on the conducted analysis, this study examined the process of credit risk management in lending to legal entities, the structure of the credit portfolio, and the methods for assessing credit risk. An intelligent risk management system for bank lending was developed.

References:

1. Abramova, V.A. Minimization of Credit Risks Arising in the Process of Bank Lending to Individuals. *Economics and Society*, 2019, No. 2, pp. 20–23.
2. Anishchenko, V.A. Improvement of Credit Risk Management Organization in the Risk Management System of a Commercial Bank. *Current Issues of the Socio-Economic Development of Russia*, 2020, No. 3, pp. 55–59.
3. Artyukhova, A.V. Banking Risks in the Field of Lending: Credit Risk. *Problems of Economics and Management*, 2022, No. 12 (40), pp. 75–81.
4. Akhmedova, N.Kh. Comparative Analysis of the Characteristics of Credit Risk Assessment Models of a Commercial Bank. In: *Proceedings of the 71st Annual Scientific Conference of Faculty and Doctoral Staff and the 23rd Student and Graduate Student Scientific Conference (Finance and Economics Section)*. Irkutsk: Baikal State University of Economics and Law Publishing House, 2020, pp. 51–56.
5. Raschka, S. *Python Machine Learning* / S. Raschka, V. Mirjalili. — 3rd ed. — Birmingham : Packt Publishing, 2020. — 770 p.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ (25 листопада 2025
р., м.Харків)

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
НА ТРАНСПОРТІ ТА У ВИРОБНИЦТВІ**

Проведена згідно з планом проведення міжнародних, всеукраїнських науково-практичних і науково-методичних конференцій і семінарів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у 2025 р. (Посвідчення УкрІНТЕІ № 806 від 09 грудня 2024 року)

Відповідальність за достовірність наведених в матеріалах даних несуть автори публікацій. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Науковий редактор д.т.н., проф. *проф. Гурко О.Г.*

Технічний редактор к.т.н., доц. *Ільге І.Г.*