

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України (м. Київ)
Інститут економіки промисловості НАН України (м. Київ)
Центр передових досягнень «Університети для науки, інформатики
та технологій в електронному суспільстві» (CoE UNITE)
Софійського університету «Святий Климент Охридський» (Софія, Болгарія)
ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»
Громадська спілка «ІТ кластер Донеччини» (IT Cluster Donbass)
ТОВ «Інформаційні технології САПР»



за підтримкою концерну Siemens AG

SIEMENS

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД

МАТЕРІАЛИ

X Всеукраїнської науково-практичної конференції
з міжнародною участю

(16–18 квітня 2026 року)

Краматорськ
ДДМА
2026

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України (м. Київ)
Інститут економіки промисловості НАН України (м. Київ)
Центр передових досягнень «Університети для науки, інформатики
та технологій в електронному суспільстві» (CoE UNITE)
Софійського університету «Святий Климент Охридський» (Софія, Болгарія)
ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»
Громадська спілка «ІТ кластер Донеччини» (IT Cluster Donbass)
ТОВ «Інформаційні технології САПР»**

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД

**М А Т Е Р І А Л И
X Всеукраїнської науково-практичної конференції
з міжнародною участю**

(16–18 квітня 2026 року)

За заг. ред. О. Ф. Тарасова

**Краматорськ
ДДМА
2026**

Рекомендовано до друку вченою радою Донбаської державної
машинобудівної академії (протокол № 9 від 23.04.2026).

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету:

Тарасов О. Ф. д-р техн. наук, проф., зав. каф. КІТ ДДМА

Члени програмного комітету:

Томашевський Р. С. д-р техн. наук, проф., ректор ДДМА

Амоша О. І. академік НАН України, почесний директор ІЕП НАН

Бейгельзімер Я. Ю. д-р техн. наук, проф., головний наук. співроб. ДонФТІ ім. О. О. Галкіна НАН України

Білошенко В. О. д-р техн. наук, проф., зав. відділом ДонФТІ ім. О. О. Галкіна НАН України

Борисенко О. І. канд. фіз.-мат. наук, Генеральний директор ТзОВ «НВП « Центр САПР»

Вінников М. О. дир. ТОВ АРВІ (м. Київ), Chief Operating Officer ARVI VR INC. (Wilmington, DE, USA)

Вовна О. В. д-р техн. наук, проф., проф. кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного
авіаційного університету, академік Академії Метрології України

Воробйов Б. В. д-р філос., проректор з наукової роботи, управління розвитком та міжнародних зв'язків ДДМА

Грибков Е. П. д-р техн. наук, проф., зав. кафедри металургії та інноваційних технологій Метінвест Політехніці

Грушко О. В. д-р техн. наук, проф. каф. опору матеріалів та прикладної механіки ВНТУ,

дир. Інституту магістратури, аспірантури та докторантури ВНТУ

Гурова Є. В. PhD з теор. електротех., доц., Центр передових досягнень «Університети для науки,
інформатики та технологій в електронному суспільстві» (CoE UNiTe) Софійського
університету «Святий Климент Охридський» (Софія, Болгарія)

Слецьких С. Я. д-р екон. наук, проф., зав. кафедри фінансів, банківської справи та підприємництва ДДМА

Мельников О.Ю. канд. техн. наук, в. о. зав. кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень ДДМА

Залознова Ю.С. чл.-кор. НАН України, директор Інституту економіки промисловості НАН України

Клименко Г.П. д-р техн. наук, проф., зав. кафедри АВП ДДМА

Кондратюк С. І. ген. директор компанії «Кварт-Софт» (м. Краматорськ)

Левикін В. М. д-р техн. наук, проф., зав. кафедри інформаційних управляючих систем ХНУРЕ

Марков О.Є. д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації виробничих процесів ДДМА

Мірошніченко О. В. Заст. гл. інженера по автомат. сист. управл. ПАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ)

Подлесний С. В. канд. техн. наук, доц. кафедри технічної механіки ДДМА

Сагайда П. І. д-р техн. наук, проф., в. о. зав. каф. інформ. техн. та аналіт. даних Метінвест Політехніці

Шеремет О. І. д-р техн. наук, доц., зав. кафедри електромеханічних систем автоматизації ДДМА

Члени організаційного комітету:

Міхеєнко Д. Ю. канд. техн. наук, ст. викл. каф КІТ ДДМА

Гетьман І. А. канд. техн. наук, доц. каф. КІТ ДДМА

Алтухов О. В. канд. техн. наук, ст. викл. каф КІТ ДДМА

Турлакова С. С. д-р екон. наук, проф., провід. наук. співроб. відділу фін.-екон. проблем викор. виробн.
потенціалу ІЕП НАН України (м. Київ); Центр передових досягнень «Університети для науки,
інформатики та технологій в електронному суспільстві» (CoE UNiTe) Софійського університету
«Святий Климент Охридський» (Софія, Болгарія)

Антонова А. Є. PhD з інформатики, головний асистент, Центр передових досягнень «Університети для
науки, інформатики та технологій в електронному суспільстві» (CoE UNiTe) Софійського
університету «Святий Климент Охридський» (Софія, Болгарія)

Коваленко А. К. асист. каф. КІТ ДДМА

Відповідальність за достовірність інформації, поданої в збірнику, несуть автори.

Матеріали публікуються за авторським редагуванням.

Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод

С 91 : матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції з
міжнародною участю, 16–18 квітня 2026 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. –
Краматорськ: ДДМА, 2026. – 316 с.

ISBN 978-617-7893-29-4

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми створення
та використання інформаційних технологій, автоматизації та електропривод у різних
предметних областях, зокрема у машинобудуванні, бізнесі. та медицині

УДК 004+681.5+61+62-83-52

ISBN ISBN 978-617-7893-29-4

© ДДМА, 2026

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РІЗНИХ ПРЕДМЕТНИХ ОБЛАСТЯХ, ЗОКРЕМА У МАШИНОБУДУВАННІ, ЕКОНОМІЦІ	10
<i>Коробка А. С.</i> Проектування мобільного застосунку Щоденник настрою для відстеження емоційного стану користувача	10
<i>Бабаш А. В.</i> Моніторинг транспорту з використанням сервера Dozor у середовищі Google Colab	13
<i>Половян Н. С.</i> Аналіз впровадження технологій ІІІ в українську медицину ...	16
<i>Якименко-Терещенко Н. В., Мельник К. С.</i> Цифрова трансформація методів управлінського контролю через впровадження когнітивного менеджменту	19
<i>Філонов Д. О., Алтухов О. В.</i> Система електронного голосування з використанням блокчейну	21
<i>Крук О. М., Борисова С. Є.</i> Омніканальні стратегії як фактор підвищення лояльності споживачів у цифровій економіці	24
<i>Гетьман І. А., Держевецька М. А.</i> Використання цифрових сервісів для моделювання та оптимізації задач дослідження операцій	27
<i>Рикуш В. О., Стукалова Ю. А.</i> Розробка інформаційної системи управління діяльністю фітнес-центру	30
<i>Стукалова Ю. А., Карамян А. Е.</i> Розробка автоматизованої системи виплат відвідувачам за публікацію контенту у ресторанах	32
<i>Балашова О. В.</i> Стратегічні аспекти та етапність впровадження ERP-систем як чинник цифрової трансформації середнього бізнесу	35
<i>Мельников О. Ю., Гришук Д. В.</i> Планування корекційної роботи на основі статистичного аналізу даних програмного комплексу попередньої діагностики дислексії у дітей.....	38
<i>Нечволода Л. В., Крикуненко К. М., Ларченкова Е. А.</i> Інформаційна система обліку товарів магазину для геймерів	42
<i>Кравченко В. І., Щербаков К. О.</i> Моделювання системи інформаційного забезпечення автоматизованого розрахунку прямозубих циліндричних зубчастих передач	45
<i>Стрілецький О. О.</i> Розробка програмного комплексу ігрового напрямку з використанням градієнтного методу	48
<i>Кравченко В. І., Шаля А. Р.</i> Моделювання системи математичного забезпечення для автоматизації робочого місця продавця книгарні	50
<i>Єлецьких С. Я., Чернишова Д. В., Хорошавцев Д. В.</i> Формування напрямів забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємства	53

Єлецьких С. Я., Хорошавцев Д. В., Чернишова Д. В. Забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єкта підприємницької діяльності на підставі аналізу показників його діяльності	57
Єлецьких С. Я., Санжаревська О. С. Характеристика наслідків впливу економічної нестабільності на фінансову стійкість підприємства	60
Єлецьких С. Я., Масіброда В. С. Заходи антикризового управління на основі розробки стратегії забезпечення фінансової безпеки суб'єкта підприємницької діяльності	64
Кравченко В. І., Мясніков Р. І. Моделювання системи математичного забезпечення менеджера з формування програм передач радіостанції	66
Кравченко В. І., Гуревич І. В. Автоматизація розробки web-додатку тайм-трекера програміста	70
Міроненко В. О. Мережеві можливості сучасних пристроїв інтернету речей ..	73
Малахов В. Р., Гетьман І. А. Аналіз аналогів для програмного комплексу АРМ менеджера в магазині автозапчастин	75
Чичкан Д. С., Малигіна С. В. Аналіз процесів адміністрування благодійних проєктів та обліку фінансових надходжень благодійної організації для проєктування АРМ	77
Шкарупа Д. В., Гетьман І. А. Засоби розробки desktop додатку АРМ менеджеру сервісного центру комп'ютерної техніки	80
Нечепуренко Є. Ю., Міхєєнко Д. Ю. Аналіз обов'язків менеджера типографії для проєктування програмного комплексу з автоматизації робочого місця	84
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ, МЕТОДИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ СТРУКТУРНИХ, ІНФОРМАЦІЙНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ	85
Воскобойніков Р. В., Рисований О. М. Аналіз систем нечіткого виведення для оцінювання компетентності та репрезентативності експертів	85
Рисований О. М. Удосконалення алгоритму отримання хеш за допомогою інструкції CRC32	88
Ковалевський С. В. Математична формалізація емерджентних переходів у цифрових двійниках виробничих систем	92
Раздобреєв В. В., Ключніков К. Ю., Іванов О. П., Лещенко О. І., Паламар Д. Г. Моделювання напруженого стану профілю стрічкового типу в процесі його знакозмінного деформування.....	95
Анцибор М. О., Главчев М. І., Носков В. І. Дослідження ефективності методів діагностики пам'яті в умовах різних моделей несправностей: імітаційне моделювання	98

Главчев М. І., Носков В. І., Середенко О. С. Предиктивна діагностика SSD/NVMe накопичувачів на основі алгоритмів машинного навчання та аналізу динаміки атрибутів S.M.A.R.T.	101
Белькова А. І., Тогобицька Д. М., Ходотова Н. Є. Фізико-хімічні критерії оцінки термодинамічного стану системи «метал-шлак» при виплавці чавуну та сталі	103
РОЗДІЛ 3. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ В УМОВАХ ЧЕТВЕРТОЇ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ	107
Охтеня О. О. Аналіз підходів до оцінки впливу штучного інтелекту на економіку промисловості з позицій його трактування як «закриваючої» технології	107
Суботін О. І., Задорожня І. М. Інтелектуальні електромеханічні системи автоматизації як фундамент кіберфізичних комплексів Четвертої промислової революції	110
Войтенко Є. С., Задорожня І. М., Кірієнко Т. В. Використання глибоких нейронних мереж для усунення шуму на зображеннях в умовах обмежених апаратних ресурсів	112
Приймак М. С., Шеремет О. І., Задорожня І. М. Актуальні тенденції відновлення енергетичного потенціалу України	114
Семіошко Є. О., Гетьман І. А. Розробка математичної моделі прогнозування часових рядів та оцінювання окупності обчислювального обладнання	116
Никон Ю. Є. Методологія оцінювання рівня цифрової зрілості підприємства з використанням AI-інструментарію	120
Свинаренко Т. І. Інноваційна трансформація управління соціальною відповідальністю підприємств в умовах цифровізації економіки.....	122
Turlakova S. AI Technologies in Industry: A Regional Economic Dimension.....	125
Самойленко Д. О., Касьянюк О. С. Автоматизація документообігу про роботу металургійного підприємства	129
Роговський О. С., Касьянюк О. С. Проектування АРМ спеціаліста складу металургійного підприємства	131
РОЗДІЛ 4. НАПЯМИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ СМАРТСПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ	134
Міхеєнко Д. Ю. Інтеграція IoT та адитивних технологій у виробничі процеси	134

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ (СТАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ, СТОХАСТИЧНІ, ІМІТАЦІЙНІ, ЛОГІКО-ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ, ТОЩО)....	137
<i>Бабаш А. В., Новгородський О. О.</i> Розробка імітаційної моделі двомасового лабораторного стенда.....	137
<i>Єрьомін М. В.</i> Оптимальний вибір типів хмарних ресурсів у розподіленому сервісі транскодування відео	140
<i>Ляшов О. С.</i> Моделі оптимізації доставки швидкопсувної продукції з мінімізацією часу та витрат на перевезення	144
<i>Потаренко І. С.</i> Моделі оптимізації маршрутів транспортування небезпечних матеріалів з урахуванням факторів ризику.....	146
РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНОГО, АЛГОРИТМІЧНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ/СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ	149
<i>Главчев М. І., Главчева Ю. М., Шкунов Я. О.</i> Адаптивний алгоритм вибору методу стиснення оперативної пам'яті (ZRAM/ZSWAP) для підвищення енергоефективності систем з критичним обмеженням ресурсів	149
<i>Мельник І. В., Мезенцев М. В., Главчев М. І.</i> Проектування відмовостійкої VPN-мережі з механізмами швидкого відновлення з'єднань	152
<i>Abhari P. B., Tokar V. O.</i> Optimizing OSPF Routing in Multi-Area Networks Using Route Summarization: A Cisco Packet Tracer Study	154
<i>Александров А. Ю.</i> Особливості застосування AST-орієнтованих CRDT для синхронізації програмного коду	156
<i>Стрілецький К. О.</i> Методи вирішення задачі наповнення рюкзака	158
<i>Кравчук В. С., Міхєєнко Д. Ю.</i> Алгоритм прийняття рішень по вибору параметрів зарядної станції для квартири	162
РОЗДІЛ 7. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ CAD/CAE/CAM/PDM/CALS – СИСТЕМ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ. МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ НОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ	165
<i>Karnaikh S. G.</i> Shearing of shaped rolled products with a new wedge-hinge press	165
<i>Разживін О. В., Скрибцов В. А.</i> Автоматизована система керування клімат-контролем розважального центру	168
<i>Разживін О. В., Коляденко Д. В.</i> Автоматизована система керування температурним режимом водогрійного котла.....	172

Разживін О. В., Рубан Г. В., Коваленко А. Ю. Розробка автоматизованої системи регулювання насосною станцією живлення водою підприємства.....	175
Шляховий І. Ю., Разживін О. В. Інтелектуальна система керування дводвигунним електроприводом скребкового конвеєра	179
Міхєєнко Д. Ю. Інформаційні процеси в CAD/CAE/CAM-системах.....	183
Міхєєнко Д. Ю. Сучасні тенденції проєктування БПЛА	185
Малигіна С. В., Турчанін Д. М. Автоматизація наплавлення на основі алгоритмів скінченних автоматів	189
РОЗДІЛ 8. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ТА ЗНАНЬ (DATA MINING), ОРГАНІЗАЦІЯ БАЗ ЗНАНЬ ДЛЯ САПР, РОЗРОБКА СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ І МЕРЕЖАХ	
Руденко В. М., Ільїнський М. І. Методи управління інкрементальною зміною з допомогою корекцій коефіцієнтів ПД-регулятора.....	194
Гамаюн І. П., Шевченко В. С. Порівняльний аналіз моделей машинного навчання для прогнозування енергоспоживання та теплового комфорту в інтелектуальних будівлях	197
Шматко О. В., Кириченко О. В. Захищена система управління електронними навчальними записами на основі блокчейн-технологій у хмарному середовищі	199
Прідьма І. П., Алтухов О. В. Прогнозування значень деформації металевих заготовок на основі навчання регресійних нейронних мереж TensorFlow на даних моделювання Abaqus CAE	202
Sheremet O. Agentic AI on Edge Devices with Small Language Models	204
Васильєва Л. В., Тарасов О. Ф. Оцінка даних в процесі сумісного використання CAE-системи та штучних нейронних мереж	208
Солод К. А., Гетьман І. А. Інформаційні технології та моделі розпізнавання образів на медичних зображеннях.....	211
Краснолуцький В. І. Використання машинного навчання для прогнозування на прикладі формування цін залізничних квитків	213
Касьянов І. О. Комп'ютерний аналіз мікроструктури сплавів на основі методів обробки зображень	214
Красніков Є. Д. Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій розпізнавання обличчя у комп'ютерному зорі на основі глибоких нейронних мереж	217
Сосунович Б. С. Проєктування інтелектуальних систем на основі машинного навчання для оцінювання ризику фінансових транзакцій	219

Reznikov R. B. Data Mining and Organisational Resilience During Crises: Evidence from Pandemic, Financial, and Economic Shocks	221
Меренянін М. А., Добряк С. К. Проєкт програмного комплексу для реалізації системи автоматичного рефакторингу коду з використанням технологій Graph Neural Networks	225
Штонда Є. О. Архітектура та інструментарій інтелектуальної системи моніторингу продуктових метрик з адаптивними порогами	227
РОЗДІЛ 9. НАДІЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	230
Новгородський О. О., Бабаши А. В. Проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем.....	230
Вовкотруб В. Ю. Аналіз ефективності сучасних алгоритмів хешування для захисту автентифікаційних даних у програмних системах	233
РОЗДІЛ 10. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ТОЩО	236
Ключев О. В., Ящук О. О. Використання векторної моделі асинхронного вентильного каскаду для побудови механічних характеристик.....	236
Суботін О. В., Марков О. Є., Шляхов С. Ю. Особливості вибору датчика тиску для системи контролю стану трубопроводу	240
Петрухін Я. І., Суботін О. В., Сус С. П. Бездротові сенсорні мережі для систем контролю параметрів об'єктів.....	243
Sheremet O., Kiriienko T. Renewable Energy Development in Ukraine Under Wartime Conditions: Current State and Prospects.....	247
РОЗДІЛ 11. РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, МЕТОДИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ	250
Sadovoi O., Sokhina Yu. Extended Kalman Filter-Based Rotor Flux Linkage Observer for Sensorless Vector Control of Induction Motor Drives	250
Zadorozhnia I., Sheremet O. Computer-Aided Analysis of Vibration Damping in Two-Mass Electric Drives Based on Resonant Electromechanical Interaction.....	253
Шеремет О. І., Жигулін А. М., Сирота М. В. Аналіз базової системи електроприводу насосної станції з метою підвищення економічної ефективності	256
Дерець О. Л., Садовой О. В., Карачковський П. П. Дослідження статичних властивостей релейної системи керування електроприводом	259
Дерець О. Л., Садовой О. В., Костенко В. І. Спостерігач похідних з релейним керуванням для стежних електроприводів	262
Кечко А. В., Задорожня І. М. Актуальні питання щодо впливу на властивості електромеханічних систем режимів роботи асинхронного електродвигуна ...	266

РОЗДІЛ 12. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТІ	268
Подлєсний С. В., Шеремет О. І. Розробка та впровадження інтелектуальних тьюторських систем для вивчення технічних дисциплін	268
Podliesnyi S., Sheremet O. Application of artificial intelligence for automation of student performance assessment and analysis	272
Міхєєнко Д. Ю. Методичні підходи до викладання дисципліни «Системотехніка та архітектура комп'ютерів» з використанням моделювання комп'ютерних систем.....	277
Грудкіна Н. С., Сагай О. В. Підвищення ефективності вивчення математичних дисциплін шляхом інтеграції СКМ Maple	280
Кабацький О. В., Хорошайло В. В. Використання інформаційних технологій в розвитку просторового мислення технічних спеціалістів.....	282
Колбасинський С. С. Цифрові технології як інструмент підвищення якості інженерної освіти	284
Кайдан Н. В. Використання офісних систем у підготовці студентів технічних спеціальностей	286
Кайдан В. П. Застосування PhET Interactive Simulations для вивчення електромагнітних явищ у підготовці фахівців з кібербезпеки	288
Голинський А. М. Інтелектуальна модель персоналізації інклюзивних освітніх траєкторій у цифровому середовищі	290
Татаркулов Р. А., Малигіна С. В. Імплементация навчальної кросплатформної гри з підтримкою блочного програмування в Unity	292
Вітрик М. А. Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для розробки інтелектуальної платформи онлайн-навчання з адаптивним тестуванням та оцінкою ефективності знань	295
Добряк С. К. Використання FPGA-технологій у вивченні архітектури комп'ютерів та цифрових схем	299
Добряк С. К., Гурковська С. С. Розробка веб-орієнтованого віртуального лабораторного стенду.	302
Кунов О. А., Добряк С. К. Розробка інтерактивної освітньої платформи для вивчення базових концепцій програмування засобами Python у взаємодії з базою даних MAMP PRO.....	306
Голуб Д. М. Застосування інтерактивних технологій змішаного навчання при підготовці бакалаврів та магістрів в умовах сучасних освітніх викликів	308
Касьянюк О. С. Мікросервісна архітектура .Net для викладання студентам в рамках курсу «Інструменти створення та управління хмарними сервісами»	313

РОЗДІЛ 1.
СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РІЗНИХ ПРЕДМЕТНИХ
ОБЛАСТЯХ, ЗОКРЕМА У МАШИНОБУДУВАННІ, ЕКОНОМІЦІ
ТА МЕДИЦИНІ

**Проектування мобільного застосунку Щоденник настрою для відстеження
емоційного стану користувача**

Коробка А. С.

Державний торговельно-економічний університет

Актуальність розробки мобільного застосунку Щоденник настрою зумовлена зростаючим стресом в сучасному суспільстві та необхідністю доступних інструментів самодопомоги [1]. Використання мобільних технологій дозволяє користувачеві зафіксувати свій емоційний стан у режимі реального часу, що забезпечує високу точність даних, і при необхідності допоможе в подальшому аналізі кваліфікованому спеціалісту.

Мета роботи – проектування мобільного застосунку для відстеження емоційного стану користувача, аналізу факторів впливу на настрій та візуалізацію змін за допомогою сучасних ІТ-інструментів.

Об’єкт дослідження – процес фіксації та обробки даних при емоційних станах людини.

Предмет дослідження – методи та засоби розробки мобільного застосунку Щоденник настрою з використанням сучасних фреймворків та хмарних сервісів.

Функціональні можливості системи охоплюють взаємодію користувача з власними емоційними даними. Для забезпечення конфіденційності даних потрібно реалізувати систему авторизації та автентифікації користувачів із застосуванням сучасних протоколів безпеки. Кожен користувач має власний профіль, де зберігається історія записів, доступ до якої закритий для сторонніх осіб. Система підтримує збереження даних локально на пристрої та в хмарному сховищі, що дозволяє синхронізацію та резервне копіювання записів у реальному часі. Алгоритм роботи мобільного застосунку представлено у вигляді блок-

схеми (рис. 1). Робота системи починається із запуску додатку та ініціалізації системи. Після цього відбувається перевірка наявності облікового запису користувача. У разі відсутності облікового запису система пропонує створити новий профіль, після чого дані зберігаються у базі даних.

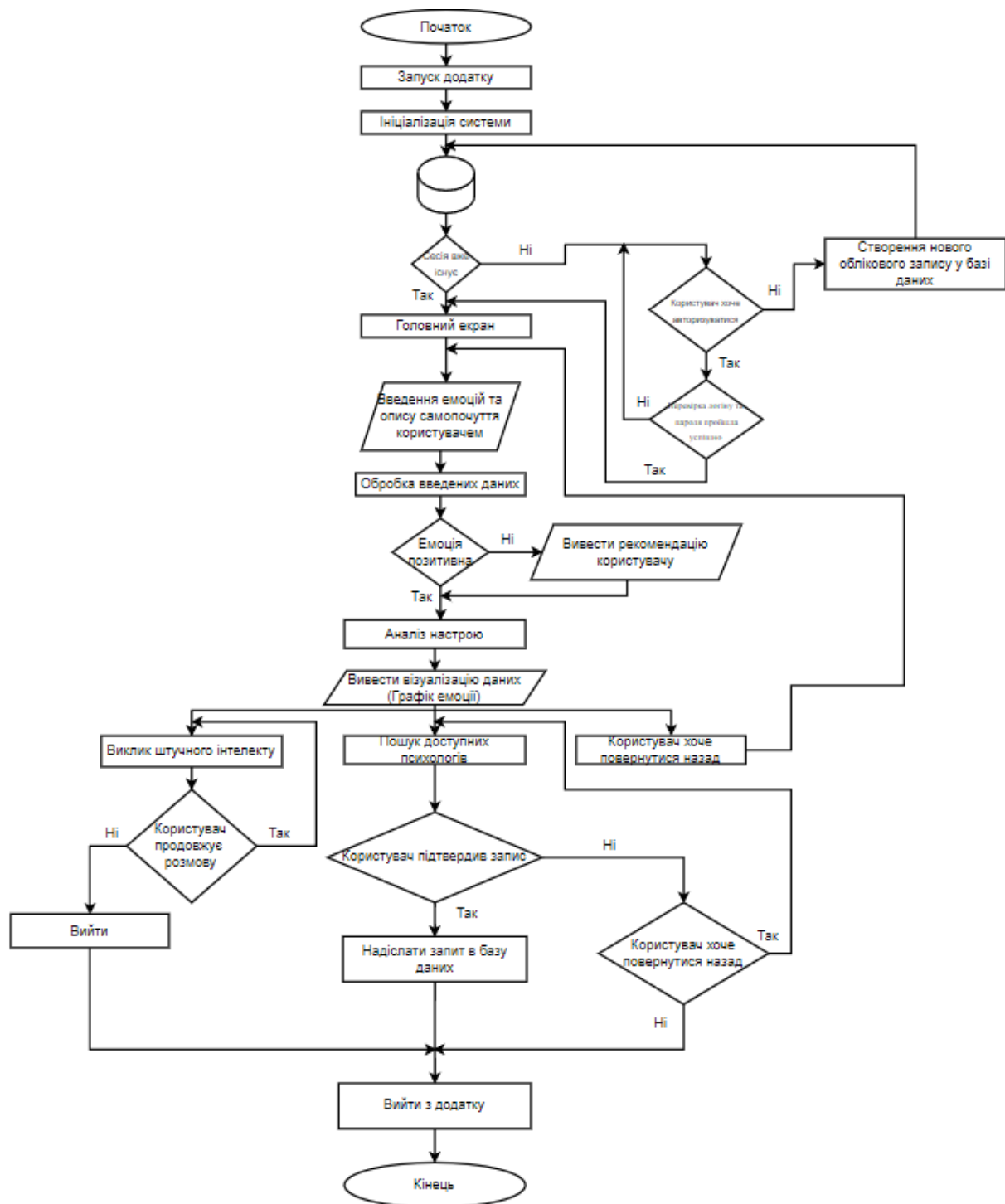


Рисунок 1 – Блок-схема для реалізації мобільного застосунку

Після авторизації користувач потрапляє на головний екран застосунку, де може ввести поточний емоційний стан та опис самопочуття. Введені дані проходять етап обробки, після чого система визначає емоційний стан користувача та формує рекомендації. На основі збережених записів виконується аналіз настрою, що дозволяє відображати зміни емоційного стану у вигляді графіків та статистичних даних.

Додатковою функцією системи є можливість використання штучного інтелекту, який аналізує введені дані та може надавати користувачу поради або рекомендації. Також система передбачає можливість пошуку доступних психологів для отримання професійної допомоги. Після підтвердження користувачем записи зберігаються у базі даних, що забезпечує накопичення історії емоційного стану. Користувач може переглядати попередні записи, повертатися до попередніх екранів або завершити роботу із застосунком.

Технічний стек реалізації включає Kotlin для розробки Android-додатку, Jetpack Compose для UI, Firebase для хмарного зберігання та аналітики, а також бібліотеки для побудови графіків. Взаємодія з базою даних повинна бути організована через безпечне API, а штучний інтелект реалізовано за допомогою інтеграції з локальними модулями, які аналізують емоційні патерни та видають персоналізовані рекомендації.

Запропонована структура системи дозволяє ефективно поєднати самостійний моніторинг користувача, підтримку штучного інтелекту та професійну допомогу спеціаліста.

Література

1. EnableMe Ukraine. Стрес – щоденна небезпека. URL: <https://www.enableme.com.ua/ua/article/stres-sodenna-nebezpeka-9212>

Моніторинг транспорту з використанням сервера Dozor у середовищі Google Colab

Бабаш А. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

На сьогоднішній день існує багато різних сервісів та мобільних додатків для моніторингу транспорту, інформування про актуальний курс валют, доступні банкомати та відділення з розкладом їх роботи тощо.

Запит до сервісів можна виконувати з мобільного, веб-додатку, тощо. У відповідь на запит сервер повертає відповідь у вигляді JSON [1].

Приклад запиту на сервер Dozor про місцезнаходження комунального транспорту у місті Краматорськ та відповіді у форматі JSON з використанням веб-браузера наведений на рисунку 1.

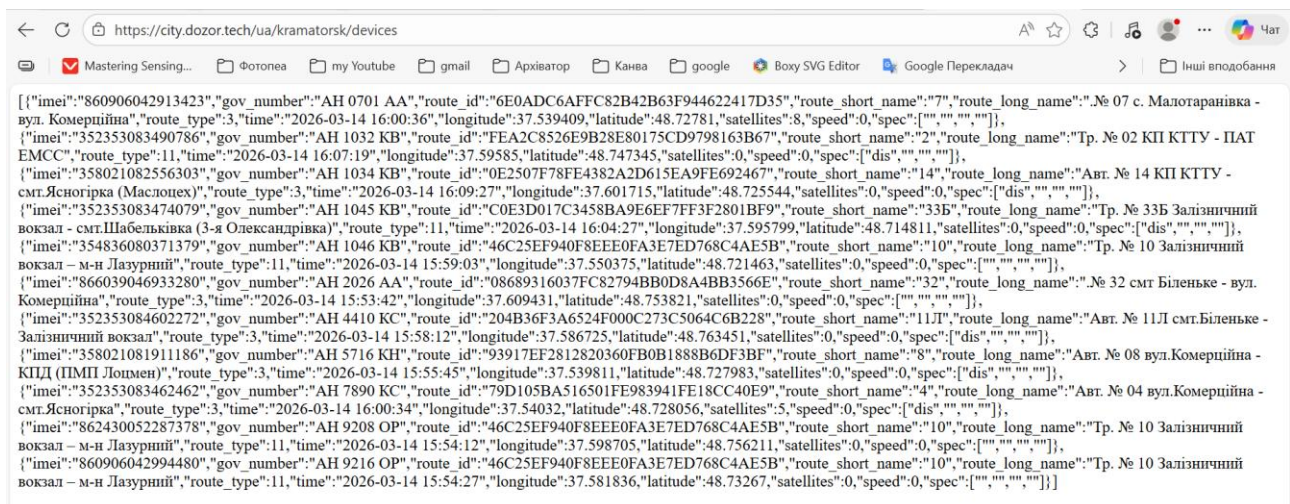


Рисунок 1 – Відповідь у форматі json на запит про місцезнаходження комунального транспорту до сервера Dozor (місто Краматорськ)

JSON відповідь може бути оброблена та представлена користувачу у зручному вигляді (наприклад координати місцезнаходження комунального транспорту можна відмітити на Google карті з використанням маркерів).

Для розробки програмного забезпечення можуть використовуватися різні технології та мови програмування. Зокрема, можна використовувати середовище Google Colab [2] та мову програмування Python. Середовище Google Colab дуже

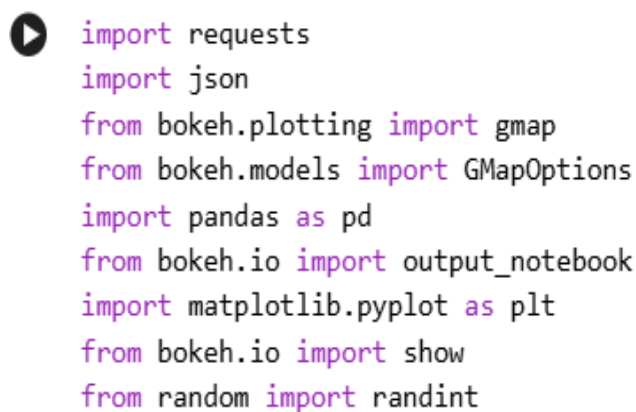
зручне для налагодження та розробки проектів на мові програмування Python різної складності. Ідеально підходить для навчання програмуванню студентів та школярів. Зокрема, студенти та школярі на практиці можуть вивчати особливості роботи з API популярних сервісів з використанням гнучкого середовища Google Colab та мови програмування Python. У даній роботі розроблено та представлено Python скрипт, який дозволяє моніторити транспорт та відображати його місцезнаходження з використанням Google map. Для використання Google карт у мобільному додатку необхідно отримати Google API Key [3].

Мета роботи – розробка Python скрипта у середовищі Google Colab для здійснення моніторингу комунального транспорту з використанням серверу Dozor.

Задачі дослідження:

- літературний огляд існуючих рішень;
- розробка Python скрипта для здійснення моніторингу транспорту.

Для роботи з API сервісу Dozor, відображення Google map та використання функції randint для вибору випадкового кольору для маркера місцезнаходження транспорту необхідно імпортувати бібліотеки (рисунок 2).

A screenshot of a Jupyter notebook cell showing Python code imports. The code is as follows:

```
import requests
import json
from bokeh.plotting import gmap
from bokeh.models import GMapOptions
import pandas as pd
from bokeh.io import output_notebook
import matplotlib.pyplot as plt
from bokeh.io import show
from random import randint
```

Рисунок 2 – Необхідні Python бібліотеки

Програмний код для здійснення запиту до сервісу Dozor (на прикладі м. Краматорськ), відображення певного типу карти (satellite, roadmap, terrain or hybrid), відображення маркерів місцезнаходження міського транспорту показано на рисунку 3

```

endpoint = "https://city.dozor.tech/ua/kramatorsk/devices"
output_notebook()
bokeh_width, bokeh_height = 1000, 1000
response = requests.get(endpoint)
data = response.json()
#print(json.dumps(data, indent=4)) # кількість відступів
#print(data[0]['longitude'])

def plot(zoom=10, map_type='hybrid'):
    gmap_options = GMapOptions(lat=data[0]['latitude'], lng=data[0]['longitude'], map_type=map_type, zoom=zoom)
    mymap = gmap("Aiasy6XUuxpf3NhxZkt0IQ8kISakOppPJDTv", gmap_options, title='Gmaps',
                width=bokeh_width, height=bokeh_height)
    for i in range(len(data)):
        print(data[i]['longitude'], data[i]['latitude'], data[i]['route_short_name'], i)
        if data[i]['route_short_name'] != "23": # вибір маршрута
            lt, ln = data[i]['longitude'], data[i]['latitude']
            center = mymap.scatter([data[i]['longitude']], [data[i]['latitude']], size=20, alpha=1.0, color=(randint(0,255), randint(0,255), randint(0,255)))
            mymap.scatter([data[i]['longitude']], [data[i]['latitude']], marker='cross', size=10, alpha=1.0, color=(randint(0,255), randint(0,255), randint(0,255)))
            speed = data[i]['speed']
            route = data[i]['route_short_name']
            route_full = data[i]['route_long_name']
            mymap.text(data[i]['longitude'], data[i]['latitude'], text=f"Маршрут: {route} \n Швидкість={speed} км/год \n {route_full}", text_color="white", text_align="center", text_font_size="14px")
    show(mymap)
    return mymap

print("Кількість транспортних засобів = ", len(data))
# satellite, roadmap, terrain or hybrid
p = plot(map_type='satellite')

```

Рисунок 3 – Python скрипт для відображення місцезнаходження транспорту у вигляді маркерів на Google мапі

Результат роботи скрипта у вигляді Google мапи з місцезнаходженням транспорту наведено на рисунку 4.



Рисунок 4 – Результат роботи скрипта

Таким чином, був розроблений Python скрипт, який дозволяє проводити

моніторинг комунального транспорту. Цей проект використовується у процесі навчання програмуванню.

Література

1. JSON [Electronic resource]. Availble at: <https://wikipedia.org/wiki/JSON>
2. Google Colab [Electronic resource]. Availble at: <https://colab.research.google.com/>
3. Як отримати ключ Google API [Electronic resource]. Availble at: <https://developers.google.com/maps/documentation/android-sdk/get-api-key>

Аналіз впровадження технологій ШІ в українську медицину

Половян Н. С.

Донецький національний медичний університет

Упровадження технологій штучного інтелекту в систему охорони здоров'я України є складним, багатогранним процесом, що відбувається в умовах унікальних викликів воєнного часу та євроінтеграційних перетворень. Для формування ефективної стратегії необхідна комплексна ідентифікація внутрішніх та зовнішніх факторів, що впливають на цей процес. На основі оцінки поточного стану системи, проведено SWOT-аналіз, результати якого згруповано за чотирма категоріями.

Сильні сторони характеризують внутрішній потенціал національної системи охорони здоров'я, який створює фундамент для інтеграції ШІ.

Розвинена цифрова інфраструктура eHealth. Функціонування дворівневої моделі Електронної системи охорони здоров'я, яка включає Центральну базу даних та розгалужену мережу Медичних інформаційних систем, створює необхідне технічне середовище для збору та обробки даних. Наявність ключових реєстрів (пацієнтів, медичних записів, спеціалістів) забезпечує верифіковану базу даних, необхідну для навчання алгоритмів [1].

Адаптивність та стійкість системи. В умовах повномасштабної війни система продемонструвала високу здатність до швидкої трансформації та підтримки безперервності сервісів. Успішне функціонування цифрових

інструментів (е-рецепт, телемедицина) під час кризових ситуацій свідчить про готовність інфраструктури до впровадження нових технологічних рішень.

Наявність нормативно-правової бази. Затверджені стратегічні документи, зокрема Концепція розвитку електронної охорони здоров'я, вже передбачають використання технологій Big Data та машинного навчання як пріоритетних напрямів. Легалізація телемедицини та телереабілітації створює правове поле для застосування дистанційних інструментів з елементами ШІ [1].

Науково-практичний потенціал. В Україні вже реалізуються пілотні проекти з використанням NLP-сервісів та математичного моделювання для реабілітації, що підтверджує наявність національної експертизи у розробці спеціалізованих медичних рішень.

Слабкі сторони відображають внутрішні системні недоліки, що гальмують процес цифровізації та впровадження інтелектуальних систем.

Проблеми інтероперабельності та якості даних. Відсутність повної сумісності між різними ІКТ-системами та фрагментарність даних ускладнюють створення єдиних датасетів для ШІ. Паралельне існування паперового та електронного документообігу призводить до дублювання інформації та зниження її якості.

Дефіцит та перевантаження кадрів. Система страждає від гострого кадрового дефіциту, особливо середнього медичного персоналу. Високе адміністративне навантаження на лікарів, пов'язане із заповненням документації ("десктопна медицина"), обмежує час для опанування та використання нових інструментів.

Недостатнє матеріально-технічне забезпечення. Частина закладів, особливо у віддалених регіонах, не забезпечена сучасним комп'ютерним обладнанням та швидкісним інтернетом, що є критичним бар'єром для хмарних рішень ШІ.

Низький рівень специфічної цифрової грамотності. Попри загальну потребу в навчанні, існує брак спеціалізованих освітніх програм для медиків саме з використання інструментів ШІ та інтерпретації їх результатів.

Можливості визначаються зовнішніми факторами, які можуть бути використані для прискорення інтеграції ІІІ.

Міжнародна підтримка та євроінтеграція. Залучення коштів у рамках програми Ukraine Facility та співпраця зі Світовим банком відкривають доступ до значних фінансових ресурсів для модернізації інфраструктури. Гармонізація українського законодавства з європейськими нормами сприятиме виходу на ринок передових європейських рішень.

Розвиток персоналізованої медицини та реабілітації. Зростання попиту на послуги реабілітації та ментального здоров'я внаслідок війни стимулює розробку ІІІ-рішень для дистанційного моніторингу та створення індивідуальних планів лікування, що є пріоритетом державної політики [2].

Оптимізація управління ресурсами. Використання ІІІ для прогнозування потреб у ліках та медичних послугах (на базі систем MedData, e-Stock) дозволить підвищити ефективність розподілу обмежених бюджетних коштів.

Загрози – це зовнішні ризики, які можуть негативно вплинути на реалізацію стратегії.

Безпеківі ризики та руйнування інфраструктури. Триваючі бойові дії та цілеспрямовані атаки на медичні заклади створюють фізичну загрозу для обладнання та мереж. Крім того, централізація даних підвищує ризики кібератак на критичну інфраструктуру охорони здоров'я.

Демографічна криза та відтік мізків. Міграція кваліфікованих медичних та ІТ-спеціалістів за кордон може призвести до браку експертів, здатних впроваджувати та підтримувати складні технологічні системи.

Фінансова нестабільність. Залежність бюджету охорони здоров'я від зовнішнього фінансування та міжнародної допомоги створює ризики для сталості проєктів у довгостроковій перспективі, особливо в умовах високого дефіциту бюджету [2].

Узагальнюючи результати SWOT-аналізу, можна стверджувати, що, незважаючи на суттєві інфраструктурні та кадрові бар'єри, Україна має потужний цифровий фундамент та сприятливе інституційне середовище для поступової

інтеграції технологій штучного інтелекту. Ключовим завданням стратегії має стати мінімізація впливу слабких сторін через освітні ініціативи та технічну модернізацію, а також максимальне використання можливостей міжнародного партнерства.

Література

1. Про схвалення Концепції розвитку електронної охорони здоров'я: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.12.2020 № 1671-р. Редакція від 06.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1671-2020-%D1%80#Text>.

2. Health financing in Ukraine: reform, resilience and recovery. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2024. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. URL: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2024-10570-50342-75964>.

Цифрова трансформація методів управлінського контролю через впровадження когнітивного менеджменту

Якименко-Терещенко Н. В., Мельник К. С.
ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Сучасна епоха глобальних технологічних зрушень докорінно змінює архітектуру корпоративного управління. У центрі цих змін перебуває еволюція систем управлінського контролю, які трансформуються з інструментів пасивної реєстрації фінансових результатів у динамічні, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. Традиційний управлінський контроль, що десятиліттями спирався на ієрархічні структури та аналіз минулих періодів, виявляється неспроможним забезпечити життєздатність організацій в умовах VUCA-світу — середовища, де волатильність, невизначеність, складність та неоднозначність стали константами бізнес-буття. Процес цифровізації не просто автоматизує існуючі функції, а створює нову онтологію контролю, де межа між фізичними операціями та їхніми цифровими відображеннями зникає, поступаючись місцем когнітивному менеджменту.

Ретроспективний аналіз, який довгий час вважався золотим стандартом управлінського контролю, у сучасних умовах демонструє критичні недоліки. Однією з головних методологічних проблем є змішування факторів. Оскільки ретроспективні дані часто збиралися для адміністративних, а не аналітичних

цілей, у них можуть бути відсутні ключові змінні, що впливають на результат. Ключові загрози валідності ретроспективного контролю: інформаційне упередження, Ефект Хоторна, соціальний тиск та упередженість звітності, упередження відбору.

Трансформація контролю в реальному часі вимагає створення нової технологічної інфраструктури, яка здатна поглинати та обробляти тисячі операційних сигналів щодня. ERP-платформи еволюціонують з систем обліку в ядра інтелектуального управління, що живлять ІІІ-моделі та цифрові двійники. Цифровий двійник у цьому контексті виступає як динамічне віртуальне дзеркало фізичного активу або процесу, що забезпечує неперевершену прозорість та можливість симуляційного тестування без ризику для основних операцій. Інтеграція ІІІ та цифрових двійників перетворює контроль з реактивного механізму на активну систему прийняття рішень [1].

Архітектура інтелектуального управлінського контролю включає [1, 2]:

1) фізичний шар та збір даних (сенсори IoT, роботи та промислове обладнання генерують сирі дані, які агрегуються системами SCADA);

2) шар цифрового двійника (створення та підтримка віртуальної моделі, яка відображає динаміку машин, потоки матеріалів та навколишні умови в реальному часі);

3) інтеграція з корпоративними системами (дані з підрозділів з'єднуються з модулями планування виробництва, інвентаризації та фінансів у ERP/MES системах);

4) шар ІІІ та аналітики (моделі прогнозують майбутні стани системи, визначають залишковий корисний ресурс та оптимізують параметри);

5) шар прийняття рішень та управління (трансформація аналітичних висновків у конкретні команди для машин або рекомендації для менеджерів).

Такий підхід дозволяє підприємствам перейти від «управління за відхиленнями» до «управління за можливостями».

Когнітивний менеджмент є наступним етапом еволюції, де фокус зміщується з контролю за даними на управління процесами мислення

та навчання в організації. Майбутнє управлінського контролю полягає в гармонійному поєднанні технологічної потужності ШІ з людською креативністю та етичною рефлексією.

Література

1. Taran A. *Digital Twin: A Virtual Copy of a Physical Object, Process, or System. Applications in Industry, Construction, and Cities. Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations 2026 (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, Kharkiv, February 12-13, 2026. Kharkiv : NURE, 2026. P. 54–58.*

2. Багрій К. Л., Вдовічен А. А., Шеверя Я. В. *Розвиток управлінського обліку в контексті Індустрії 4.0.рій. Актуальні питання економічних наук. 2025. № 17. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17758081>.*

Система електронного голосування з використанням блокчейну

Філонов Д. О., Алтухов О. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні тенденції цифровізації суспільства вимагають активне впровадження інформаційних технологій у виборчі процеси, що сприяє розвитку систем електронного голосування. Такі системи забезпечують підвищення доступності участі громадян у прийнятті рішень, скорочення витрат на організацію виборів і прискорення обробки результатів. Водночас їх широке застосування обмежується низкою суттєвих проблем, пов'язаних із забезпеченням безпеки, довіри та прозорості.

Однією з ключових проблем електронного голосування є ризик несанкціонованого втручання у процес голосування та підрахунку голосів. Централізовані системи є вразливими до атак, внутрішніх зловживань і технічних збоїв, що може призвести до спотворення результатів. Іншою важливою проблемою є забезпечення таємниці голосування, оскільки необхідно гарантувати, що вибір користувача не може бути пов'язаний з його особою. Також актуальним залишається питання перевірюваності результатів голосування — виборці повинні мати можливість переконатися, що їх голос враховано коректно, не порушуючи при цьому принципу анонімності [1].

Додатковими викликами є масштабованість систем електронного голосування, їх стійкість до навантажень під час масових виборів, а також необхідність інтеграції з існуючими механізмами ідентифікації виборців. Окрему увагу слід приділити проблемі довіри суспільства до електронних систем, яка часто є нижчою порівняно з традиційними паперовими процедурами голосування.

Одним із перспективних підходів до вирішення зазначених проблем є використання блокчейн-технології. Завдяки децентралізованій структурі та криптографічному захисту даних блокчейн дозволяє забезпечити незмінність записів, прозорість процесу голосування та відсутність єдиного центру контролю. Використання розподіленого реєстру створює можливість незалежної перевірки результатів голосування всіма зацікавленими сторонами [2].

Для забезпечення анонімності та цілісності голосів застосовуються сучасні криптографічні методи, зокрема шифрування даних і механізми цифрового підпису. Перспективним є використання гібридних архітектур, які поєднують блокчейн із традиційними інформаційними системами, що дозволяє досягти балансу між продуктивністю та безпекою.

Використання блокчейну у системах електронного голосування дозволяє підвищити надійність та прозорість виборчих процесів, однак потребує подальших досліджень і вдосконалення з урахуванням технічних аспектів [3].

Для перевірки ефективності запропонованого підходу було розроблено систему електронного голосування з використанням блокчейну, серверна частина якої реалізована мовою PHP. Система включає модулі реєстрації та аутентифікації користувачів, подання голосу, формування блоків і збереження результатів у вигляді ланцюга блоків, а також підрахунок голосів на основі даних блокчейну.

У межах дослідження проведено функціональне тестування системи, яке підтвердило коректність виконання основних операцій, зокрема реєстрації виборців, одноразового голосування та формування незмінного запису про кожен поданий голос. Було встановлено, що використання криптографічних хеш-

функцій забезпечує цілісність ланцюга блоків і дозволяє виявити будь-які спроби модифікації даних.

Окрему увагу приділено перевірці механізмів забезпечення анонімності. У процесі тестування підтверджено, що розділення ідентифікаційних даних користувача та змісту голосу унеможлиблює встановлення зв'язку між виборцем і його вибором. При цьому зберігається можливість перевірки факту участі користувача у голосуванні без розкриття змісту його голосу.

Проведено експериментальне навантажувальне тестування системи шляхом імітації одночасного голосування декількох користувачів. Результати показали, що система стабільно функціонує при помірному рівні навантаження, характерному для локальних або корпоративних виборів. Водночас зі збільшенням кількості транзакцій спостерігається зниження продуктивності, що зумовлено обмеженнями обчислювальних ресурсів і особливостями реалізації блокчейн-структури.

Аналіз швидкодії системи показав, що основний час обробки припадає на етап формування блоку та обчислення хешу, що є характерним для блокчейн-орієнтованих рішень. При цьому використання PHP як серверної мови забезпечує достатню гнучкість і простоту реалізації, однак потребує оптимізації при роботі з великими обсягами даних.

Додатково було проведено тестування стійкості системи до типових загроз, зокрема спроб повторного голосування та модифікації даних. Результати показали, що реалізовані механізми контролю доступу та перевірки цілісності блоків ефективно запобігають зазначеним загрозам.

Отримані результати підтверджують працездатність запропонованої системи та доцільність використання блокчейн-технології для забезпечення прозорості й надійності електронного голосування. Разом з тим виявлені обмеження, пов'язані з продуктивністю та масштабованістю, свідчать про необхідність подальшого вдосконалення архітектури системи.

Література

1. PSM7. «Блокчейн у державному управлінні України як ліки від корупції». 2023 рік. URL: <https://psm7.com/uk/blockchain/blokchejn-u-derzhavnomu-upravlinni-ukra%d1%97ni-yak-lik-vid-korupci%d1%97-rejderstva-i-byurokrati%d1%97-dumka-ekspertiv.html> (дата звернення: 13.03.2026).
2. Миронець І.В., Шкребтій А.В. Криптографічні алгоритми та особливості їх використання в блокчейн-системах. Український науковий журнал Інформаційна безпека. 2019. Том 25, №2. С. 104-109. 37.
3. Diaconita, V., Belciu, A., & Stoica, M. G. (2023). Trustful Blockchain-Based Framework for Privacy Enabling Voting in a University. JTAER, 18(1), 150–169. DOI: 10.3390/jtaer18010008.

Оmnіканальні стратегії як фактор підвищення лояльності споживачів у цифровій економіці

Крук О. М., Борисова С. Є.

Донбаська державна машинобудівна академія

В умовах стрімкої цифровізації бізнес-середовища omnіканальні стратегії перетворилися з інструмента розширення збуту на системний фактор формування довгострокової лояльності споживачів. Цифрова трансформація бізнесу, поширення мобільних технологій, розвиток електронної комерції та соціальних платформ суттєво змінили модель споживчої поведінки. Сучасний клієнт одночасно взаємодіє з брендом через сайт, мобільний застосунок, соціальні мережі, маркетплейси, фізичні магазини та контакт-центри. Відповідно, лояльність дедалі більше залежить не від окремого каналу продажу, а від узгодженості, безперервності та якості всього клієнтського досвіду. За даними McKinsey, 71 % споживачів очікують персоналізованої взаємодії з компаніями, а 76 % готові змінити бренд після негативного досвіду, це свідчить про те, що лояльність у цифровій економіці є надзвичайно чутливою до якості взаємодії в усіх точках контакту [1].

Omnіканальність передбачає інтеграцію онлайн- та офлайн-каналів у єдину систему, де споживач отримує безшовний досвід: можливість розпочати пошук товару на смартфоні, завершити покупку в магазині, здійснити повернення через інший канал і отримати підтримку в месенджері без повторного пояснення ситуації. Така модель забезпечує відчуття зручності, контролю та

передбачуваності та є базою для формування довіри до бренду. Статистичні дані підтверджують економічну доцільність омніканального підходу: за результатами дослідження Harvard Business Review, омніканальні покупці витрачають у середньому на 4 % більше під час покупок у фізичних магазинах і на 10 % більше в онлайн-каналах порівняно з клієнтами, які користуються лише одним каналом [2]. Крім того, вони частіше відвідують магазини та демонструють вищий рівень залученості.

Омніканальні стратегії ефективні лише за умови правильного управління даними споживачів. З одного боку, персоналізація підвищує релевантність пропозицій і сприяє формуванню позитивного досвіду. З іншого боку, надмірне або непрозоре використання персональних даних може викликати недовіру. За даними Salesforce, 73 % споживачів очікують, що компанії розумітимуть їхні потреби, проте 71 % стали більш обережними щодо використання своїх персональних даних, а 49 % вважають, що компанії використовують ці дані переважно у власних інтересах [3].

Основним елементом омніканальної стратегії є створення єдиного профілю клієнта, який акумулює інформацію про покупки, звернення до служби підтримки, поведінку на сайті та реакцію на маркетингові повідомлення. Такий підхід дозволяє компанії забезпечити узгодженість комунікацій та уникнути дублювання інформації. Наприклад, клієнт, який вже придбав товар онлайн, не повинен отримувати рекламу того самого продукту в мобільному застосунку або електронній пошті. Узгодженість контенту та комунікацій зменшує інформаційне перевантаження і підвищує задоволеність взаємодією. За даними Adobe, 45 % керівників компаній вважають інтеграцію клієнтських даних пріоритетним напрямом удосконалення цифрового досвіду, а 42 % наголошують на необхідності оптимізації контенту між каналами [4].

Омніканальна стратегія також включає впровадження безшовних сервісних сценаріїв, таких як «замовлення онлайн – отримання в магазині», повернення товарів через будь-який канал, єдині цінові умови в онлайн- та офлайн-середовищі. Такі заходи підвищують зручність і скорочують витрати

часу споживача, позитивно впливають на його бажання здійснити повторні покупки. Водночас ефективність омніканальності залежить від операційної узгодженості логістики, складів, систем управління запасами та політики ціноутворення. Невідповідність цін або умов у різних каналах може спричинити зниження довіри та відтік клієнтів. Також в контексті лояльності слід пам'ятати про комунікаційні стратегії. Надмірна кількість повідомлень із різних каналів може викликати негативну реакцію споживачів, зростання кількості відписок від розсилок та зниження рівня залученості. Тому важливим є впровадження механізмів частотного контролю та пріоритизації повідомлень, що забезпечує збалансовану комунікацію. Омніканальність у цьому випадку виступає не лише як технічна інтеграція каналів, а як стратегія управління клієнтським досвідом і довірою [5–6].

Омніканальні стратегії можна розглядати як багаторівневу систему заходів, яка включає інтеграцію даних, персоналізацію взаємодії, узгодженість сервісу, прозорість використання інформації та оптимізацію комунікацій. Їхній вплив на лояльність проявляється через підвищення задоволеності клієнтів, зростання повторних покупок, збільшення середнього чека та формування довіри до бренду. Водночас сучасна цифрова економіка висуває нові вимоги до компаній: забезпечення етичного використання даних, дотримання принципів прозорості та захисту персональної інформації. Саме поєднання технологічної інтеграції та довірчої взаємодії визначає ефективність омніканальних стратегій у довгостроковій перспективі. Таким чином, омніканальність є не просто інструментом розширення каналів збуту, а виступає стратегічною моделлю формування лояльності, що базується на синергії технологій, аналітики та клієнтоорієнтованого підходу.

Література

1. *Enhancing customer experience in the digital age*. Офіційний сайт McKinsey&Company. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/enhancing-customer-experience-in-the-digital-age>
2. Sopadjieva E., Dholakia U. M., Benjamin B. A Study of 46,000 Shoppers Shows That Omnichannel Retailing Works. URL: <https://hbr.org/2017/01/a-study-of-46000-shoppers-shows-that-omnichannel-retailing-works>

3. State of the AI Connected Customer. Офіційний сайт Salesforce. URL: <https://www.salesforce.com/en-us/wp-content/uploads/sites/4/documents/research/State-of-the-Connected-Customer.pdf>
4. Adobe 2024 Digital Trends – Asia Pacific and Japan Report. URL: <https://www.adobe.com/au/cc-shared/assets/roc/business/teams/resources/whitepapers-ebooks/digital-trends-report-apj-2024.pdf>
5. Чижова Ю.В. Омніканальні комунікації як інструмент підвищення конкурентоспроможності. *Економічний простір*. 2025. № 204. С. 334-340. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.204.334-340>
6. Кавун О. О., Белінський М. О. Концептуалізація омніканального обслуговування споживачів в роздрібній торгівлі. *Економіка та суспільство*. 2024. Випуск 67. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-122>

Використання цифрових сервісів для моделювання та оптимізації задач дослідження операцій

Гетьман І. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Держевецька М. А.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та цифрових рішень відбувається трансформація підходів до розв'язання прикладних задач, зокрема у сфері дослідження операцій, що зумовлює необхідність використання сучасних інструментів моделювання та оптимізації.

Зростання складності соціально-економічних, виробничих і логістичних систем, а також необхідність обробки значних обсягів даних вимагають застосування ефективних методів аналізу та прийняття рішень. У таких умовах класичні підходи до розв'язання задач дослідження операцій, що базуються на ручних обчисленнях або обмежених аналітичних методах, втрачають свою ефективність через високу трудомісткість і значні часові витрати [1].

Особливої актуальності набуває використання цифрових сервісів, які забезпечують автоматизацію обчислювальних процесів, підвищення точності результатів та можливість візуалізації складних математичних моделей. Такі інструменти сприяють не лише оптимізації розрахунків, але й поглибленню розуміння сутності досліджуваних процесів.

Крім того, інтеграція цифрових технологій у навчальний процес дозволяє підвищити рівень засвоєння матеріалу, сформувати практичні навички використання математичних методів та розвинути здатність до самостійного аналізу й прийняття рішень. У цьому контексті дослідження можливостей сучасних цифрових сервісів для розв’язання задач дослідження операцій є важливим і своєчасним науково-практичним завданням.

Сучасні цифрові сервіси відкривають широкі можливості для моделювання та оптимізації задач дослідження операцій. Вони дозволяють реалізовувати задачі лінійного програмування, аналізу рішень, транспортні задачі та задачі теорії ігор.

Серед найбільш ефективних інструментів доцільно виділити Wolfram Alpha, GeoGebra, Atozmath, Game Theory Explorer та MathPartner, які відрізняються функціональними можливостями та сферою застосування [2–6]. Для узагальнення їх характеристик наведено порівняльний аналіз (табл.1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика цифрових сервісів для розв’язання задач дослідження операцій

Сервіс	Основне призначення	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Wolfram Alpha	Розв’язання математичних задач, оптимізація	Потужна обчислювальна база, універсальність	Частково платний доступ	Лінійне програмування, аналітика
GeoGebra	Візуалізація моделей	Інтерактивність, наочність	Обмежена оптимізація	Графічні методи
Atozmath	Покрокове розв’язання	Простота, навчальна орієнтація	Обмежений функціонал	Освітній процес
Game Theory Explorer	Аналіз стратегій	Спеціалізація на теорії ігор	Вузьке застосування	Теорія ігор
MathPartner	Символьні обчислення	Безкоштовність, широкий функціонал	Складніший інтерфейс	Алгебра, оптимізація

Проведений порівняльний аналіз цифрових сервісів дозволяє зробити висновок про їхню функціональну диференціацію та доцільність використання залежно від типу задач дослідження операцій.

Зокрема, універсальні системи, такі як Wolfram Alpha та MathPartner, доцільно застосовувати для розв'язання складних оптимізаційних задач, оскільки вони забезпечують широкий спектр обчислювальних можливостей, включаючи символічні та числові методи. Водночас ці інструменти потребують певного рівня підготовки користувача, що може ускладнювати їх використання на початкових етапах навчання.

Натомість сервіси навчально-орієнтованого типу, такі як Atozmath, є більш доступними для студентів завдяки простому інтерфейсу та наявності покрокових пояснень. Однак їх функціональні можливості є обмеженими, що знижує ефективність при розв'язанні складних прикладних задач.

Окрему групу становлять спеціалізовані інструменти, зокрема Game Theory Explorer, які орієнтовані на вузькі предметні області. Їх використання є доцільним у випадках, коли необхідно дослідити стратегічну взаємодію та прийняття рішень в умовах конфлікту інтересів.

Важливу роль у процесі навчання відіграють засоби візуалізації, серед яких особливе місце займає GeoGebra. Даний інструмент дозволяє графічно інтерпретувати розв'язки задач лінійного програмування, що сприяє глибшому розумінню геометричної сутності оптимізаційних моделей.

Таким чином, результати аналізу свідчать про доцільність комплексного використання різних типів цифрових сервісів. Поєднання універсальних, спеціалізованих та навчально-орієнтованих інструментів забезпечує максимальну ефективність у процесі моделювання та оптимізації задач дослідження операцій.

Крім того, встановлено, що застосування цифрових сервісів дозволяє не лише автоматизувати обчислення, але й здійснювати варіативний аналіз моделей, оцінювати чутливість результатів до зміни параметрів та підвищувати обґрунтованість прийняття рішень. Це особливо важливо в умовах невизначеності та багатокритеріальності сучасних управлінських задач.

Література

1. Гетьман, І. А., Держевецька, М. А., & Солод, Ю. А. (2024). Застосування методів дослідження операцій для прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронних мереж. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (3), 13-19. Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.2>
2. Wolfram Alpha [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.wolframalpha.com/>
3. GeoGebra [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.geogebra.org/>
4. Atozmath [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://atozmath.com/>
5. Game Theory Explorer [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gte.csc.liv.ac.uk/>
6. MathPartner [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mathpar.ukma.edu.ua/>

Розробка інформаційної системи управління діяльністю фітнес-центру

Рикуш В. О., Стукалова Ю. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

В умовах сучасного фітнес-бізнесу швидкість обслуговування клієнтів, точність фінансового обліку та ефективне управління ресурсами є важливими чинниками успішної діяльності закладу. Сучасний фітнес-центр поєднує надання спортивно-оздоровчих послуг, роботу з клієнтами, управління персоналом, облік фінансових операцій і контроль матеріальних ресурсів, що потребує оперативної обробки значного обсягу даних.

З огляду на це було поставлено завдання розробити програмний продукт, призначений для автоматизації роботи адміністратора фітнес-центру, зменшення впливу людського фактора та підвищення ефективності управління діяльністю закладу. Незважаючи на наявність готових програмних рішень для фітнес-центрів, більшість із них мають стандартизований функціонал і не завжди враховують особливості роботи конкретного закладу. Запропонована система орієнтована на визначені бізнес-процеси фітнес-центру, забезпечує необхідний функціонал, є зручною для користувачів і може бути гнучко модифікована відповідно до подальших потреб.

Під час аналізу предметної області було визначено основні класи системи, які відображають структуру даних автоматизованої інформаційної системи обліку та управління діяльністю фітнес-центру. До них належать класи Member,

Subscription, Enrollment, Trainer, WorkoutType, Product і Sale, які забезпечують зберігання та обробку інформації про клієнтів, абонементи, записи на заняття, тренерів, види тренувань, товари та продажі. Використання цих класів дає змогу формалізувати основні бізнес-процеси фітнес-центру, зокрема реєстрацію клієнтів, облік абонементів, організацію тренувального процесу, продаж товарів і фінансовий контроль. Структуру взаємозв'язків між основними класами подано на рисунку 1.

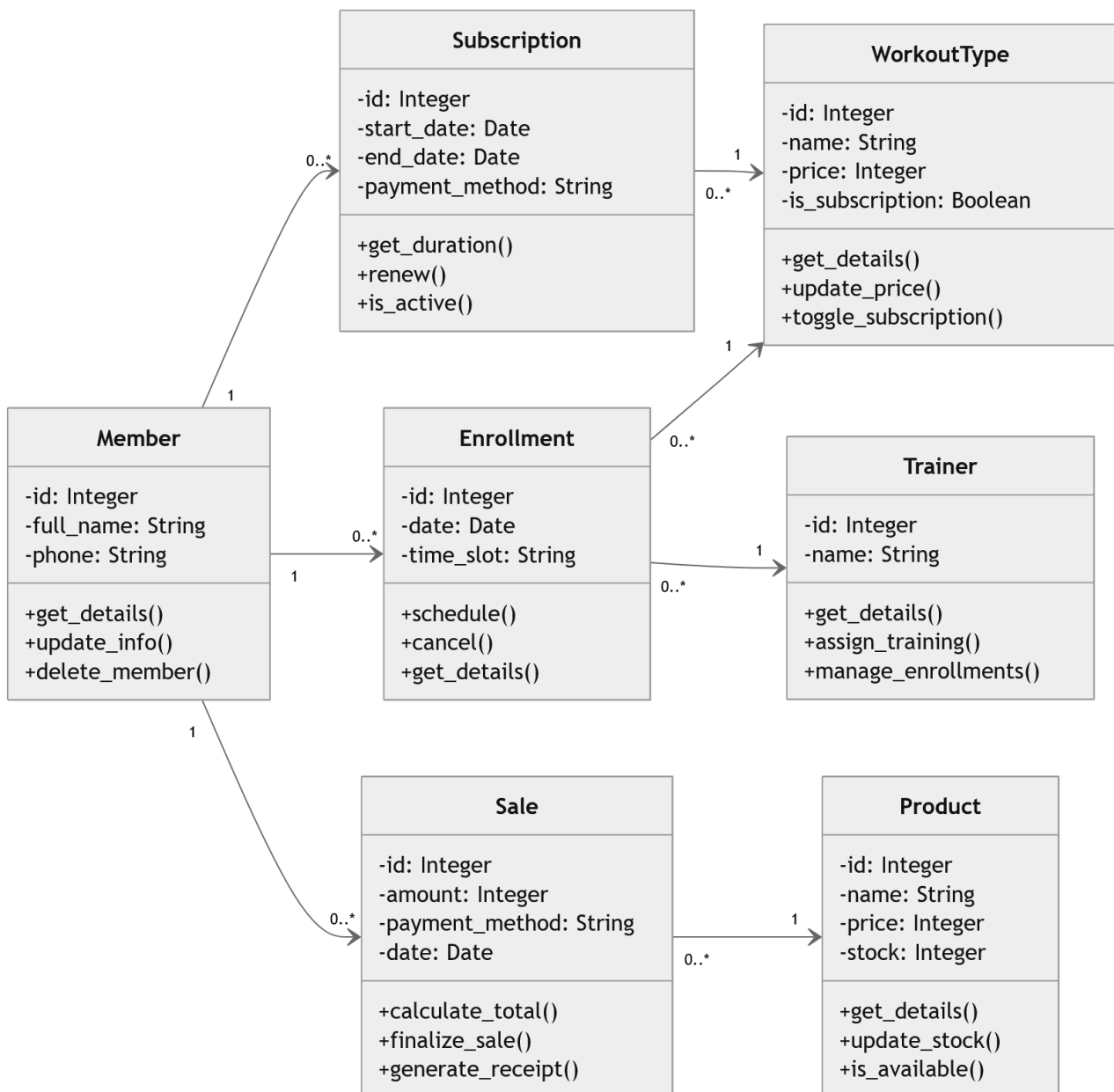


Рисунок 1 – Діаграма класів інформаційної системи управління діяльністю фітнес-центру

На основі виділених класів сформовано логічну структуру системи та реалізовано програмний продукт із використанням архітектурного шаблону MVC, що забезпечує узгодженість між моделлю даних, серверною логікою та інтерфейсом користувача. Упровадження розробленої інформаційної системи сприятиме підвищенню ефективності управління фітнес-центром, точності обліку, якості обслуговування клієнтів і оптимізації основних бізнес-процесів.

Література

1. Yu H., Kulinna P. H., Lorenz K. A. *Integration of mobile applications into physical education programs. Strategies. 2018. Vol. 31, No. 3. P. 13–19.*

Розробка автоматизованої системи виплат відвідувачам за публікацію контенту у ресторанах

Стукалова Ю. А., Карамян А. Е.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні автоматизовані системи управління знаходять широке застосування в індустрії гостинності, зокрема в ресторанному бізнесі. Розвиток цифрових технологій зумовлює потребу в нових підходах до взаємодії між закладом і його відвідувачами. Одним із таких інноваційних рішень є впровадження системи винагороди клієнтів за створення та публікацію контенту про ресторан, що сприяє підвищенню впізнаваності бренду й залученню нових відвідувачів [1].

Метою роботи є розробка автоматизованої веб-системи, яка реалізує механізм виплат відвідувачам за публікацію контенту (фото, відео, відгуків) у соціальних мережах. У межах цього проєкту передбачено повний цикл створення програмного продукту: від аналізу предметної області та проєктування до безпосередньої реалізації системи.

Під час проєктування особливу увагу приділено розподіленій архітектурі за моделлю «клієнт–сервер», що дає змогу відокремити інтерфейс користувача від логіки обробки даних. Клієнтська частина системи забезпечує зручність

та інтуїтивність взаємодії з користувачем, тоді як серверна відповідає за збереження, обробку й аналіз інформації, зокрема перевірку автентичності контенту та нарахування винагород.

Для побудови логічної моделі автоматизованої системи виплат відвідувачам за публікацію контенту в ресторанах було розроблено діаграму прецедентів (рис. 1). На діаграмі представлені основні актори: Користувач, Система та Адміністратор ресторану. На першому етапі взаємодії користувач проходить процедуру реєстрації («Зареєструватися»), яка передбачає вказання платіжних реквізитів («Вказати платіжні реквізити») і підтвердження контактної інформації («Підтвердити телефон/email»). Після цього користувач може авторизуватися в системі («Авторизуватися»).

Основним процесом є завантаження контенту («Завантажити контент»), що передбачає можливість окремо завантажити фото або відео («Завантажити фото», «Завантажити відео»), вибрати ресторан («Вибрати ресторан»), вказати опис страви («Вказати опис страви») та здійснити автоматичне визначення категорії їжі («Автоматичне визначення категорії їжі»).

Після завантаження матеріалів система виконує перевірку контенту («Перевірити контент»). Якщо перевірка пройдена успішно, система розраховує винагороду («Розрахувати винагороду»), що включає визначення вартості контенту («Визначити вартість контенту») і створення запису про виплату («Створити запис про виплату»). Далі запускається механізм переказу коштів («Виконати виплату»), у межах якого перевіряється IBAN користувача («Перевірити IBAN користувача») та створюється платіж («Створити платіж»). У разі виникнення помилки система повідомляє про це користувача («Повідомити про помилку»).

Після завершення фінансової операції користувач може переглянути історію своїх виплат («Переглянути історію виплат»). Адміністратор ресторану має можливість переглядати статистику («Переглянути статистику»), піднімати публікації користувачів у топ («Підняти контент у топ») і переглядати контент ресторану («Переглянути контент ресторану»).

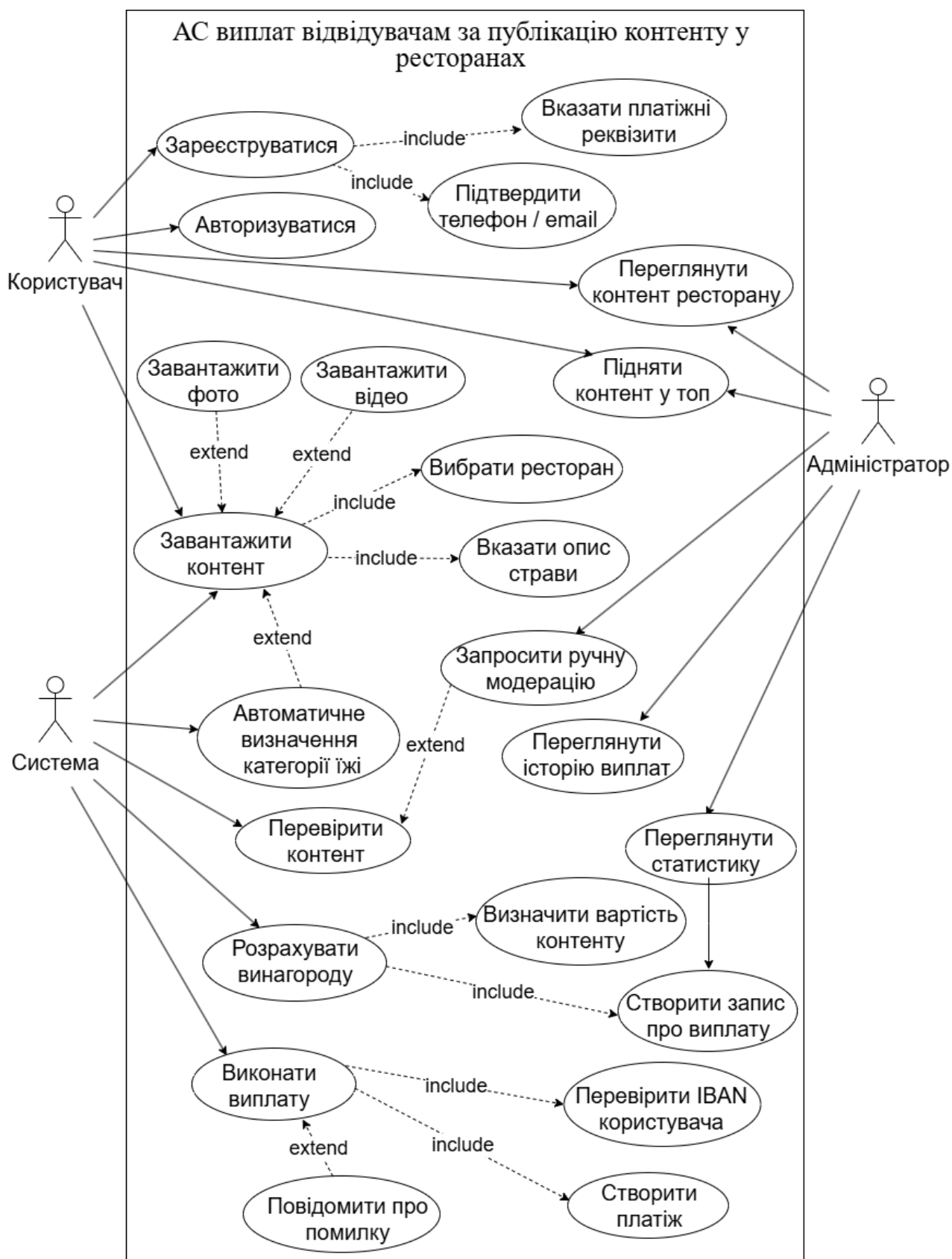


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів для автоматизованої системи виплат відвідувачам за публікацію контенту у ресторанах

Отже, автоматизована система виплат відвідувачам за публікацію контенту в ресторанах є веб-платформою, що дає змогу користувачам завантажувати фото- та відеоматеріали із закладів і отримувати за це грошову винагороду. Система автоматизує перевірку контенту, облік взаємодій із ним, зокрема лайків і переглядів, а також розрахунок винагород. Її впровадження забезпечить прозорий і мотивувальний механізм заохочення користувачів та дасть змогу ресторанам ефективно залучати клієнтів до маркетингових активностей, перетворюючи відвідувачів на активних учасників популяризації закладу.

Література

1. Sigala M. Social media and customer engagement in the restaurant industry. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2016. Vol. 28, No. 2. P. 271–295.

Стратегічні аспекти та етапність впровадження ERP-систем як чинник цифрової трансформації середнього бізнесу

Балашова О. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

В умовах динамічних ринкових змін та необхідності адаптації до вимог європейського ринку, цифрова трансформація стає критичною умовою стійкості середнього бізнесу. ERP-системи (Enterprise Resource Planning) сьогодні розглядаються не просто як інструмент обліку, а як архітектурний фундамент цифрової екосистеми підприємства. Вони забезпечують безшовну інтеграцію фінансових потоків, логістичних ланцюгів, виробничих потужностей та управління людським капіталом.

Згідно з Господарським кодексом України, до середнього бізнесу належать підприємства з чисельністю працюючих від 50 до 250 осіб та річним доходом від 10 до 50 мільйонів євро [1]. Саме цей сегмент стикається з найбільшими викликами при впровадженні складних ІТ-рішень: з одного боку, вони вже переросли можливості простих бухгалтерських програм, а з іншого – мають обмежені фінансові та кадрові ресурси порівняно з транснаціональними

корпораціями. Трансформація ринку ERP призвела до появи модульних та хмарних рішень, адаптованих під запити середнього бізнесу, проте успіх їх реалізації на 70 % залежить від чіткої стратегії та поетапності дій.

Методологія базується на аналізі та узагальненні міжнародного досвіду впровадження ERP, адаптованого до специфіки вітчизняного сектору МСП.

Еволюція наукової думки у сфері впровадження корпоративних систем демонструє перехід від фокусу на технічному інсталуванні до комплексного управління організаційними змінами. Систематизація теоретичних підходів дозволяє виокремити ключові вектори розвитку методологій: від суто процесного аналізу до концепцій безперервного вдосконалення бізнес-моделі. Це створює підґрунтя для розробки адаптивних інструментів управління цифровими трансформаціями, що є особливо актуальним для вітчизняних підприємств в умовах дефіциту інвестиційних ресурсів (табл. 1).

Таблиця 1 – Еволюція моделей життєвого циклу впровадження ERP

Автор моделі	Ключовий фокус	Основна особливість
Бенкрофт (Bancroft)	Процесний підхід	Виділення фаз «як є» та «як буде» для аналізу бізнес-процесів.
Росс (Ross)	Організаційна трансформація	Акцент на фазі стабілізації та безперервного вдосконалення після запуску.
Естевес (Esteves)	Життєвий цикл продукту	Розгляд впровадження через чотири виміри: продукт, процес, люди та управління.
Маркус та Таніс	Результативність	Орієнтація на успішність кожного кроку та координацію між учасниками.

Джерело: складено автором за [2, 3]

На основі аналізу вищезгаданих підходів пропонується авторська стратегічна модель, адаптована до реалій середніх підприємств. Наукова новизна підходу полягає у переході від лінійного опису до матричного аналізу, де кожен крок впровадження розглядається через призму організаційних, технічних та людських факторів успіху (рис. 1).

Запропонований алгоритм є інтегрованою дорожньою картою мінімізації ризиків МСП через синергію трьох аспектів: організаційного (залучення стейкхолдерів на ранніх етапах), методологічного (реінжиніринг процесів для

уникнення автоматизації хаосу) та технологічного (трансформація ERP у прогностичну платформу за допомогою ШІ) [4].



Рисунок 1 – Алгоритм поетапного розгортання ERP-системи

Сучасним трендом є перехід до інтелектуальних платформ (iERP), здатних до самонавчання. Функціональними доменами інтеграції ШІ в ERP-середовище середнього бізнесу визначено:

1. Предикативна фінансова аналітика. Застосування алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) дозволяє здійснювати автоматичне прогнозування касових розривів та попиту.

2. Динамічна оптимізація ресурсних потоків. Інтегровані ШІ-модулі забезпечують коригування графіків закупівель та складських залишків у режимі реального часу. Це дозволяє підприємству миттєво реагувати на волатильність ринкового попиту, мінімізуючи витрати на зберігання та ризики дефіциту.

3. Когнітивна автоматизація: використання інтелектуальних асистентів для доступу до звітності та OCR-технологій для обробки документації.

Висновки. Впровадження ERP-системи на середніх підприємствах є комплексним проєктом, успіх якого залежить від дотримання стратегічної етапності та готовності до організаційних змін. Запропонована шестиетапна модель дозволяє структурувати процес цифрової трансформації, зробити його контрольованим та економічно виправданим. Подальший розвиток таких систем вбачається у синергії ERP з інструментами штучного інтелекту, що забезпечить середньому бізнесу нові конкурентні переваги в умовах глобальної цифровізації.

Література

1. Господарський кодекс України : Закон України від 16.01.2003 № 436-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-15>
2. Впровадження ERP. URL: <https://ontargit.com/ua/implementation-of-erp/>
3. Завражний К., Кулик А., Соколов М. Аналіз впровадження ERP-системи для досягнення сталого розвитку підприємства в контексті цифрової трансформації. *Mechanism of an Economic Regulation*. 2024. №2 (104). С. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.32782/mer.2024.104.04>
4. Синергія ІІІ та ERP: як правильне використання даних підвищує ефективність бізнесу. URL: <https://bc.smart-it.com/news-and-articles/synergy-of-ai-and-erp/>

Планування корекційної роботи на основі статистичного аналізу даних програмного комплексу попередньої діагностики дислексії у дітей

Мельников О. Ю., Грищук Д. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

У попередній роботі «Статистичний аналіз помилок при попередній діагностиці дислексії у дітей за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення власної розробки» авторами було детально розглянуто математичний апарат [1] та систему статистичних індикаторів [2], інтегрованих у програмний комплекс [3]. Зокрема, було визначено роль середніх значень, дисперсії та коефіцієнтів кореляції Пірсона для об'єктивної оцінки частотних та варіативних характеристик дислексичних порушень.

Однак для практичної логопедії та спеціальної педагогіки особливу цінність становить не лише констатація статистичних фактів, а й можливість їх трансформації у конкретний план лікувально-педагогічного впливу. Даний модуль статистики дозволяє перейти від загальної діагностики до побудови індивідуальної траєкторії подолання порушень, базуючись на аналізі системності та взаємозв'язку помилок.

Розглянемо детальніше алгоритм використання отриманих статистичних даних для планування та динамічного коригування корекційної роботи.

1. Визначення пріоритетних напрямів корекції:

– аналіз середніх значень: порівняння середньої кількості помилок за типами (фонетичні, оптичні тощо) дає змогу визначити домінуючий вид дислексії. Наприклад, при високому показнику фонетичних помилок (рис. 1) основний акцент корекції має робитися на розвитку фонематичного сприйняття.

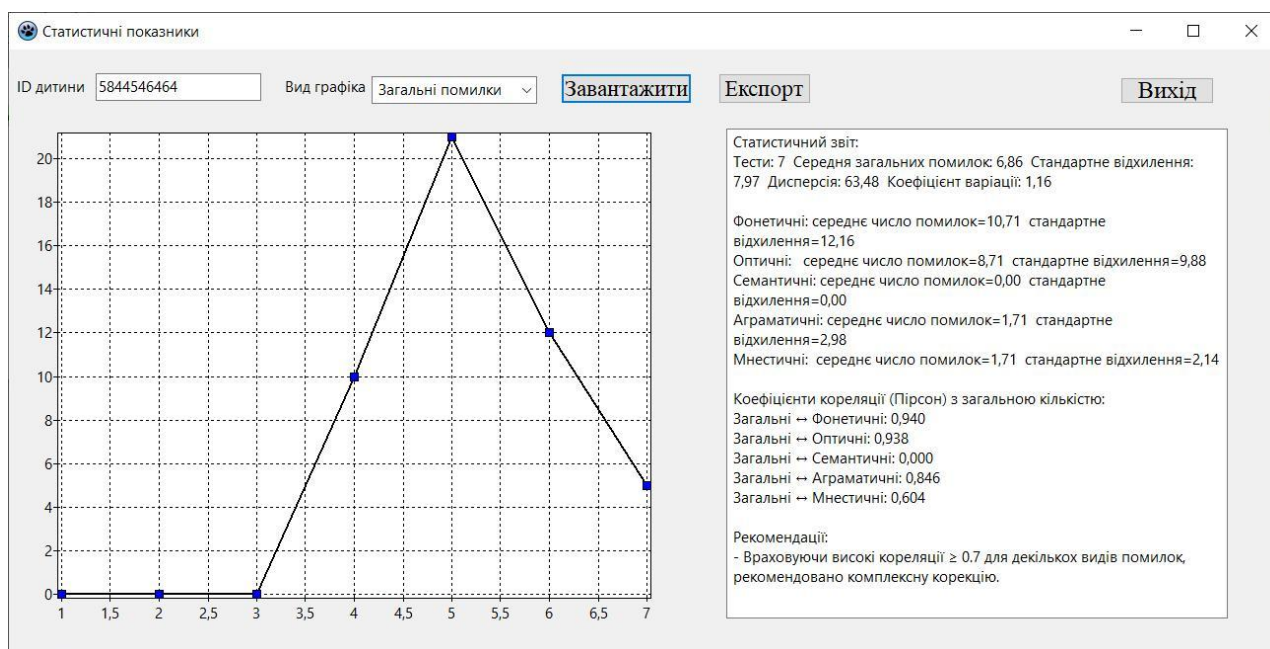


Рисунок 1 – Статистичний аналіз та графік, що відображає загальну кількість помилок

– гістограма розподілу: візуалізація частоти помилок (рис. 2) допомагає логопедам ідентифікувати конкретні «проблемні» слова або звукосполучення, на

яких дитина стабільно помиляється, що дозволяє формувати специфічні вправи для їх опрацювання.

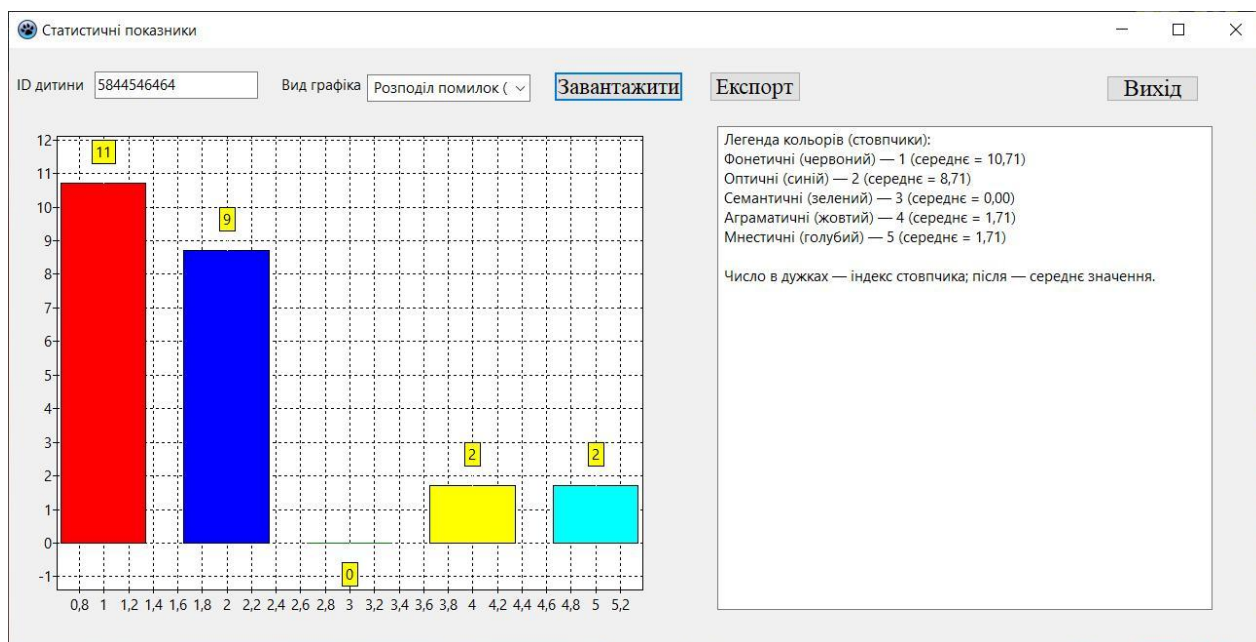


Рисунок 2 – Гістограма розподілу помилок

Статистичний аналіз дозволяє об'єктивно відсортувати порушення, виділяючи найбільш критичні зони для роботи фахівця.

2. Диференціація підходів: системність проти випадковості:

– коефіцієнт варіації: низьке значення цього показника вказує на системний характер порушення, що потребує тривалої, фундаментальної корекційної програми. Високий коефіцієнт свідчить про випадковість помилок, які можуть бути спричинені втомою або неуважністю, що потребує більше вправ на концентрацію, а не лише логопедичного впливу.

– дисперсія та стандартне відхилення: низький розкид даних підтверджує стабільність патологічного механізму, що вимагає інтенсивнішої терапії.

Використання показників варіативності дозволяє фахівцю зрозуміти природу помилок і відповідно адаптувати навантаження.

3. Планування комплексної або індивідуальної терапії:

– комплексна корекція: якщо між різними типами помилок (наприклад, фонетичними та оптичними) спостерігається висока кореляція ($r > 0,7$),

це свідчить про спільні когнітивні механізми порушення. У такому разі педагог планує вправи, що одночасно тренують зорове сприйняття та звуковий аналіз.

– ізолювана корекція: Типи помилок з низькою кореляцією розглядаються як незалежні порушення, що потребують окремих, не пов'язаних між собою технік впливу.

Кореляційний аналіз (коефіцієнт Пірсона) є основою для архітектури корекційного плану.

4. Оцінка внеску в загальну дезадаптацію проводиться за допомогою графіку кореляції типів помилок із загальною кількістю (рис. 3), що дозволяє логопеду зрозуміти, який саме тип порушення найбільше погіршує загальну якість читання. Ідентифікація найбільш впливових типів помилок дозволяє спрямувати ресурси на ті порушення, усунення яких дасть максимально швидкий і помітний прогрес у загальній навичці читання.

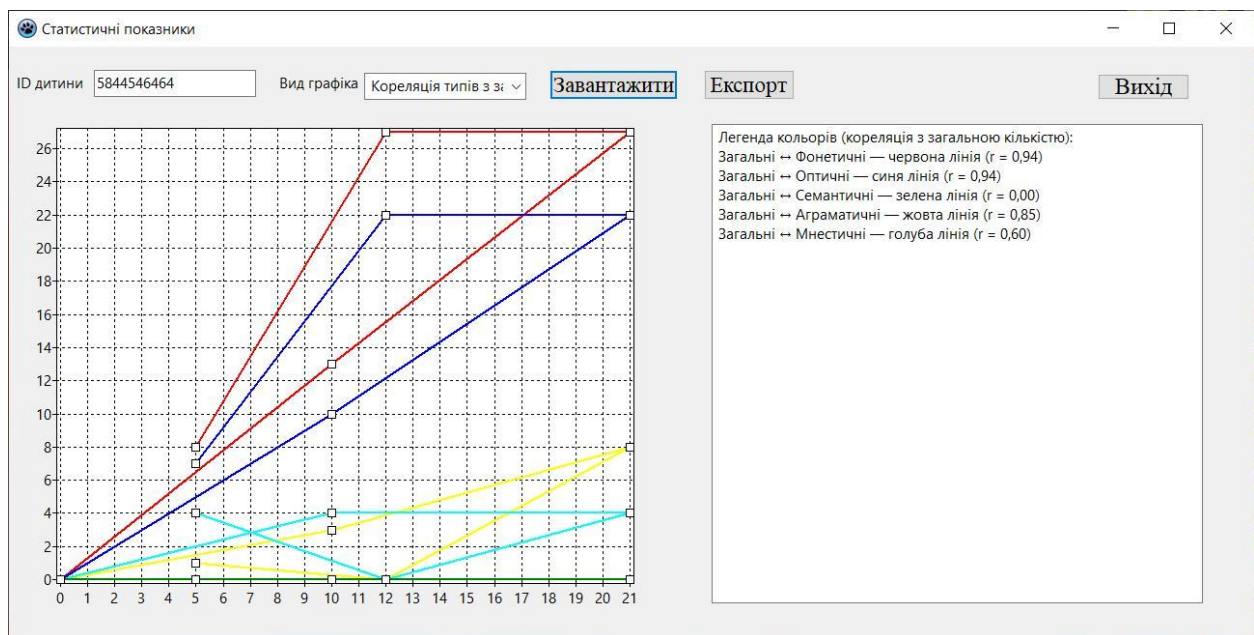


Рисунок 3 – Графік кореляції типів помилок із загальною кількістю помилок

5. Моніторинг та динамічна адаптація програми за допомогою систематичного використання модуля статистики, що забезпечує об'єктивний зворотний зв'язок. Аналіз динаміки точності читання дозволяє відстежувати ефективність обраної стратегії. Якщо після циклу занять середнє значення або

дисперсія помилок певного типу знижуються, програма вважається ефективною. Якщо показники стабільні – корекційний план потребує негайного перегляду.

Такий підхід робить корекційний процес глибшим і об'єктивнішим, дозволяючи фахівцям створювати справді персоналізовані програми розвитку, що базуються на твердих математичних даних, а не лише на суб'єктивних спостереженнях.

Література

1. Гришук Д. В., Мельников О. Ю. Математична модель для діагностики дислексії у дітей./ *Матеріали П'ятнадцятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології – 2025» «Modern Information Technology – 2025» (15-16 травня 2025 р., м. Одеса). Одеса: Національний університет «Одеська політехніка». С. 59–61.*

2. Гришук Д. В., Мельников О. Ю. Статистичний аналіз помилок при попередній діагностиці дислексії у дітей за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення власної розробки. *Сучасні комп'ютерні системи та технології: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні» (24 листопада 2025 р., м. Херсон, м. Хмельницький): за ред. А. А. Григорової. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2025. С. 141–144.*

3. Мельников О. Ю., Гришук Д. В. Програмне забезпечення для попередньої діагностики дислексії у дітей. *Automation of Technological and Business Processes. Одеса: ОНТУ, 2024. № 16 (2). С. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v16i2.2843>.*

4. Гришук Д. В., Мельников О. Ю. Аналіз динаміки точності читання у дітей з дислексією за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення власної розробки. *«Молодь: наука та інновації» 2025: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 12–14 листопада 2025 року (у 3-х томах). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2025. Том 2. С. 94–95.*

Інформаційна система обліку товарів магазину для геймерів

Нечволода Л. В., Крикуненко К. М., Ларченкова Е. А.
Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасних умовах цифровізації бізнесу питання автоматизації обліку товарів та управління складськими процесами активно досліджується як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Значний внесок у розвиток теорії та практики інформаційних систем зробив Х. А. Таха, який у своїй праці «Введення в дослідження операцій» розглянув математичні моделі оптимізації

ресурсів та прийняття управлінських рішень, що є основою для створення аналітичних модулів у сучасних системах обліку [2]. Проблеми автоматизації складського обліку та управління запасами досліджувалися у роботах Д. Уотерса, який у книзі «Inventory Control and Management» обґрунтував підходи до оптимізації рівня запасів та мінімізації витрат на зберігання продукції [3]. Його підхід широко використовується при розробці систем моніторингу залишків товарів. Важливим аспектом інформаційних систем є забезпечення безпеки доступу до даних. Окрему увагу дослідники приділяють аналітичним модулям у системах обліку. Зокрема, Ф. Котлер у роботі «Marketing Management» розглядає методи аналізу попиту та визначення найбільш популярних товарів, що є важливим для прийняття управлінських рішень у сфері торгівлі [4].

Розробка програмного забезпечення «GamerShop», забезпечує автоматизацію основних операцій магазину: від продажу одиниці товару до стратегічного аналізу прибутку.

У ході розробки було реалізовано наступні модулі, що підвищують ефективність бізнесу:

- Система розмежування прав доступу (RBAC) [1] : реалізовано поділ на ролі «Адміністратор» та «Менеджер». Це дозволяє власнику захистити конфіденційні дані (закупівельні ціни, статистику прибутку, керування персоналом) від рядових співробітників, фокусуючи увагу менеджера лише на процесі продажу.
- Інтелектуальний складський моніторинг: програма автоматично відстежує залишки товарів. Запроваджено функцію візуального виділення позицій, кількість яких наближається до критичної межі, що мінімізує ризик виникнення дефіциту товарів.
- Модуль аналітики та статистики: автоматизовано розрахунок чистого прибутку та оформлення списку найбільш затребуваних товарів. Це дає можливість власнику приймати обґрунтовані рішення щодо майбутніх закупівель на основі реальних даних, а не припущень.

- Мінімізація людського фактора: автоматичне списання товарів при оформленні чека та автоматичне обчислення вартості замовлення усуває ризик арифметичних помилок при розрахунку з покупцем.

Математичне забезпечення системи. В основу алгоритмів аналітичного модуля покладено модель розрахунку економічної ефективності реалізації товарів[2]. Зокрема чистий прибуток обчислюється за формулою (1):

$$P = \sum_{i=1}^n (S_i - C_i) * Q_i, \quad (1)$$

де P – загальний чистий прибуток;

S_i – ціна продажу i -го товару;

C_i – закупівельна ціна i -го товару;

Q_i – кількість проданих одиниць.

Алгоритм моніторингу дефіциту, що базується на порівнянні поточного залишку з критичним порогом, обчислюється за формулою (2):

$$\text{State} = \begin{cases} \text{Alert}, & \text{якщо } Q_{curr} \leq Q_{min} \\ \text{Normal}, & \text{якщо } Q_{curr} > Q_{min} \end{cases}, \quad (2)$$

де Q_{curr} – поточна кількість на складі, а Q_{min} – встановлений поріг (наприклад, 5 одиниць).

Та модель агрегації замовлення (загальна вартість чека), обчислюється за формулою (3).

$$S_{total} = \sum_{j=1}^m (P_j * K_j), \quad (3)$$

де S_{total} – загальна сума чека;

P_j – ціна продажу j -ї позиції у чеку;

K_j – кількість одиниць j -ї позиції;

m – кількість різних найменувань у поточному чеку.

Для перерахунку стану складу після транзакції (оформленню чеку) використовується формула (4).

$$Q_{new} = Q_{old} - Q_{sold}, \quad (4)$$

де Q_{new} – нова кількість товару;

Q_{old} – стара кількість товару;

Q_{sold} – продана кількість товару.

Отже, впровадження розробленої системи «GamerShop» дозволяє скоротити час на проведення інвентаризації, підвищити прозорість фінансових потоків та забезпечити стабільну роботу персоналу завдяки чітко розмежованому функціоналу інтерфейсу.

Література

1. Модель реалізації керування доступом на основі ролей (RBAC). URL: https://www.researchgate.net/publication/397021272_MODEL_REALIZACII_KERUVANNA_DOSTUPOM_NA_OSNOWI_ROLEJ_RBAC_U_BAGATORIVNEVIJ_ARHITEKTURI_SHOVISA_DANIH
2. Таха Х. А. Введення в дослідження операцій. М. : Вільямс, 2007. 912с.
3. Waters D. Inventory Control and Management. John Wiley & Sons, 2003.
4. Kotler P. Marketing Management. Pearson Education, 2016.

Моделювання системи інформаційного забезпечення автоматизованого розрахунку прямозубих циліндричних зубчастих передач

Кравченко В. І., Щербаков К.О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Відомо, що при експлуатації самохідних машин, літаків і інших апаратів та механізмів виконання ними виробничих функцій неможливо без використання зубчастих передач. При цьому конструктору таких машин приходится робити багато складних і трудомістких розрахунків щодо визначення параметрів передачі, що затягує сам процес створення конструкції в цілому. Тому актуальним є питання прискорення проектування машин шляхом створення

системи автоматизованих розрахунків прямозубих передач у вигляді мобільного сайту.

Метою цієї роботи є вдосконалення проектування прямозубих циліндричних зубчастих передач (ПЦЗП) шляхом дослідження та моделювання системи інформаційного забезпечення бізнес-діяльності інженера-конструктора.

Задачі роботи

- вивчення і аналіз службових інструкцій інженера-конструктора з проектування ПЦЗП, вхідних і вихідних документів, якими він користується;
- розробка інформаційної моделі.

Представимо діяльність інженера за допомогою SADT методології (див. модель-діаграму на рисунку нижче), розробленої свідомо для того, щоб визначити вимоги до програмного продукту [1].

Для виконання своїх функцій конструктор ПЦЗП отримує від роботодавця:

- потужність передачі;
- передавальне число;
- модуль та кутову швидкість (вхідні дані, рисунок).

Також вибираються:

- параметри розрахунку;
- матеріал зубчастих коліс;
- параметри з'єднання деталей на валах та інші.

Дані параметрів розрахунку за відповідними формами (форма документу, рисунок) заносяться до бази системи автоматизації. Далі за відповідними алгоритмами [2] з обов'язковим урахуванням вимог ДСТУ (стрілки зверху, рисунок) інженер-конструктор (стрілка знизу, рисунок) виконується розрахунок ПЦЗП. Після цього виконується перевірочний розрахунок. За результатами розрахунку (рисунок) остаточно визначаються: напруження у колесі та шестерні; передаточне відношення; число зубців і модуль передачі та виконується формування звіту за відповідною формою документа (рисунок 1).



Рисунок 1 – Контекстна структурно-функціональна модель-діаграма рівня А0 бізнес-діяльності інженера з проектування ПЦЗП

Таким чином вивчення і аналіз службових інструкцій інженера-конструктора з проектування прямозубих циліндричних зубчастих передач дозволило створити інформаційну модель його бізнес процесу, що тільки за рахунок підвищення точності обчислень підніме на новий рівень усю систему проектування машин і механізмів.

Подальший напрямок досліджень – створення мобільного веб-додатку, який дозволяє автоматизувати розрахунки при проектуванні прямозубих зубчатих передач.

Література

1. Фаулер М., Скотт К. *UML: Основи*. СПб. : Символ-Плюс, 2002. 192 с.
2. Карнаух С. Г., Чоста Н. В. *Розрахунки механічних передач : навчальний посібник до курсового й дипломного проектування*. Краматорськ : ДДМА, 2021. 204 с. ISBN 978-966-379-274-3

Розробка програмного комплексу ігрового напрямку з використанням градієнтного методу

Стрілецький О. О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні відеоігри є неймовірно різноманітними тому зацікавити гравця стає все важче і важче. Реалістична графіка вже не є запорукою успішності, тому для приваблення гравців необхідно продумувати і реалізовувати ігровий процес, що є водночас зрозумілим, зручним і помірно складним, щоб забезпечувати зацікавленість гравця у грі. Це завдання є непростим.

Мета: розглянути методи оптимізації та можливість їх використання для створення відеоігор на конкретному прикладі.

Завдання:

1. Розглянути основні методи оптимізації.
2. Розробити алгоритм для оптимізації функції складності з використанням обраного методу.
3. Зробити висновки про доцільність використання методу для оптимізації наявного завдання.

Більшість сучасних відеоігор мають певні статичні рівні складності ігрового процесу, зокрема найпопулярнішим є варіант: проста складність, середня складність та важка складність. Розробка та тестування одразу трьох, а іноді й більше, наборів характеристик ігрових персонажів, ворогів та інших параметрів гри є дуже об'ємним та складним процесом. Кожен гравець є індивідуальним та точно вгадати наскільки гра буде складною для кожного окремо досить важко. Тому замість того щоб створювати конкретні набори рівнів складності пропонується створити одну певну систему з використанням оптимізаційного алгоритму для забезпечення стабільного ігрового процесу [1, 2].

Для динамічного налаштування складності гри зазвичай використовується певна функція складності, що на основі певних характеристик визначає поточну складність гри для гравця. Основними характеристиками, що використовуються для розрахунків складності, зазвичай є:

- Кількість поразок гравця;
- Кількість успішних атак гравця;
- Поточна кількість здоров'я ігрового персонажа;

Далі за допомогою певних методів та алгоритмів відбуваються зміни в ігровому процесі для наближення до потрібного рівня складності. Це досягається різними методами, зокрема збільшення кількості зброї та інших корисних предметів для користувача, зміна ландшафту світу для покращення становища гравця, зміна характеристик гравця, наприклад збільшення сили атаки або покращення регенерації очок здоров'я. Також виконується коригування характеристик ворожих персонажів чи підбір супротивників, які більше підходять за рівнем.

Для досягнення необхідної складності використовують різні алгоритми та методи, зокрема навчання з підкріпленням, генетичні алгоритми, штучний інтелект але в більш простих випадках достатньо використовувати математичний метод оптимізації, що дасть змогу змінити параметри які впливають на складність гри, зокрема ті що враховуються у функції складності[3].

Провівши аналіз інформації яка стосується наявних методів динамічного регулювання складності було обрано математичний метод оптимізації – метод градієнтного спуску. Простота реалізації методу а також можливість застосувати його для функції складності гри робить цей метод одним з кращих варіантів для вирішення задачі.

Наявна задача вимагає оптимізації рішення певної функції складності що містить як параметри певні характеристики ігрового процесу, зокрема:

- Кількість одиниць здоров'я ігрового персонажа;
- Кількість одиниць атаки ігрового персонажа;
- Кількість одиниць захисту ігрового персонажа;

А також характеристики для ворожого персонажа.

Далі відбувається розрахунок функції поточної складності.

Якщо значення складності не є оптимальним, тобто вище або нижче за необхідний рівень, розраховується градієнт що визначає в якому напрямку

необхідно змінювати характеристики що дозволить наблизити значення функції складності до оптимального.

Під час проведення дослідження було розглянуто питання динамічної зміни складності у відеоіграх. Було сформульовано проблему та розглянуто конкретні варіанти вирішення цієї проблеми.

Було проведено аналіз наявної літератури та визначено основні теоретичні аспекти дослідження, зокрема основні методи динамічної зміни складності у відеоіграх.

Результатом дослідження стало вибір градієнтного методу для вирішення наявної конкретної задачі з оптимізації у вигляді функції складності. Реалізація алгоритму методу дає змогу реалізувати динамічне регулювання складності.

Література

1. *Рівні складності(відеоігри)* - Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%96_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96_\(%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%B3%D1%80%D0%B8\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%96_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96_(%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%B3%D1%80%D0%B8))
2. *Game Balance* - Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Game_balance
3. *Dynamic game difficulty balancing* - Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_game_difficulty_balancing

Моделювання системи математичного забезпечення для автоматизації робочого місця продавця книгарні

Кравченко В. І., Шаля А.Р.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасний розвиток роздрібної торгівлі супроводжується активним впровадженням інформаційних технологій, які дозволяють не лише оптимізувати основні бізнес-процеси, але й суттєво підвищити якість обслуговування клієнтів та ефективність управління торговою діяльністю. Однією з важливих галузей роздрібної торгівлі є продаж книжок та канцтоварів, де особливу роль відіграє точність обліку номенклатури, оперативність обробки замовлень, гнучкість у роботі з клієнтами та якісна аналітика продажів. Велика

кількість товарних позицій, часті зміни асортименту, необхідність обліку залишків і формування звітності вимагають застосування програмних рішень, які забезпечують повну автоматизацію робочого місця менеджера магазину.

Актуальність розробки програмного забезпечення для автоматизованого робочого місця менеджера магазину книжок та канцтоварів зумовлена потребою малого та середнього бізнесу у простих, доступних, але в той же час функціонально насичених рішеннях.

Метою цієї роботи є вдосконалення облікової сторони роботи продавця шляхом дослідження та моделювання системи математичного забезпечення бізнес-діяльності менеджера (продавця-консультанта) книгарні.

Задачі роботи

- вивчення і аналіз службових інструкцій продавця, вхідних і вихідних облікових документів, якими він користується;
- розробка математичної моделі.

Виконуючі свої службові обов'язки продавець веде: облік товарів; розрахунок виручки; знижок; прибутку; залишків та бонусних нарахувань. Основні параметри моделі: P_i – ціна одиниці товару i , грн; Q_i – кількість проданих одиниць товару i ; D_i – знижка на одиницю товару i , у частках; B_c – бонусна знижка для клієнта c , у гривнях; R_i – виручка від продажу товару i без знижок; R_i^* – фактична виручка з урахуванням знижок; C_i – собівартість одиниці товару i , грн; G_i – прибуток від продажу товару i .

Виручка без знижок визначається як добуток кількості проданих товарів на їх ціну розраховується за формулою 1.

$$R_i = P_i * Q_i \quad (1)$$

З урахуванням індивідуальних знижок на товар та бонусів клієнта розраховується за формулами 2 та 3.

$$R_i^* = (P_i * (1 - D_i)) * Q_i \quad (2)$$

$$R_{total}^* = \sum_{i=1}^n R_i^* - B_c \quad (3)$$

Прибуток від продажу кожної позиції визначається як різниця між фактичною виручкою та собівартістю розраховується за формулою 4.

$$G_i = (P_i * (1 - D_i) - C_i) * Q_i \quad (4)$$

Загальний прибуток за продаж розраховується за формулою 5.

$$G_{total} = \sum_{i=1}^n G_i - B_c \quad (5)$$

Після кожного продажу залишок товару i оновлюється за формулою 6.

$$S_i^{new} = S_i^{old} - Q_i \quad (6)$$

При бажанні, можна реалізувати бонусну програму для клієнтів (формула 7).

$$B_{add} = \alpha * R_i^* \quad (7)$$

де α – коефіцієнт бонусного нарахування (наприклад, $0.02 = 2\%$ бонусу від покупки).

Бонуси додаються до рахунку клієнта для використання в майбутніх покупках.

Таким чином вивчення і аналіз службових інструкцій продавця дозволило створити математичну модель його бізнес процесу, що тільки за рахунок підвищення точності обчислень підніме на новий рівень усю систему роздрібної торгівлі книжковою продукцією.

Подальший напрямок досліджень – створення відповідного програмного забезпечення.

Література

1. РОБОЧА ІНСТРУКЦІЯ продавця-консультанта (код КП — 5220). URL: <https://profpressa.com/instructions/prodavets-konsultant>

Формування напрямів забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємства

Єлецьких С. Я., Чернишова Д. В., Хорошавцев Д. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасний етап розвитку економіки характеризується високим рівнем невизначеності, динамічністю ринкових процесів, посиленням конкуренції та впливом глобальних кризових явищ. В умовах економічної нестабільності країни підприємствам необхідно вижити та прагнути забезпечити ефективне функціонування. Забезпечення фінансової стійкості є першочерговим завданням підприємства та передумовою його розвитку, оскільки саме цей показник є визначальним фактором залучення інвестиційних потоків, фінансової безпеки та конкурентоспроможності на ринку. В умовах воєнних викликів, інфляційних процесів та трансформації економічних зв'язків питання забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємств набуває особливої актуальності.

Фінансово-економічна стійкість є ключовою передумовою стабільного функціонування підприємства, його інвестиційної привабливості та здатності протидіяти кризовим явищам. Водночас недостатній рівень адаптивності підприємств до змін зовнішнього середовища часто призводить до втрати платоспроможності та фінансової рівноваги.

У наукових роботах фінансова стійкість розглядається як здатність підприємства забезпечувати рівновагу між активами та пасивами, підтримувати платоспроможність і ефективно функціонувати в довгостроковій перспективі [1–3]. Водночас сучасні дослідження доповнюють це поняття категорією фінансової безпеки та ризик-орієнтованого управління [4].

Однак, попри значну кількість досліджень, питання формування комплексної системи забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємства залишається недостатньо розробленим.

Метою статті є обґрунтування теоретичних засад та розробка практичних напрямів забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємства в сучасних умовах господарювання.

Фінансово-економічна стійкість підприємства є інтегральною характеристикою його діяльності, що відображає здатність ефективно функціонувати, зберігати платоспроможність і забезпечувати розвиток в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх факторів [5–6].

У широкому розумінні фінансова стійкість передбачає: стабільність фінансових потоків; оптимальну структуру капіталу; здатність генерувати прибуток; забезпечення фінансової рівноваги.

Водночас економічна складова включає: ефективність використання ресурсів, конкурентоспроможність та адаптивність до змін середовища.

Таким чином, фінансово-економічна стійкість формується як результат взаємодії фінансових, виробничих та управлінських процесів.

Фактори впливу на фінансово-економічну стійкість підприємства доцільно поділити на дві групи [7-8]:

По-перше, внутрішні фактори, до яких слід віднести: структура активів і капіталу; рівень витрат і доходів; ефективність управління фінансовими ресурсами; якість фінансового планування; рівень інноваційності підприємства.

По-друге, зовнішні фактори, а саме: макроекономічна ситуація; податкова та кредитна політика; рівень конкуренції; інфляційні процеси; політична та соціальна нестабільність.

Вплив цих факторів визначає рівень ризиків і потребує формування адаптивної системи управління.

Оцінювання фінансово-економічної стійкості здійснюється на основі системи показників, що включають: **показники ліквідності** (коефіцієнт поточної ліквідності, швидкої ліквідності); **показники фінансової незалежності** (коефіцієнт автономії); **показники ділової активності** (оборотність активів); **показники рентабельності** [8-10].

Комплексна оцінка дозволяє визначити рівень стійкості підприємства та виявити слабкі місця у його діяльності.

Виходячи із вищевикладеного, можна рекомендувати такі напрями забезпечення фінансово-економічної стійкості підприємства [7–10] :

- **оптимізація структури капіталу:** раціональне співвідношення власного і позикового капіталу забезпечує фінансову незалежність підприємства та знижує ризики банкрутства. Важливим є визначення оптимального рівня фінансового левериджу.

- **управління ліквідністю та платоспроможністю:** ефективне управління оборотними активами дозволяє забезпечити своєчасне виконання зобов'язань. До основних заходів належать: оптимізація запасів; управління дебіторською заборгованістю; планування грошових потоків.

- **підвищення ефективності використання ресурсів:** запровадження сучасних методів фінансового менеджменту, контролінгу та бюджетування сприяє підвищенню ефективності діяльності підприємства.

- **формування системи фінансової безпеки.** Фінансова безпека є складовою фінансово-економічної стійкості та передбачає: ідентифікацію ризиків; розробку заходів їх мінімізації; створення системи внутрішнього контролю.

- **стратегічне планування та прогнозування.** Стратегічне управління забезпечує довгострокову стабільність підприємства. Важливим є використання сценарного аналізу та прогнозування фінансових показників.

Сучасні тенденції розвитку підприємств передбачають використання цифрових технологій та інструментів штучного інтелекту для: автоматизації фінансового аналізу; прогнозування ризиків; оптимізації управлінських рішень. Цифровізація сприяє підвищенню прозорості фінансових процесів та оперативності прийняття рішень.

Таким чином, фінансово-економічна стійкість підприємства є ключовою умовою його ефективного функціонування та розвитку в сучасних умовах. Її забезпечення потребує комплексного підходу, що включає оцінювання

фінансового стану, управління ризиками, оптимізацію ресурсів та стратегічне планування. З метою забезпечення фінансової стійкості підприємства необхідно сформувані чіткі механізми протидії негативним чинникам зовнішнього та внутрішнього середовища, які забезпечують фінансову безпеку, розвиток стратегічного потенціалу та платоспроможності підприємства. У процесі управління фінансовою стійкістю доцільно застосовувати такі методи, як планування, оцінка та прогнозування. При цьому мають бути збалансовані активи і пасиви, доходи і витрати, а також всі грошові потоки. Дана оптимізація структури фінансових ресурсів забезпечує довгострокову ефективність використання наявних та потенційних ресурсів.

Запропоновані напрями забезпечення фінансово-економічної стійкості дозволяють підвищити адаптивність підприємства до змін зовнішнього середовища, зміцнити його фінансову безпеку та забезпечити сталий розвиток.

Література

1. Базилінська О. Я. *Фінансовий аналіз: теорія та практика: Навчально-методичний посібник*. К.: 2009. 328 с.
2. Сімах Ю. А. Визначення поняття конкурентостійкості підприємства. *Вісник Міжнародного слов'янського університету. Серія «Економічні науки»*. 2007. Т. X. №1. С. 12–16.
3. Бугай В. 3. Омельченко В. М. Аналіз та оцінка фінансової стійкості підприємства. *Держава та регіони*. 2008. №1. С. 34–39.
4. Василенко А. В. *Менеджмент стійкого розвитку підприємства: [монографія]*. К.: Центр навч. літератури, 2015. 648 с.
5. Іванов В. Л., Малов В. А. Забезпечення організаційно-економічної стійкості промислового підприємства. *Економіка. Менеджмент. Підприємство*. 2010. № 22. С. 32–39.
6. Ареф'єва О. В. Економічна стійкість підприємства: сутність, складові та заходи з її забезпечення. *Актуальні проблеми економіки*. 2008. № 8. С. 83–90.
7. Цал-Цалко Ю. С. *Фінансовий аналіз*. К., 2008. 345 с.
8. Базилінська О. Я. *Фінансовий аналіз теорія і практика*. К., 2011. С. 107-117.
9. Мамонтова Н. А. *Фінансова стійкість акціонерних підприємств і методи її забезпечення (на прикладі підприємств харчової промисловості): автореф. дис. канд. екон. наук*; Інститут економічного прогнозування НАН України. Київ, 2001. 17 с.
10. Мартиненко, В. П. Антикризове управління суб'єктами промисловості / В. П. Мартиненко. *Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України*. Т. 9: Збірник наукових праць. Наукове видання. Суми: Мрія – 1 ЛТД; УАБС, 2004. 374 с.

Забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єкта підприємницької діяльності на підставі аналізу показників його діяльності

Єлецьких С. Я., Хорошавцев Д. В., Чернишова Д. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Функціонування суб'єктів підприємницької діяльності в умовах посилення макроекономічної нестабільності, трансформаційних змін та високого рівня невизначеності супроводжується зростанням кількості ризиків і загроз фінансово-економічного характеру. У таких умовах особливого значення набуває формування ефективної системи забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємства, яка ґрунтується на своєчасній діагностиці його фінансового стану [1, 4].

Ключовим інструментом забезпечення фінансово-економічної безпеки є системний аналіз показників фінансово-господарської діяльності, що дозволяє не лише оцінити поточний стан підприємства, але й прогнозувати тенденції його розвитку [2, 6].

Теоретичні та прикладні аспекти фінансового аналізу та забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємств знайшли відображення у працях вітчизняних і зарубіжних учених. Зокрема, методичні засади оцінювання фінансового стану підприємства досліджено у працях І. О. Бланка [1], О.О. Терещенка [2], А. М. Поддєрьогіна [3]. Значний внесок у розвиток моделей прогнозування банкрутства здійснив Е. Альтман [8], а питання оцінювання вартості та фінансових рішень досліджено А. Дамодараном [9].

Разом із тим, питання інтеграції системи фінансових показників у механізм забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємства вимагають подальшого наукового обґрунтування.

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методичних підходів до забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єкта підприємницької діяльності на основі аналізу системи показників його діяльності.

Фінансово-економічна безпека підприємства – це здатність підприємства витримувати економічні та фінансові випробування без серйозних порушень

в його діяльності або загрози його існуванню. Це означає, що підприємство має достатні ресурси для вирішення поточних фінансових зобов'язань, здатність витримувати коливання на ринку, забезпечувати стабільний рівень прибутку та здатність виконувати свої функції в умовах нестабільності. Фінансово-економічна безпека є комплексною категорією та відображається в здатності підприємства відновлювати свою фінансову позицію після негативних впливів та забезпечувати довгострокову стійкість у фінансовій діяльності. Фінансово-економічна безпека підприємства передбачає зовнішні та внутрішні аспекти, які спільно визначають його здатність витримувати економічні труднощі та зберігати стабільність. До зовнішніх аспектів фінансової безпеки підприємства відносяться: економічне середовище в країні або регіоні, в якому діє підприємство; наявність конкурентів і рівень конкуренції у відповідній галузі; стан фінансового ринку. До внутрішніх аспектів фінансової безпеки підприємства відносяться: фінансовий стан підприємства; управління ризиками; ефективність управління підприємством. Отже, зовнішні та внутрішні аспекти фінансової стійкості підприємства взаємопов'язані і взаємозалежні. Ефективне управління обома аспектами є ключем до досягнення стійкого фінансового стану підприємства.

Фінансово-економічна безпека підприємства розглядається як інтегральна характеристика його фінансового стану, що відображає рівень захищеності фінансових інтересів і здатність до стабільного функціонування в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх загроз [2, 5].

Оцінювання рівня фінансово-економічної безпеки доцільно здійснювати на основі системи взаємопов'язаних показників, які характеризують різні аспекти діяльності підприємства.

Показники ліквідності та платоспроможності визначають здатність підприємства виконувати свої короткострокові зобов'язання та є важливими індикаторами його фінансової надійності [4]. Недостатній рівень ліквідності може свідчити про загрозу втрати платоспроможності та виникнення кризових явищ.

Показники фінансової стійкості відображають структуру джерел фінансування підприємства та рівень його фінансової незалежності. Зростання залежності від позикового капіталу підвищує фінансові ризики та знижує рівень безпеки [1, 3].

Показники ділової активності характеризують ефективність використання ресурсів підприємства. Зниження оборотності активів або збільшення тривалості операційного циклу свідчить про погіршення управління активами [4].

Показники рентабельності узагальнюють результати діяльності підприємства та визначають ефективність використання його ресурсного потенціалу [8]. Їх зниження є сигналом до необхідності перегляду фінансової та операційної політики.

Для комплексної оцінки фінансово-економічної безпеки підприємства доцільно застосовувати індикаторний, інтегральний та ризик-орієнтований підходи. Індикаторний підхід базується на зіставленні фактичних значень показників із нормативними або критичними межами [6]. Інтегральний підхід передбачає формування узагальнюючого показника, що дозволяє оцінити загальний рівень безпеки підприємства. Ризик-орієнтований підхід спрямований на ідентифікацію та оцінювання ключових фінансових ризиків [7-8].

Важливим напрямом підвищення ефективності забезпечення фінансово-економічної безпеки є впровадження сучасних цифрових технологій та аналітичних систем, які забезпечують оперативний моніторинг показників діяльності підприємства та підтримку управлінських рішень [9–11].

Отже, забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єкта підприємницької діяльності є складним багатofакторним процесом, що ґрунтується на системному аналізі показників його діяльності. Використання комплексного підходу до оцінювання фінансового стану дозволяє своєчасно виявляти загрози, мінімізувати ризики та забезпечувати стійкий розвиток підприємства [1, 2, 4].

Загалом, забезпечення фінансової стійкості підприємства в умовах економічної нестабільності вимагає комплексного підходу та постійного

моніторингу його фінансового стану. Ефективне управління ризиками, диверсифікація джерел фінансування і систематичний аналіз фінансових показників є ключовими складовими успішного фінансового управління в умовах невпевненості економічного середовища.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою інтегрованих моделей оцінювання фінансово-економічної безпеки із використанням економіко-математичних методів та технологій штучного інтелекту.

Література

1. Бланк І. О. Фінансовий менеджмент. К. : Ніка-Центр, 2018.
2. Терещенко О. О. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання. К.: КНЕУ, 2018.
3. Поддєрьогін А. М. Фінанси підприємств. К. : КНЕУ, 2020.
4. Ізюмська В., Нікульшина А. Управління фінансовою стійкістю підприємства. *Економіка та суспільство*. 2021. № 34.
URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/993/952>.
5. Партин Г., Папірник С. Забезпечення фінансової стійкості підприємства за умов нестабільності середовища функціонування. *Mechanism of an Economic Regulation*. 2022. № 3-4 (97-98). С. 129-135.
6. Крюкова І. О., Тохтамиш Н. І., Кухар О. В. Диверсифікація як стратегія забезпечення безпеки бізнес-суб'єктів аграрного сектору. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2023. Том 8. № 4. С. 335–339.
7. Kovalev V.V. *Financial Analysis: Methods and Procedures*. Moscow, 2017.
8. Altman E. *Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy*. *Journal of Finance*. 1968.
9. Damodaran A. *Applied Corporate Finance*. Wiley, 2015.
10. OECD. *Corporate Governance and Financial Stability*. Paris, 2020.
11. Porter M. E. *Competitive Advantage*. New York: Free Press, 2008.

Характеристика наслідків впливу економічної нестабільності на фінансову стійкість підприємства

Єлецьких С. Я., Санжаревська О. С.

Донбаська державна машинобудівна академія

Економічна нестабільність є невід'ємною частиною сучасного бізнес-середовища. Підприємства зіштовхуються з різними викликами, такими як коливання валютних курсів, зміни в рівні інфляції, політичні кризи та інші фактори, які можуть негативно впливати на їх фінансовий стан. Це обумовлює необхідність розробки та впровадження ефективних механізмів і підходів

до управління фінансами підприємств для забезпечення їх конкурентоспроможності та сталого розвитку. Метою даного дослідження є визначення напрямів забезпечення фінансової стійкості підприємства в умовах економічної нестабільності. Дану тематику досліджували багато вчених, зокрема В. Ізюмська, А. Нікульшина [1], Г. Партин, С. Папірник [2], І. Крюкова, Н. Тохтамиш, О. Кухар [3], В. Канунникова, Т. Полозова [4] та інші.

Фінансова стійкість підприємства передбачає зовнішні та внутрішні аспекти, які спільно визначають його здатність витримувати економічні труднощі та зберігати стабільність.

До зовнішніх аспектів фінансової стійкості підприємства відносяться: економічне середовище в країні або регіоні, в якому діє підприємство; наявність конкурентів і рівень конкуренції у відповідній галузі; стан фінансового ринку.

До внутрішніх аспектів фінансової стійкості підприємства відносяться: фінансовий стан підприємства; управління ризиками; ефективність управління підприємством.

Отже, зовнішні та внутрішні аспекти фінансової стійкості підприємства взаємопов'язані і взаємозалежні. Ефективне управління обома аспектами є ключем до досягнення стійкого фінансового стану підприємства. Економічна нестабільність має значний вплив на фінансову стійкість підприємства, що виражається у різних аспектах і наслідках (таблиця 1).

З метою мінімізації негативного впливу факторів економічної нестабільності у даному дослідженні запропоновано основні напрями забезпечення фінансової стійкості підприємства [1–4]:

1. Фінансове планування і контроль. Умови економічної нестабільності підкреслюють важливість ефективного фінансового планування і контролю. Підприємство повинно мати ретельно розроблений фінансовий план, що враховує можливі ризики і непередбачувані обставини. Моніторинг виконання цього плану дозволяє вчасно виявляти відхилення і приймати необхідні заходи

Таблиця 1 – Характеристика наслідків впливу економічної нестабільності на фінансову стійкість підприємства [1–4]

Напрямок економічної нестабільності	Характеристика наслідків впливу економічної нестабільності на фінансову стійкість підприємства
Збільшення ризику впливу зовнішніх та внутрішніх факторів	Може призвести до зростання фінансового ризику для підприємства. Непередбачувані зміни в економіці, валютних курсах, процентних ставках та інших факторах можуть створити небезпеку для фінансових показників підприємства
Падіння прибутковості	Може призвести до зниження рівня платоспроможного попиту, що може вплинути на обсяги продажів та прибутковість підприємства. Споживачі та бізнес-клієнти можуть скоротити свої витрати в умовах економічної нестабільності
Обмеження доступу до фінансування	Може призвести до ускладнення отримання кредитів та залучення інвестицій. Фінансові інституції можуть стати більш консервативними та обережними при видачі позик, що може ускладнити фінансову ситуацію підприємства
Збільшення витрат на управління ризиками	Вимагає від підприємства активного управління ризиками. Це може включати в себе впровадження додаткових заходів безпеки, зменшення експозиції до ризикованих активів та розвиток стратегій управління кризовими ситуаціями
Зменшення довіри споживачів і інвесторів	Може призвести до збільшення невизначеності та зниження довіри споживачів та інвесторів. Це може вплинути на репутацію підприємства і викликати негативні наслідки для його фінансового стану

2. Диверсифікація джерел фінансування. Залежність від одного або декількох джерел може створювати значні ризики в умовах економічних коливань. Широкий спектр джерел фінансування, таких як банківські кредити, емісія акцій, облігації або власні кошти, дозволяє підприємству зменшити вплив будь-яких негативних факторів.

3. Ефективне управління оборотними активами. В умовах економічної нестабільності ефективне управління оборотними активами є ключовим фактором забезпечення фінансової стійкості підприємства. Мінімізація запасів, оптимізація умов оплати постачальникам і управління потоками готівки дозволяють підприємствам зменшити ризики, пов'язані з низькою ліквідністю.

4. Резервування та страхування. Створення фінансових резервів і використання страхових продуктів є важливими інструментами забезпечення фінансової стійкості. Резервні фонди дозволяють покрити непередбачені витрати або зберегти ліквідність в умовах кризових ситуацій. Страхування може захистити підприємство від фінансових втрат, пов'язаних з різними ризиками, включаючи природні катастрофи, стихійні лиха або ризики виробництва.

5. Аналіз і прогнозування ризиків. Проведення систематичного аналізу ризиків і розробка стратегій їх управління є необхідним етапом у забезпеченні фінансової стійкості. Це дозволяє підприємству адекватно оцінювати можливі негативні наслідки економічних та фінансових загроз і вчасно реагувати на них.

Таким чином, забезпечення фінансової стійкості підприємства в умовах економічної нестабільності вимагає комплексного підходу та постійного моніторингу його фінансового стану.

Ефективне управління ризиками, диверсифікація джерел фінансування і систематичний аналіз фінансових показників є ключовими складовими успішного фінансового управління в умовах невпевненості економічного середовища

Література

1. Ізюмська В., Нікульшина А. Управління фінансовою стійкістю підприємства. *Економіка та суспільство*. 2021. № 34. URL: <https://economvandsocietv.in.ua/index.php/journal/article/view/993/952>
2. Партин Г., Папірник С. Забезпечення фінансової стійкості підприємства за умов нестабільності середовища функціонування. *Mechanism o f an Economic Regulation*. 2022. № 3-4 (97-98). С. 129–135.
3. Крюкова І.О., Тохтамиш Н.І., Кухар О.В. Диверсифікація як стратегія забезпечення безпеки бізнес-суб'єктів аграрного сектору. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2023. Том 8. № 4. С. 335–339.
4. Канунникова В. М., Полозова Т. В. Моніторинг фінансового стану підприємства. *Бъдетище исследование – 2012: материалы за 8-а международна научна практична конференция, 17-25 февруари 2012. София: БялГРАД-БГ, 2012. Т. 7: Икономики. С. 10–13.*

Заходи антикризового управління на основі розробки стратегії забезпечення фінансової безпеки суб'єкта підприємницької діяльності

Єлецьких С. Я., Масібрда В. С.

Донбаська державна машинобудівна академія

На сучасному етапі розвитку економіки в умовах подолання наслідків фінансово-економічної кризи питання фінансової безпеки підприємства набуває актуальності. Оскільки сектор підприємств знаходиться в скрутному становищі і є слабо захищеним від впливу зовнішніх та внутрішніх загроз, то питання розробки стратегії фінансової безпеки промислових підприємств країни є актуальним на даний час. Гарантування захищеності економічних інтересів країни буде можливим лише за умов забезпечення належного рівня фінансової безпеки вітчизняних промислових підприємств [1–3].

Для підвищення рівня фінансової безпеки на підприємстві, необхідна розробка її стратегії.

На нашу думку при розробці стратегії забезпечення фінансової безпеки підприємства необхідно враховувати певну кількість різноманітних та взаємопов'язаних між собою факторів. У зв'язку з цим виникає проблема створення методичних рекомендацій щодо розробки стратегії забезпечення фінансової безпеки підприємства [4–7].

На першому етапі визначаються місія та довгострокова мета щодо забезпечення фінансової безпеки підприємства.

Другий етап включає процедури встановлення загальних і стратегічних цілей фінансової безпеки підприємства. Цілі повинні бути конкретними, визначені в часі, мати кількісне або якісне вираження, і поставлені перед кожним структурним підрозділом підприємства. Якщо для якихось підрозділів не вдається сформулювати конкретні цілі, що відповідають загальним цілям підприємства, необхідно порушувати питання щодо доцільності функціонування цього підрозділу.

Третій етап – аналіз зовнішнього середовища. До основних питань, на яких необхідно зосередити увагу відносяться виявлення факторів зовнішнього

середовища, що впливають на фінансову безпеку підприємства, динаміку таких факторів та визначення можливих напрямів впливу зовнішнього середовища на досягнення загальних цілей підприємства щодо забезпечення фінансової безпеки.

На четвертому етапі стратегії забезпечення фінансової безпеки проводиться аналіз наявного стану фінансової безпеки на підприємстві, та можливість досягнення загальних поставлених цілей. Значення цих параметрів беруться з бази даних системи поточного управління підприємством.

На п'ятому етапі проводиться діагностика, тобто проводиться порівняння фактичних значень факторів, що впливають на фінансову безпеку, з запланованими.

Якщо фактичні та заплановані показники факторів не співпадають, то необхідно провести оцінку прогнозування та формування сценаріїв забезпечення фінансової безпеки на підприємстві, яка виконується на шостому етапі стратегічного планування.

На сьомому етапі проводиться визначення необхідності управління фінансовою безпекою на підприємстві.

На восьмому етапі здійснюється перевірка відповідності розвитку ситуації бажаному напрямку. Якщо він іде в іншому напрямку, то необхідно управління ситуацією.

Дев'ятий етап передбачає вибір варіанта управлінських дій, які визначаються завдання управління. Після здійснення всіх попередніх етапів на одинадцятому здійснюється вибір стратегії забезпечення фінансової безпеки підприємства.

Останнім етапом стратегічного планування є розробка стратегічного плану і програм його реалізації, аналіз оперативної інформації про об'єкт спостереження. Таке стратегічне планування має забезпечити якнайвищий рівень фінансової безпеки на підприємстві.

На основі проведеного аналізу виявлено, що необхідною умовою успішного функціонування підприємства є постійна розробка методів адаптації

фінансової стратегії підприємств до умов зовнішнього середовища, яке є несприятливим в теперішній час для покращення фінансової безпеки підприємств. Керівництву підприємства за допомогою методів фінансового аналізу необхідно виявляти слабкі сторони в управлінні фінансовою безпекою підприємств, та розробляти стратегію з урахуванням методів їх усунення.

Література

1. Ареф'єв В. О. Стратегія забезпечення фінансової безпеки підприємства як запорука його ефективного та стабільного функціонування. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2010. № 29. С. 65–68.
2. Ганущак Т. В. Умови забезпечення фінансової безпеки підприємств. Наука й економіка. 2009. №1(13). С. 7–13.
3. Демченко І. В. Стратегічне управління фінансовою безпекою суб'єкта господарювання. URL: <http://www.nbuv.gov.ua>
4. Єрмошенко М. М., Горячева К. С., Ашуєв А. М. Економічні та організаційні засади забезпечення фінансової безпеки підприємства: Препринт наукової доповіді / За наук. Ред. Д-ра екон. наук, проф. М. М. Єрмошенка. – К. : Національна академія управління, 2005. 78 с.
5. Комарницький І. М., Франів І. А., Комарницький Б. М. Сутність та шляхи забезпечення фінансової безпеки держави. Науковий вісник Національного університету ДПС України (економіка, право). 2010. 2(49). С. 22–28.
6. Кульпінський С. Роль фінансової безпеки України в поглибленні інтеграційних стосунків з європейськими краї [Текст] . Фінансова консультація. 2000. № 5. С. 34–38.
7. Лепейко Т. І., Миронова О. М. Методологічний підхід до антикризового менеджменту машинобудівного підприємства. Економіка розвитку. № 4(40). 2006. С. 49–52.
8. Мартиненко М. М., Ігнатієва І. А. Стратегічний менеджмент : підручник для студентів вузів. К. : Каравела, 2006. 319 с.

Моделювання системи математичного забезпечення менеджера з формування програм передач радіостанції

Кравченко В. І., Мясніков Р. І.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні радіостанції – це складний комплекс, що включає співробітників радіостанції, апаратно-програмний комплекс для підготовки і проведення радіомовлення для різних аудиторій слухачів, кореспондентів і зовнішніх джерел інформаційних, рекламних, розважальних матеріалів. Технологічний процес підготовки матеріалів і видачі їх в ефір є складним, у ньому задіяна велика кількість виконавців, великі обсяги матеріалів, що переробляються, у різних форматах зберігання (текстовому, рукописному, звуковому, відео, у вигляді

статичних зображень). Ці матеріали надходять із різних джерел, мають, як було сказано вище, різний характер, перебувають у різному стані з погляду їхньої якості. Впровадження інформаційних систем у сфері радіомовлення (звукового мовлення) повністю відповідає сучасним умовам цифровізації та автоматизації бізнес-процесів. Радіостанції повсякчасно передають в ефір багато різноманітної інформації, причому, щоб не втратити актуальність матеріалу, його потрібно готувати швидко та якісно. Таким чином виникає потреба в ефективній організації роботи радіоменеджера, що не можливо без застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Ця обставина і обумовлює актуальність справжньої роботи в цілому.

Метою цієї роботи є вдосконалення прогнозування тривалості майбутніх передач для ефективного планування мовлення на основі тенденції, виявлених у минулому ефірі.

Задачі роботи:

- розробка математичної моделі;
- розрахунок чисельності слухачів радіопрограм радіостанції.

Модель заснована на рівнянні лінійної регресії [1]:

$$y = mx + c, \quad (1)$$

де: y – прогнозована тривалість передачі (хвилини); x – час (у днях від початку спостережень); m – кутовий коефіцієнт (тренд); c – початкове значення.

Алгоритм реалізації.

Підготовка даних.

Кроки обчислення:

1.Отримуємо історичні дані: дати (`decision_date`) та тривалість передач (`total_duration`).

2.Перетворюємо дати в кількість днів відносно початкової дати – (python): `base_date = min(dates); days = [(d - base_date).days for d in dates]`.

Обчислення коефіцієнтів.

Використовуємо метод найменших квадратів для знаходження m та c (python). `A = np.vstack([days, np.ones(len(days))])`. Т. `m, c = np.linalg.lstsq(A, durations, rcond=None)[0]`

Прогнозування:

Для прогнозу на n днів вперед – (python): $\text{future_day} = \max(\text{days}) + n$
 $\text{forecast} = m * \text{future_day} + c$

Інтерпретація результатів.

Коефіцієнт m (тренд):

- $m > 0$ - тривалість передач зростає з часом;
- $m < 0$ - тривалість передач зменшується;

Величина показує швидкість зміни (хв/день).

Коефіцієнт c :

- Початкове значення тривалості на момент base_date

Обмеження моделі:

1. Лінійне припущення: модель працює найкраще, коли тенденція є лінійною.
2. Чутливість до викидів: екстремальні значення можуть спотворити прогноз.
3. Мінімальна кількість даних: потрібно щонайменше 3 точки для побудови моделі.

При розробці математичної моделі обліку слухачів зручно мати справу з математичними моделями – орієнтованими графами [2]. У цих моделях ефірні слухачі та абонентські пункти $A; B; C; D; \dots; K, \dots$, взяті за крапки, створюють безліч вузлів графа, а зв'язок між ними - лінії $AB, BC, AEK, \dots$, - його ребра (рис. 1). Вузол A задає початок (саму радіостанцію), а вузли C, K (слухачі ефіру, абонентські пункти – ап.) – кінець маршрутів. Кількість слухачів або абонентських пунктів (вага ребра) задається цілим числом, записаним зверху. Тоді математичну модель представимо у вигляді навантаженого графа, довжина гілки L , якого, розраховується за формулою (2).

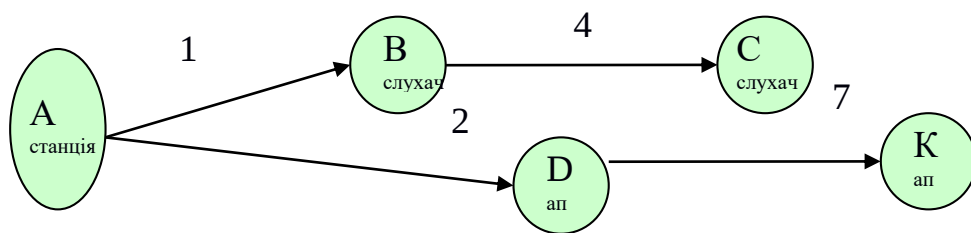


Рисунок 1– Мультиграф для обліку числа слухачів радіостанції

$$L = \sum e_i p_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

де: m – кількість вузлів.

Інтерпретувавши отримане рішення з графа на вузли передаючої радіостанції, знайдемо як максимальну кількість слухачів та абонентських пунктів, так і кількість абонентів по кожній із гілок графа. Тоді загальна довжина графа становитиме:

$$L = L_{AC} + L_{AK} = 5 + 9 = 14. \quad (3)$$

Отже, максимальна кількість ефірних слухачів та абонентських пунктів, слухаючих передачі даного радіоцентру складе 14 одиниць. Такій підхід дозволяє рахувати слухачів у будь-якому звітному періоді (місяць, рік).

Таким чином вивчення і аналіз службових інструкцій менеджера з формування радіопрограм дозволило створити математичну модель його бізнес-процесу, що тільки за рахунок підвищення пунктуальності ефірних передач підніме на новий рівень усю систему радіомовлення.

Подальший напрямок досліджень – створення відповідного програмного забезпечення.

Література

1. Білик Г. Б. Чисельні методи в інформації / Г. Б. Білик, О. В. Веремій, В. І. Кравченко. Краматорськ, ДДМА, 2006. 112 с.
2. Следзінський І. Ф. Основи вимірювання та кодування інформації [Текст] : навчально-методичний посібник : у 2 ч. Ч. 2 : Основи теорії кодування інформації / І. Ф. Следзінський. Тернопіль : ТНПУ, 2007. 60 с.

Автоматизація розробки web-додатку тайм-трекера програміста

Кравченко В. І., Гуревич І. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Актуальність створення web-додатку тайм-трекера обумовлена сучасними тенденціями до цифровізації робочих процесів і зростаючими вимогами до ефективного управління часом та продуктивністю. В умовах постійної зміни пріоритетів, дедлайнів і зростання кількості паралельних завдань стає важливим мати інструмент, який дозволяє в реальному часі контролювати виконання роботи, оцінювати навантаження кожного учасника команди та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Особливо це критично для організацій, де проектна діяльність є основною формою роботи, і результат залежить не тільки від загального обсягу виконаного, а й від здатності вчасно реагувати на затримки чи неефективні етапи. Розроблюваний додаток дозволяє користувачу бачити не лише факт виконання завдань, але й аналізувати, скільки часу витрачено, яка динаміка прогресу, які задачі споживають найбільше ресурсів. Це створює додану користь для менеджменту, аналітиків і самих виконавців, оскільки формує прозору картину діяльності, сприяє підвищенню відповідальності та оптимізації процесів. У сучасному конкурентному середовищі наявність такого інструменту є не розкішшю, а необхідністю для організацій, які прагнуть системно підвищувати продуктивність і ефективно управляти ресурсами, що не можливо без застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Ця обставина і обумовлює актуальність справжньої роботи в цілому.

Метою розробки модуля відображення статистики ІТ-проекту для окремого користувача є створення зручного інструменту, який дозволяє кожному користувачу переглядати детальну інформацію про власні робочі сесії, пов'язані з виконанням завдань у межах ІТ-проекту, для сприяння самоконтролю, підвищенню відповідальності та ефективності виконання ІТ-завдань.

Об'єктом дослідження є процес управління виконанням ІТ-проектних завдань у командній роботі за допомогою цифрових інструментів.

Предметом дослідження виступає програмний додаток для обліку робочих сесій, аналізу активності користувачів і візуалізації статистики виконання завдань у межах IT-проекту.

Задачі роботи:

- розробка діаграми діяльності [1];
- розробка web-додатку.

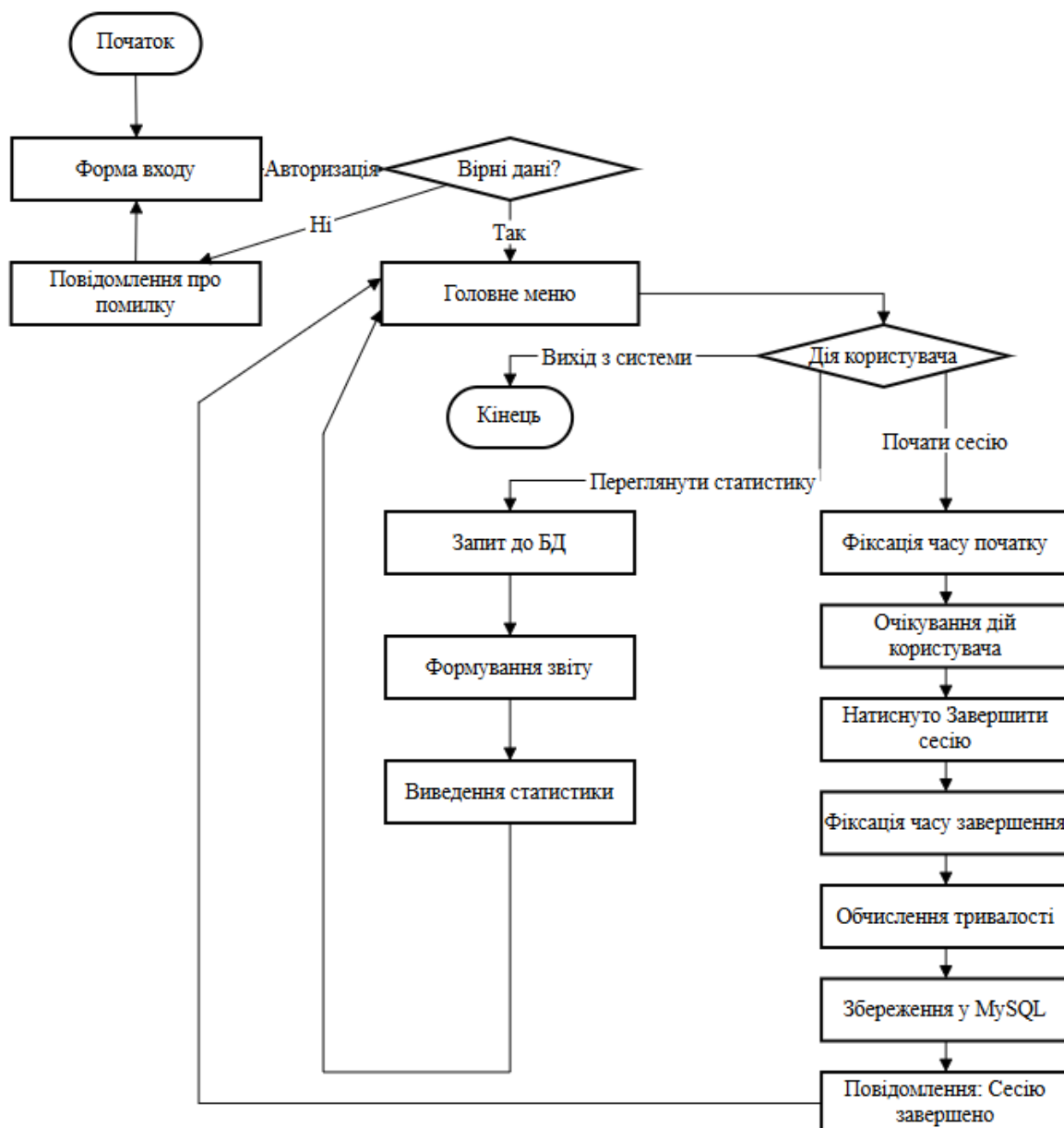


Рисунок 1 – Діаграма діяльностей для web-додатку тайм-трекєру

Модуль web-додатку відображення статистики ІТ- проекту (за яким ведеться моніторинг) для користувачів реалізовано у вигляді Razor-сторінки (рис. 2), яка отримує дані з бази даних MySQL і виводить їх у зручному для сприйняття форматі. Логіка побудована на запиті, який об'єднує дані з трьох таблиць: сесій (Session), користувачів (User) та завдань (Task). Для кожної сесії витягується її унікальний ідентифікатор, ім'я користувача, назва завдання, а також час початку і завершення сесії, якщо вона була завершена. Окрім цього, виводиться тривалість сесії в секундах. Усі ці записи зчитуються під час завантаження сторінки та зберігаються у списку об'єктів спеціального класу SessionRecord.

Підсумки по завданнях

Завдання	Кількість сесій	Загальна тривалість (сек)
Реалізувати авторизацію	3	7200
Створити форму запуску сесії	3	4500
Обробити завершення сесії	2	5400
Вивести список сесій	3	4500
Згенерувати звіт	4	9300
Усього	15	30900

Візуалізація тривалості виконання завдань

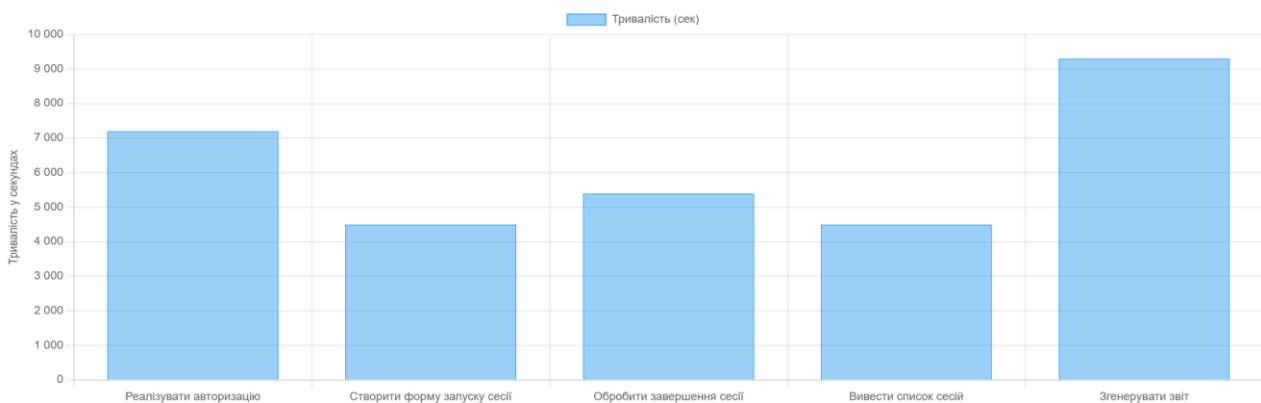


Рисунок 2 – Сторінка статистики для ІТ- проекту, за яким спостерігаємо

У результаті дослідження виявлено, що облік часу виконання завдань працівником є ключовим інструментом підвищення ефективності праці, прозорості робочих процесів та забезпечення об'єктивності в оцінюванні результатів.

Таким чином у результаті дослідження досягнуто вдосконалення наукової організації праці програмістів як особисто так і у команді.

Література

1. Следзінський І. Ф. *Основи вимірювання та кодування інформації [Текст] : навчально-методичний посібник : у 2 ч. Ч. 2 : Основи теорії кодування. Тернопіль : ТНПУ, 2007. 60 с.*

Мережеві можливості сучасних пристроїв інтернету речей

Міроненко В. О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні пристрої інтернету речей набувають популярності та допомагають нам покращувати побут завдяки можливостям дистанційної передачі вимірюваних параметрів на мобільний пристрій користувача.

При розгляді сценаріїв застосування розумних пристроїв, по перше виникає необхідність віддаленого перегляду поточного стану показників, до прикладу поточної температури та значення вимірюного освітлення.

Модуль розробника на базі ESP32 S2 від Espressif має декілька контактів GPIO процесор та пам'ять. Зв'язок цього модуля з OLED чи LCD-екранами встановлюється через протоколи I2C чи SPI, також забезпечується підключення необхідних датчиків температури та освітлення [1-3].

Програмування його може здійснюватися різними способами та з використанням мов програмування: низько рівневого C або спеціалізованого Python в реалізації Micro Python або Circuit Python.

Інтегрована технологія WiFi підтримує стандарті протоколи забезпечення безпеки та сумісна з побутовими роутерами, які можуть реалізувати підключення до внутрішньої мережі через інтернет та дають можливість віддаленого підключення до системи пристрою інтернету речей з будь якої точки світу.

Мережеві можливості при використанні спеціалізованих версій Python для реалізації інтернет-функцій ESP32 дозволяють розробляти веб-сторінки для

оновлення інформації з датчиків, створювати програми для віддаленого керування пристроями.

Для початкового підключення периферії, можливо використання бібліотеки WebSerial яка створює веб-сторінку, що відображає роботу стандартного монітора порту, що важливо для процесу налагодження ESP32. Вона дозволяє виводити налагоджувальну інформацію командами print/println у браузері без необхідності написання HTML-коду.

Доступна для використання технологія WebSocket для ефективного двостороннього обміну даними між ESP32 у локальній мережі для оновлення в режимі реального часу, веб-сторінок з інформацією від датчиків, представленої у графічній формі або функцій керування віддаленим пристроєм через веб-сторінку.

WebSockets забезпечує роботу в режимі сервер-клієнт з можливістю миттєвого обміну повідомленнями. Протокол дозволяє створювати надійні системи автоматизації з функцією зворотного виклику для обробки подій підключення та обміну даними. Цей метод забезпечує гарантовану доставку даних у реальному часі, що є важливим для проектів розумного будинку.

Поєднання бездротового доступу по Wi-Fi та сучасних мережевих можливостей WebSocket, розширює спектр використання та дозволяє перебуваючи віддалено, переглядати показники датчиків підключених до пристрою інтернету речей - онлайн.

Створення пристроїв інтернету речей на платформі мікро-контролерних рішень є доступним за вартістю та дозволяє запрограмувати різноманітні сценарії використання розумних пристроїв у мережевих системах, доступних мобільним користувачам.

Література

1. «ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller», Neil Cameron, Apress, 2024.
2. «Programming ESP32: Learn MicroPython Coding and Electronics», Simon Monk, MonkMakes, 2024.
3. «Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices», Neil Cameron, Apress Media, 2021.

Аналіз аналогів для програмного комплексу АРМ менеджера в магазині автозапчастин

Малахов В. Р., Гетьман І. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Магазин автозапчастин має складніші вимоги, ніж звичайна роздрібна торгівля: потрібно швидко шукати деталі за назвою, артикулом, виробником, аналогами, залишками на складах, постачальниками та сумісністю з авто. Тому під час аналізу аналогів доцільно розглядати не лише касові або складські програми, а й CRM/ERP-рішення та спеціалізовані каталоги автозапчастин.

Під час пошуку аналогів було виділено основні з них [1–10] та сформовано інформації про них у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналоги АРМ менеджера в магазині автозапчастин

Аналог	Призначення	Сильні сторони	Недоліки
Торгсофт для автомагазину	Українська програма для автоматизації торгівлі автозапчастинами	Підтримує облік товарів, продажі, склад, переміщення, повернення, перегляд наявності в інших магазинах і роботу з аналогами запчастин. Це робить систему близькою до потреб саме автомагазину.	Може бути надлишковою для невеликого магазину; частина функцій залежить від комплектації та додаткових модулів.
BAS Роздрібна торгівля	Фронт-офіс для окремих магазинів і торговельних мереж	Дозволяє реєструвати операції з товарами за товарними групами, магазинами, складами й організаціями, а також отримувати аналітику щодо руху товарів.	Не є спеціалізованим рішенням саме для автозапчастин; може потребувати налаштування довідників, форм і звітів.
RO App для автозапчастин	CRM/облікова система для продажів, складу й комунікацій	Орієнтована на клієнтів, замовлення, продажі, склад, фінанси й оплати в єдиній системі; для автозапчастин акцентує комунікацію через месенджери, чати, телефонію та перетворення звернень у продажі.	Більше CRM-орієнтована; для складної технічної номенклатури може знадобитися додаткова адаптація.

Продовження таблиці 1

Аналог	Призначення	Сильні сторони	Недоліки
keyCRM	CRM для онлайн-торгівлі, маркетплейсів і комунікацій	Має модулі для заявок, замовлень, комунікацій, товарів, складу, фінансів, аналітики, інтеграцій із доставками, ПРРО, платіжними системами та POS.	Добре підходить для онлайн-продажів, але не має вузької спеціалізації на підборі автозапчастин за авто, VIN або аналогами.
Dilovod	Онлайн-система для бухгалтерського, складського й торгового обліку	Підтримує складський облік, контроль запасів, рух товарів, аналітику, первинні документи, рахунки, накладні, товарні чеки та резервування товару під замовлення.	Більше орієнтована на облік і документообіг; специфічні функції для автозапчастин треба реалізовувати окремо.
Odoo Inventory / POS / CRM	Модульна ERP-система для продажів, складу, CRM, POS та аналітики	Odoo підтримує управління складом, пошук товарів за локаціями, штрихкоди, маршрути, резервування, оцінку запасів і POS-функції для роздрібною торгівлі.	Потужна, але складна для впровадження; потребує налаштування, локалізації та інтеграцій під український облік.
TecDoc Catalogue	Спеціалізований каталог автозапчастин	Дає змогу швидко ідентифікувати автомобілі та запчастини, працювати з багатобрендовим каталогом, технічною інформацією, зображеннями й відео, а також зменшувати помилки підбору деталей.	Це не повноцінна система автоматизації магазину, а довідково-каталожне рішення; його потрібно інтегрувати з обліковою системою.

Аналіз показує, що на ринку існують універсальні облікові системи, CRM-рішення та спеціалізовані каталоги автозапчастин. Найближчим аналогом для магазину автозапчастин є Торгсофт, оскільки він уже враховує специфіку автомагазину: склад, продажі, повернення, переміщення, наявність у різних торгових точках і аналоги запчастин. BAS, Dilovod та Odoo сильніші як облікові або ERP-системи, але потребують додаткового налаштування під автозапчастини. RO App і keyCRM краще підходять для роботи з клієнтами, онлайн-заявками, месенджерами й замовленнями. TecDoc доцільно розглядати не як повний аналог, а як спеціалізований довідник, який можна інтегрувати з власним програмним комплексом.

Отже, власний програмний комплекс для автоматизації робочого місця менеджера в магазині автозапчастин має поєднувати переваги кількох типів систем: складський облік, швидкий продаж, CRM, пошук за артикулом, виробником і аналогами, резервування товару, формування замовлень постачальникам, аналітику продажів та контроль залишків. Його конкурентною перевагою може бути простіший інтерфейс, орієнтація саме на роботу менеджера автомагазину та адаптація під типові бізнес-процеси малого або середнього магазину автозапчастин.

Література

1. *Torgsoft. Програма для магазину автозапчастин. Офіційна сторінка. URL: <https://torgsoft.ua/soft/auto-parts-store>.*
2. *BAS Роздрібна торгівля. Офіційна сторінка. URL: <https://www.bas-soft.eu/soft/bas-mass/bas-retail>.*
3. *RO App. CRM для магазину автозапчастин. Офіційна сторінка. URL: <https://roapp.com.ua/autoparts>.*
4. *keyCRM. Українська CRM-система для бізнесу. Офіційна сторінка. URL: <https://ua.keycrm.app/>*
5. *Dilovod. Складський облік. Офіційна сторінка. URL: <https://dilovod.ua/skladsky-oblik/>*
6. *Dilovod. Програма для продажу товарів. Офіційна сторінка. URL: <https://dilovod.ua/oblik-prodazh>.*
7. *Odoo Inventory. Features. Офіційна сторінка. URL: https://www.odoo.com/ru_RU/app/inventory-features.*
8. *Odoo Point of Sale. Features. Офіційна сторінка. URL: https://www.odoo.com/ru_RU/app/point-of-sale-features.*
9. *Odoo CRM. Features. Офіційна сторінка. URL: https://www.odoo.com/ru_RU/app/crm-features.*
10. *TecAlliance. TecDoc Catalogue. Офіційна сторінка. URL: <https://www.tecalliance.net/tecdoc-catalogue>.*

Аналіз процесів адміністрування благодійних проєктів та обліку фінансових надходжень благодійної організації для проєктування АРМ

Чичкан Д. С., Малигіна С. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Благодійна організація здійснює діяльність, спрямовану на залучення ресурсів і подальше їх використання для допомоги визначеним категоріям бенефіціарів. Відповідно до Закону України «Про благодійну діяльність та

благодійні організації», благодійна діяльність є добровільною особистою або майновою допомогою, що не передбачає отримання прибутку благодійником, а благодійна організація є юридичною особою, для якої благодійна діяльність визначена основною метою [1].

У процесі роботи благодійна організація одночасно виконує управлінські, фінансові, облікові та звітні функції. Вона повинна планувати благодійні проекти, вести облік донорів, фіксувати фінансові надходження, контролювати цільове використання коштів, формувати звіти для керівництва, донорів і контролюючих органів. Установчі документи благодійної організації мають містити цілі та сфери діяльності, джерела активів, а також порядок контролю і звітності [2].

Діяльність благодійної організації можна поділити на два ключові блоки:

1. Адміністрування благодійного проекту починається з його ініціювання. На цьому етапі визначається проблема, яку має вирішити проєкт, цільова аудиторія, очікуваний результат, необхідний бюджет і строк реалізації. Далі створюється картка проєкту, у якій фіксуються основні реквізити: назва проєкту, мета, опис, відповідальна особа, дата початку, дата завершення, плановий бюджет, статус, джерела фінансування та перелік бенефіціарів.

2. Фінансові надходження благодійної організації можуть надходити від фізичних осіб, юридичних осіб, міжнародних фондів, партнерських організацій або у формі грантової підтримки. Кожне надходження повинно бути зареєстроване із зазначенням джерела, суми, дати, призначення платежу, валюти, платіжного документа та проєкту, до якого воно належить. Використання активів і доходів благодійної організації не повинно суперечити законодавству та цілям благодійної діяльності. Це означає, що в АРМ доцільно передбачити контроль цільового використання коштів: система має показувати, які кошти отримані на конкретний проєкт, скільки вже використано і який залишок доступний.

За відсутності автоматизованої системи в благодійній організації виникають проблеми з обліком проєктів, донорів, платежів і документів. Інформація часто зберігається в різних файлах або паперових носіях, тому

працівникам складно швидко знайти потрібні дані про проєкт, благодійника чи фінансове надходження.

Ручне введення фінансових операцій підвищує ризик помилок у сумах, датах і призначеннях платежів. Також ускладнюється контроль цільового використання коштів, оскільки надходження потрібно правильно розподіляти між конкретними благодійними проєктами.

Відсутність єдиної бази донорів погіршує комунікацію з благодійниками та ускладнює аналіз історії їхніх внесків. Крім того, повільне формування звітів потребує багато часу, адже дані доводиться збирати вручну з різних джерел.

Недостатній контроль залишків коштів ускладнює планування діяльності організації. Водночас відсутність історії змін не дозволяє швидко визначити, хто і коли редагував дані. Тому впровадження АРМ є доцільним для централізації інформації, зменшення помилок і підвищення прозорості обліку. АРМ має забезпечувати централізоване зберігання даних, швидкий пошук інформації, автоматизоване формування звітів і контроль фінансових операцій. Основні функціональні вимоги представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Функціональні вимоги до АРМ

Модуль	Функції
Модуль авторизації	Вхід у систему, розмежування прав доступу
Модуль донорів	Додавання, редагування, пошук і перегляд історії внесків
Модуль	Функції
Модуль проєктів	Створення проєктів, ведення статусів, контроль бюджету
Модуль надходжень	Облік фінансових внесків, прив'язка платежів до проєктів
Модуль витрат	Реєстрація використання коштів, контроль залишків
Модуль документів	Збереження сканів, квитанцій, договорів, актів
Модуль звітності	Формування звітів за періодами, проєктами, донорами
Модуль аналітики	Діаграми надходжень, витрат, залишків, активності донорів

Процеси адміністрування благодійних проєктів та обліку фінансових надходжень є складними, оскільки поєднують управління проєктами, фінансовий

облік, роботу з донорами, контроль цільового використання коштів і підготовку звітності. Для благодійної організації особливо важливими є прозорість, достовірність даних, швидкість формування звітів і можливість відстеження кожної фінансової операції.

Проектування автоматизованого робочого місця дозволить підвищити ефективність роботи організації, зменшити кількість помилок у фінансовому обліку, прискорити підготовку звітності, забезпечити контроль виконання благодійних проєктів і покращити взаємодію з донорами та бенефіціарами. Такий програмний комплекс доцільно реалізувати як інформаційну систему з модулями обліку донорів, проєктів, надходжень, витрат, документів і звітів.

Література

1. *Про благодійну діяльність та благодійні організації* : Закон України від 05.07.2012 № 5073-VI. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5073-17>.

2. *Щодо відображення благодійної допомоги у податковій звітності*. Головне управління ДПС у Закарпатській області. 24.04.2026. URL: <https://zak.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/print-1004379.html>.

Засоби розробки desktop додатку АРМ менеджера сервісного центру комп'ютерної техніки

Шкарупа Д. В., Гетьман І. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Для розробки автоматизованого робочого місця менеджера сервісного центру комп'ютерної техніки доцільно використати стек технологій C#, .NET, Windows Forms, Entity Framework Core та Microsoft SQL Server Express. Такий набір засобів добре підходить для створення desktop-додатку, який працює у середовищі Windows, має зручний графічний інтерфейс, підтримує роботу з базою даних і дозволяє автоматизувати типові операції менеджера: приймання заявок, облік клієнтів, реєстрацію техніки, контроль статусів ремонту, формування звітів і пошук інформації.

Використання C# і .NET є доцільним, оскільки ці технології орієнтовані на створення надійних прикладних програм для Windows. Вони забезпечують зручну роботу з інтерфейсом, файлами, базами даних, помилками та бізнес-логікою програми. Windows Forms дозволяє швидко створити зрозумілий інтерфейс для менеджера, який не потребує складного навчання користувача. Це важливо для сервісного центру, де працівник має швидко знаходити інформацію, оформлювати заявки та змінювати статуси ремонту.

Основним середовищем розробки може бути Microsoft Visual Studio [1], оскільки воно підтримує створення .NET-додатків, роботу з C#, візуальне проєктування форм, налагодження програми та підключення до баз даних. Для побудови інтерфейсу користувача використовується Windows Forms [2] – технологія для створення графічних настільних Windows-додатків на платформі .NET. Windows Forms має готові елементи керування: кнопки, таблиці, текстові поля, списки, меню, вкладки, діалогові вікна, що спрощує створення інтерфейсу АРМ менеджера.

Для роботи з даними доцільно використати Entity Framework Core [3]. Це об'єктно-реляційний інструмент, який дозволяє .NET-розробникам працювати з базою даних через об'єкти C#, а також зменшує кількість коду, необхідного для доступу до даних. У межах даного проєкту Entity Framework може використовуватися для опису сутностей: Client, Device, RepairRequest, Service, Employee, Payment, а також для виконання операцій додавання, редагування, видалення та пошуку записів.

Як систему керування базами даних доцільно використати Microsoft SQL Server Express [4]. Це безкоштовна редакція SQL Server початкового рівня, яка підходить для навчальних проєктів, desktop-додатків і невеликих серверних рішень, що працюють з даними. Для АРМ менеджера сервісного центру SQL Server Express може зберігати інформацію про клієнтів, пристрої, заявки на ремонт, запчастини, послуги, статуси виконання робіт та історію звернень.

Отже, для створення desktop-додатку АРМ менеджера сервісного центру комп'ютерної техніки обраний стек C#, .NET, Windows Forms, Entity Framework

Core та SQL Server Express є практичним і обґрунтованим. Він дозволяє створити зручний Windows-додаток із графічним інтерфейсом, організувати надійне зберігання даних, реалізувати основні функції обліку та забезпечити подальше розширення програмного комплексу.

Література

1. Microsoft Visual Studio. Офіційна сторінка. URL: <https://visualstudio.microsoft.com/>
2. Windows Forms. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/overview/>
3. Entity Framework Core. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/ef/core/>
4. Microsoft SQL Server Express. Microsoft. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/sql-server/sql-server-downloads>

Аналіз обов'язків менеджера типографії для проєктування програмного комплексу з автоматизації робочого місця

Нечепуренко Є. Ю., Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Автоматизація робочого місця менеджера типографії є актуальною, оскільки поліграфічне підприємство щоденно працює з великою кількістю замовлень, клієнтів, макетів, матеріалів, термінів виконання та фінансових розрахунків [1]. Ручне ведення цих процесів часто призводить до помилок, втрати інформації, дублювання даних і затримок у виконанні замовлень. Використання автоматизованої системи дозволяє швидко оформлювати заявки, контролювати етапи виробництва, вести облік клієнтів, розраховувати вартість послуг і формувати необхідні звіти.

Крім того, автоматизація підвищує ефективність роботи менеджера, скорочує час на виконання типових операцій і покращує якість обслуговування клієнтів. Менеджер отримує можливість оперативно відстежувати стан замовлення, наявність матеріалів, завантаженість обладнання та строки виконання робіт. Це сприяє кращій організації роботи типографії, зменшенню витрат, підвищенню продуктивності персоналу та конкурентоспроможності підприємства на ринку поліграфічних послуг.

Менеджер типографії виконує ключову роль у забезпеченні ефективної роботи підприємства, оскільки він координує взаємодію між клієнтами, виробничим відділом, дизайнерами, постачальниками та адміністрацією [2]. Його основне завдання полягає в організації процесу виконання поліграфічних замовлень – від прийому заявки до передачі готової продукції клієнту. Менеджер повинен правильно визначити потреби замовника, уточнити технічні параметри продукції, розрахувати вартість, погодити строки виконання та проконтролювати якість результату.

До основних обов'язків менеджера типографії належать прийом і обробка замовлень, консультування клієнтів щодо видів поліграфічної продукції, матеріалів, форматів, кольоровості, тиражу та способів друку. Також менеджер здійснює підготовку комерційних пропозицій, оформлення рахунків, договорів, актів виконаних робіт та іншої супровідної документації. Важливою частиною роботи є контроль термінів виконання замовлень і передача інформації у виробництво без помилок.

Окрему увагу менеджер приділяє комунікації з клієнтами. Він має оперативно відповідати на запити, узгоджувати макети, інформувати про етапи виконання замовлення, вирішувати спірні питання та підтримувати довгострокові ділові відносини. Від якості спілкування менеджера залежить не лише задоволеність клієнта, а й репутація типографії.

Менеджер типографії також бере участь у плануванні виробничого навантаження. Він повинен враховувати зайнятість обладнання, наявність матеріалів, складність замовлення та можливі ризики затримок. За потреби менеджер погоджує закупівлю паперу, фарб, плівок, пакувальних матеріалів та інших ресурсів. Це дозволяє уникнути простоїв і забезпечити стабільність виробничого процесу.

На основі цього можна сформувати перелік обов'язків менеджера типографії (рис. 1):

- робота з клієнтами;
- обробка замовлень;
- документообіг;

- координація виробництва;
- контроль ресурсів;
- контроль якості та строків;
- аналітика та звітність;
- підтримка клієнтів.

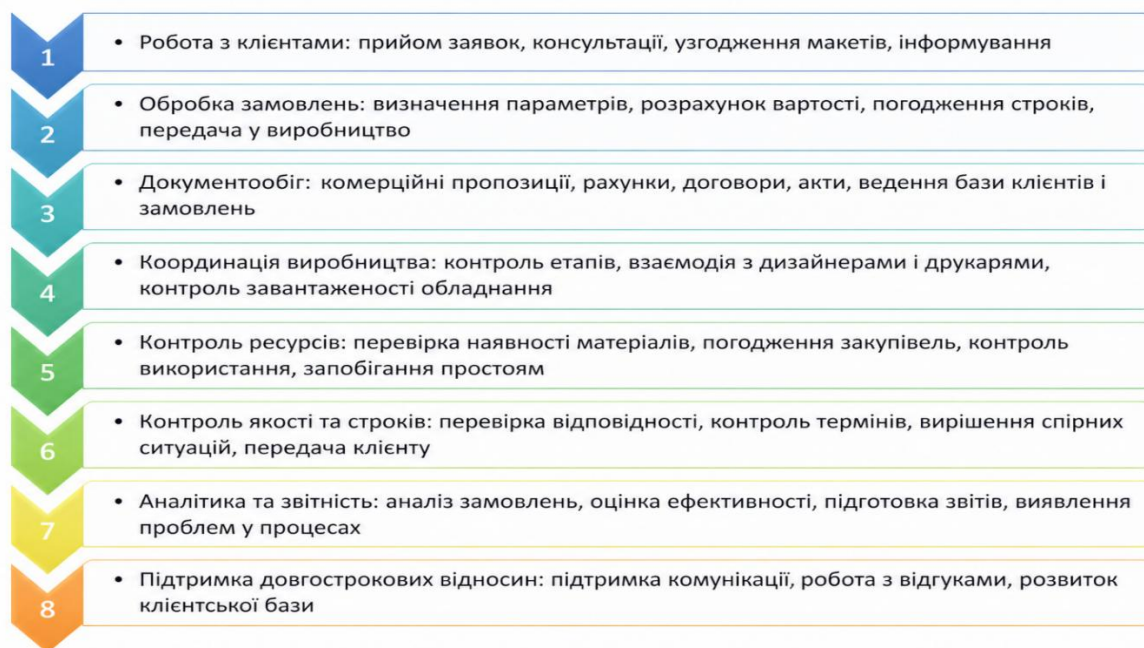


Рисунок 1 – Перелік основних обов’язків менеджера типографії

Обов’язки менеджера типографії охоплюють організаційні, комунікаційні, розрахункові, документальні та контрольні функції. Його робота безпосередньо впливає на якість обслуговування клієнтів, швидкість виконання замовлень, рівень прибутковості підприємства та загальну ефективність діяльності типографії. Саме тому автоматизація робочого місця менеджера є актуальною, адже вона дозволяє зменшити кількість помилок, прискорити обробку замовлень і підвищити якість управління виробничими процесами.

Література

1. Маїк Л. Я., Лотошинська Н. Д. Особливості автоматизації управління підприємствами видавничо-поліграфічної галузі. Наукові записки. Scientific Papers. 2020.
2. Priyank Singhal, Shakti Kundu, Anil Kumar. A Comparative Study on Print Production Workflow Systems. 2020.

РОЗДІЛ 2.

МОДЕЛІ, МЕТОДИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ СТРУКТУРНИХ, ІНФОРМАЦІЙНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ

Аналіз систем нечіткого виведення для оцінювання компетентності та репрезентативності експертів

Воскобойніков Р. В., Рисований О. М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У сучасних умовах прийняття управлінських та наукових рішень важливу роль відіграє експертне оцінювання. Якість таких рішень значною мірою залежить від рівня компетентності експертів та їхньої репрезентативності. Однак оцінювання цих характеристик є складним завданням через наявність невизначеності, суб'єктивності та нечітких критеріїв. Саме тому ефективним інструментом у таких умовах виступають системи нечіткого виведення.

Нечітка логіка є розширенням класичної логіки, яка дозволяє працювати з неточними та розмитими поняттями. На відміну від традиційних підходів, де значення змінних є чітко визначеними (0 або 1), у нечіткій логіці використовуються ступені належності в інтервалі від 0 до 1. Сьогодні експертні оцінки відіграють суттєву роль у процесах прийняття управлінських і науково-технічних рішень. Їх застосування є особливо актуальним у таких сферах, як управління проектами, стратегічне планування та аналіз складних технічних систем. У багатьох випадках саме експертні знання та професійний досвід фахівців дозволяють отримати обґрунтовані висновки щодо стану певної системи або перспектив її розвитку. У зв'язку з цим виникає важливе наукове та практичне завдання — оцінювання рівня компетентності експертів та визначення репрезентативності експертної групи.

Традиційні підходи до експертного оцінювання базуються на використанні математичних моделей і статистичних методів аналізу. До таких методів належать ранжування, попарні порівняння, застосування вагових коефіцієнтів та інші підходи до обробки експертних оцінок [1–2]. Незважаючи на їх

ефективність, зазначені методи мають певні обмеження. Насамперед це пов'язано з тим, що експертні судження часто мають суб'єктивний характер та формулюються у вигляді лінгвістичних оцінок, що ускладнює їх формалізацію в межах класичних математичних моделей. Крім того, традиційні методи не завжди дозволяють повною мірою врахувати невизначеність та нечіткість інформації, які характерні для експертних оцінок.

Одним із ефективних підходів до розв'язання зазначеної проблеми є використання методів нечіткої логіки. На відміну від класичних методів аналізу, нечітка логіка дозволяє працювати з неточною, неповною або суб'єктивною інформацією. Використання лінгвістичних змінних, функцій належності та нечітких множин забезпечує можливість моделювання процесів прийняття рішень у умовах невизначеності. Завдяки цьому методи нечіткої логіки широко застосовуються у задачах прогнозування, управління та підтримки прийняття рішень.

У межах даного дослідження розглядається задача розробки системи нечіткого виведення для оцінювання компетентності експертів та репрезентативності експертної групи. Така система дозволяє враховувати різноманітні критерії оцінювання експертів і формувати узагальнену оцінку на основі нечітких правил.

Для побудови запропонованої системи було проведено аналіз існуючих методів оцінювання експертів. Зокрема розглянуто метод ранжування, метод вагових коефіцієнтів, метод послідовних порівнянь та метод попарних порівнянь. Кожен із цих методів дозволяє здійснювати кількісне оцінювання експертних суджень, однак має певні недоліки, пов'язані зі складністю обробки результатів або недостатнім урахуванням невизначеності даних. Також проаналізовано метод Делфі, який широко використовується для досягнення узгодженості думок експертів шляхом багатоетапного опитування.

Одним із важливих аспектів дослідження є оцінювання компетентності експертів за сукупністю критеріїв. До таких критеріїв належать рівень освіти, загальний стаж роботи, досвід діяльності у відповідній галузі, досвід участі

в експертних оцінюваннях та інші характеристики професійної діяльності. На основі зазначених критеріїв можуть бути розраховані коефіцієнти компетентності та достовірності експертних оцінок, що дозволяє здійснювати об'єктивне порівняння експертів та формування експертних груп для вирішення конкретних задач.

Подальша частина дослідження присвячена застосуванню теорії нечіткої логіки. Розглянуто основні поняття, зокрема лінгвістичні змінні, функції належності та нечіткі множини. Використання цих понять дозволяє формалізувати нечіткі характеристики експертів, наприклад «високий рівень досвіду», «середня компетентність» або «низький рівень підготовки». На основі таких характеристик формуються нечіткі продукційні правила виду «ЯКЩО — ТО», що забезпечують можливість побудови системи нечіткого виведення.

У роботі також розглянуто основні алгоритми нечіткого виведення, зокрема алгоритми Мамдані, Сугено, Цукамото та Ларсена. Використання цих алгоритмів дозволяє реалізувати процес обробки нечіткої інформації та отримувати узагальнену оцінку компетентності експертів на основі заданих правил.

Основна увага в роботі приділена побудові системи нечіткого оцінювання експертів. Визначено вхідні змінні, що характеризують різні аспекти компетентності експертів, а також сформовано вихідні змінні, які відображають узагальнений рівень компетентності та репрезентативності експертної групи. Для кожної змінної визначено відповідні функції належності та сформовано базу нечітких продукційних правил. На основі цієї бази знань реалізовано систему нечіткого виведення, що дозволяє здійснювати комплексне оцінювання експертів.

При попередній обробці даних експертів розглянуто хешування даних, яке сприяє швидкому пошуку експертів, унікальної ідентифікації профілів, перевірки цілісності даних [3-4]. Хешування стискає простір ознак та зменшує обчислювальну складність. Далі ці дані подаються у систему нечіткого виведення.

Запропонований підхід забезпечує більш гнучке та об'єктивне оцінювання експертів у порівнянні з традиційними методами. Використання нечіткої логіки дозволяє враховувати невизначеність експертних оцінок та підвищує ефективність процесу формування експертних груп для розв'язання складних науково-технічних задач.

Література

1. Каргін А. О. Введення в інтелектуальні машини. Книга 1. Інтелектуальні регулятори. Донецьк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010: 526.
2. Єпик М. О. Модель представлення експертних знань в інтелектуальній системі діагностики захворювань. INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL Web of Scholar ISSN 2518-167X 1(31), Vol.1, January 2019 – Warsaw, Poland: RS Global Sp. z O.O., 2019: pp. 3-7.
3. Рисований О. М. Алгоритми хешування в ігрових додатках. Одеський національний технологічний університет. V всеукраїнська науково – технічна конференція «Комп'ютерні ігри і мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2025». 25-26 вересня 2025 р. м.Одеса. С. 121. URL:: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/95683>.
4. Рисований О. М. Реверсне програмування. Захист коду. Середовище програмування masm64: навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" всіх форм навчання [електронне видання. Харків: НТУ "ХПІ", 2024. 214 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/79627>.

Удосконалення алгоритму отримання хеш за допомогою інструкції CRC32

Рисований О. М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

CRC-32 (Cyclic Redundancy Check, 32-битная) – це алгоритм обчислення контрольної суми, що використовується для перевірки цілісності даних. Він застосовується під час передачі або зберігання даних, щоб переконатися, що дані не були пошкоджені. CRC є практичним додатком завадостійкого кодування, заснованим на певних математичних властивостях циклічного коду.

При використанні CRC32 необхідно вирішити першу проблему, яка виникає при хешуванні – це захист від розпізнавання алгоритму. Алгоритм CRC32 призначений для перевірки помилок, а не для безпеки, що робить його вразливим для навмисного спотворення даних.

Насправді застосовують 2 типу кодування: CRC 32 і CRC 32с.

CRC32 використовується поліном 0x04C11DB7 і його зворотню форму 0xEDB88320. CRC32C використовує поліном 0x1EDC6F41 і його зворотню форму 0x82F63B78.

Інструкція `crc32` працює на апаратному рівні [1, 2] При цьому досягається межа швидкості для таких обчислень на одному ядрі. При її застосуванні у програмі не використовуються складні бітові маніпуляції (зсуви, маски, XOR), які були, наприклад, у хеш-алгоритмі PJW-32 та інших.

Велике прискорення можна отримати під час обробки файлів гігабайтного розміру. При цьому можна використовувати `crc32` не побайтово, а одразу по 8 байт (`crc32 rxh, qword ptr [rcx]`).

Сучасні 64-бітові процесори дозволяють використовувати інструкцію CRC32 одразу над 64-бітними операндами (8 байт за одну операцію). І тут обробляються дані у 8 разів швидше, ніж у послідовному варіанті, й у десятки разів швидше, ніж оригінальний алгоритм PJW-32.

Але, якщо розмір файлу не кратне 8 байтам, залишок (від 1 до 7 байт), то дообробка виконується побайтово. І в цьому випадку виконується послідовна обробка, але вже одразу 8 байтів.

Інтерес представляє програма з багатопотоковим хешуванням.

Поділ програми на потоки (багато потоковість) – це потужний інструмент, який дозволяє програмі виконувати кілька дій одночасно. У контексті програми з обчисленням CRC32 це особливо актуально, тому що дозволяє задіяти всі ядра процесора.

На багатоядерних процесорах потоки можуть виконуватись фізично одночасно (паралельно) на різних ядрах. Якщо ядро одне, то система швидко перемикається між потоками, створюючи ілюзію одночасності.

Необхідно вирішити проблему спільної пам'яті потоків. Усі потоки одного процесу використовують загальну пам'ять. Це їхня головна відмінність від процесів. Потокам легко обмінюватись даними (через структуру). Але виникає ризик «стану гонки» (race condition), коли потоки одночасно змінюють ту саму змінну.

Створення потоку – не безкоштовна операція. Система повинна виділити стек, зберегти контекст реєстрів та керувати чергою виконання. Якщо завдання надто маленьке (наприклад, скласти два числа), створення потоку займе більше часу, ніж саме обчислення.

Часто виникає проблема пошуку помилок, оскільки помилки багатопотокових програмах часто плавають. Програма може працювати ідеально 99 разів, а на 100-й впасти через те, що один потік випередив інший. Щоб потоки не заважали один одному при роботі із загальними даними, необхідно застосовувати механізми синхронізації потоків, такі як м'ютекси, критичні секції та ін.

Багатопотокове хешування використовує механізм Memory Mapping (відображення файлу в пам'ять), що є найшвидшим способом обробки даних у Windows, тому що дозволяє різним ядрам процесора читати один і той же файл паралельно без зайвих копій у буфер. Але в цьому випадку виникає апаратне обмеження як кількість ядер сучасних мікропроцесорів. Наприклад, для отримання хеш у 2-х потоках необхідно виконати дії:

- відкрити файл (CreateFileA);
- визначити розмір файлу (GetFileSize);
- створити "проекцію" файлу в пам'ять (Memory Mapping):
CreateFileMappingA, MapViewOfFile;
- розділити файл на частини для потоків;
- визначити параметри для потоків;
- запустити паралельні потоки (CreateThread);
- виконати очікування завершення всіх потоків (ядер)
(WaitForMultipleObjects);
- виконати комбінування результатів (спрощено через XOR);
- виконати висновок фінального результату (printf).

Інструкція

crc32 rax, qword ptr [rsi]

за один такт процесора обробляє відразу 8 байт даних. Для файлу розміром 1 ГБ це в 8 разів менше ітерацій циклу, ніж при побайтовому методі.

Читання блоками дозволяє диску працювати на його максимальній швидкості.

Логіка «накопичення» хеша – це критично важливий момент під час роботи з великими файлами. Не можна завантажити файл розміром, наприклад, 10 ГБ на оперативну пам'ять повністю, тому читання відбувається частинами (буферами).

Функція `WaitForMultipleObjects` очікує, поки обидва ядра не закінчать обробку.

Інструкція `crc32` математично влаштована так, що якщо продовжити обчислення з попереднього результату, результат буде таким самим, якби обробили весь файл за один величезний прохід.

Наприкінці програми запускається маленький цикл, який дооброблює байти, що залишилися, по одному.

Щоб отримати абсолютно такий же CRC, як і при послідовному читанні, результати процесів потрібно з'єднувати через математичну функцію, наприклад `crc32_combine`. Можна використовувати операцію XOR для простоти демонстрації паралелізму.

Висновки. Перехід від послідовного до паралельного обчислення CRC32 - це чудовий приклад того, як архітектурні рішення впливають на продуктивність та стабільність коду. Використання 4 або 8 потоків дозволяє обробляти файл частинами одночасно. На багатоядерних процесорах це дає майже лінійний приріст швидкості (файл розміром 1 ГБ обробиться в 4 рази швидше на 4 ядрах), оскільки інструкція `crc32` виконується незалежно кожного блоку. Застосування інструкції CRC32 у поєднанні з потоками – це максимально задіє можливості сучасного процесора, перетворюючи його на потужний обчислювальний вузол.

Паралельна обробка потребує чіткого поділу даних. Запустити потоки мало – потрібно правильно розділити файл (обробка "хвостів" в `not_last`), дочекатися завершення всіх завдань (`WaitForMultipleObjects`) і коректно поєднати проміжні результати через XOR.

Література

1. Рисований О.М. Дослідження та аналіз алгоритмів хешування Дженкінса. / *Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS – 2025): Матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет конференції (16-17 листопада 2025 р.). Миколаїв: НУК імені адмірала Макарова, 2025. С. 164–169. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/95704>.*

2. Рисований О. М. Реверсне програмування. Захист коду. Середовище програмування *masm64*: навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" всіх форм навчання [електронне видання]. Харків: НТУ "ХПІ", 2024. 214 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/79627>.

Математична формалізація емерджентних переходів у цифрових двійниках виробничих систем

Ковалевський С. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні виробничі системи характеризуються високою складністю, нелінійністю динамічної поведінки та багатофакторною взаємодією компонентів. У таких умовах цифрові двійники (Digital Twin) стають критично важливим інструментом для моделювання, прогнозування та оптимізації технологічних процесів [1]. Однак фундаментальною проблемою залишається відсутність строгих математичних критеріїв для виявлення якісних змін режимів функціонування системи. Такі зміни, що відповідають переходам між різними класами поведінки, мають принципове значення для забезпечення надійності виробничих процесів. На практиці подібні переходи проявляються у вигляді: раптових змін вібраційного спектра технологічного обладнання; нелінійних стрибків інтенсивності зносу ріжучого інструменту; переходу технологічної системи у нестійкі режими обробки. Ці явища мають емерджентний характер, виникають як результат колективної взаємодії компонентів системи та не зводяться до простої суми властивостей цих компонентів.

Тому, поставлені задачі формалізації поняття емерджентності у контексті динамічних систем; виявлення критичних моментів якісних переходів; інтеграції розроблених критеріїв у архітектуру цифрових двійників виробничих систем.

Для виробничої системи, динаміка якої описується системою нелінійних диференціальних рівнянь [2]:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), \theta(t)), \quad x \in \mathbb{R}^n,$$

де: $x(t)$ — вектор стану системи розмірності n ; $u(t)$ — вектор керуючих впливів; $\theta(t)$ — параметри деградації системи (знос інструменту, температурні ефекти, втома матеріалу тощо), цифровий двійник системи задається аналогічною моделлю:

$$\hat{\dot{x}}(t) = f(\hat{x}(t), u(t), \theta(t)),$$

із умовою адекватності моделювання $\|x(t) - \hat{x}(t)\| < \varepsilon$.

Однак ця умова є необхідною, але недостатньою для повноцінного моделювання поведінки системи, оскільки вона не враховує якісні, структурні зміни динаміки системи — саме ті явища, які визначають критичні переходи між різними режимами функціонування.

Формалізація емерджентності складається з емерджентній макровластивості на основі емерджентного функціоналу $\Phi : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, якщо виконується умова нередуковності $\Phi(x) \neq \sum_{i=1}^n \varphi_i(x_i)$, та емерджентного переходу, якщо виконується умова $\lim(t \rightarrow t^*^-) \Phi(x(t)) \neq \lim(t \rightarrow t^*^+) \Phi(x(t))$ в момент часу t^* .

Ця умова відображає зміну класу поведінки системи — якісний перехід, що не зводиться до плавної зміни параметрів стану. У точці t^* відбувається розрив функціоналу Φ , що свідчить про фундаментальну реструктуризацію динамічних властивостей системи.

Емерджентний перехід у точці t^* пов'язаний із біфуркацією динамічної системи, представлений, як матриця Якобі, $A(t) = \partial f / \partial x$, визначається умовою:

$$\exists \lambda_i : \operatorname{Re}(\lambda_i(A(t^*))) = 0,$$

де λ_i — власні числа матриці $A(t^*)$. Ця умова відображає втрату локальній стійкості системи у точці t^* . Умова нетривіальності переходу $d/dt \operatorname{Re}(\lambda_i) \neq 0$ гарантує, що перехід через уявну вісь не є дотичним, а відбувається трансверсально, що забезпечує структурну стійкість біфуркації.

Для практичного застосування у системах моніторингу запропоновано додатковий критерій на основі спектральної ентропії. Для функціоналу:

$$H(t) = -\sum_i p_i(t) \log p_i(t) ,$$

де $p_i(t)$ — нормовані спектральні компоненти вимірюваного сигналу (наприклад, вібраційного спектра) $p_i(t) = P_i(t) / \sum_j P_j(t)$, емерджентний перехід характеризується одним із наступних критеріїв:

$$dH/dt \rightarrow \max \text{ або } H(t) = \max.$$

Ці умови відображають фундаментальний перерозподіл енергії між спектральними складовими сигналу, що є проявом якісної зміни динамічного режиму системи. Зростання ентропії вказує на появу нових частотних компонент або перерозподіл енергії між існуючими модами коливань. Наприклад, для процесу токарної обробки вектор стану технологічної системи:

$$x = [v, F, T]^T$$

де: v — амплітуда вібрацій ріжучого інструменту, F — сила різання, T — температура в зоні різання, на ранніх стадіях експлуатації інструменту система демонструє стабільну динаміку з характерним вібраційним спектром. Однак при досягненні критичного рівня зносу ріжучої кромки спостерігаються наступні явища: поява нових гармонік у вібраційному спектрі, що не спостерігалися раніше; різке зростання спектральної ентропії $H(t)$; якісна зміна режиму різання з переходом до нестационарної динаміки. Цей момент відповідає емерджентному переходу: $t = t^*$.

Таким чином, цифровий двійник технологічної системи надає можливість відтворювати поточний стан координат $x(t)$, але й прогнозувати моменти якісних переходів t^* , що дозволяє реалізувати предиктивну стратегію технічного обслуговування.

Висновки. Отримані результати створюють теоретичну основу для переходу до інтелектуальних цифрових двійників нового покоління, здатних не лише відтворювати поточний стан системи, але й передбачати критичні режими її функціонування, що має принципове значення для забезпечення надійності та ефективності сучасних виробничих систем.

Література

1. Oversluizen, G., Herkes, M. C. *Digital twin design and modeling to support production planning & control*. IFAC-PapersOnLine. 2025. Vol. 59, Issue 10. P. 607–612. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.104>
2. Zheng, H., Xie, W., Ryzhov, I. O., Choy, K. *Digital twin calibration with model-based reinforcement learning*. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2501.02205>

Моделювання напруженого стану профілю стрічкового типу в процесі його знакозмінного деформування

Раздобрєєв В. В., Ключніков К. Ю., Іванов О. П., Лещенко О. І., Паламар Д. Г.
Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України

Процес волочіння в роликових волоках застосовується для виробництва цілої низки фасонних профілів складної конфігурації, у тому числі тонкостінних, стрічкових і профілів періодичного перерізу. Цей процес, у порівнянні з волочінням у монолітних волоках дозволяє на 20–40 % зменшити енергетичні витрати, збільшити деформацію за один перехід до 40–50 %, скоротити кількість підготовчих операцій (термообробка, травлення), виключити застосування дорогих волочильних змащень. У порівнянні з холодною прокаткою профілів процес волочіння в роликових волоках має більш високу технологічну гнучкість, не вимагає істотних капітальних витрат при організації виробництва точних профілів.

Разом з тим, через наявність тягового зусилля, яке змінює схему напружено-деформованого стану металу у осередку деформації у бік збільшення напружень, що розтягують на крайках профілю і можуть викликати їхнє руйнування. Застосування знакозмінного деформування при виробництві профілів стрічкового типу волочінням в роликових волоках дозволить отримувати більш рівномірний розподіл напруженого стану металу, а також усувати напруження, що розтягують на крайках готового профілю. Це в свою чергу дозволить підвищити якість профілів стрічкового типу.

Разом з тим, для обґрунтованого вибору параметрів знакозмінної деформації необхідно знати їх вплив на величину і характер розподілу напружень по перерізу профілю. Досліджувати такі напруження можна шляхом

експериментів, застосовувавши при цьому дороге обладнання та великі витрати енергії, матеріалів і коштів. Теоретичні дослідження можна проводити за допомогою математичного моделювання, що дає змогу зекономити значні кошти і час. В Інституті Чорної Металургії НАН України розроблено математичну модель процесу знакозмінної деформації профілю стрічкового типу при його протягуванні через згино-розтягувальний пристрій (ЗРП).

Блок-схема розрахунку напружено-деформованого стану металу в процесі знакозмінної деформації профілю стрічкового типу при протягуванні його через ЗРП, яка заснована на методі кінцевих елементів (МКЕ), наведена на рис. 1

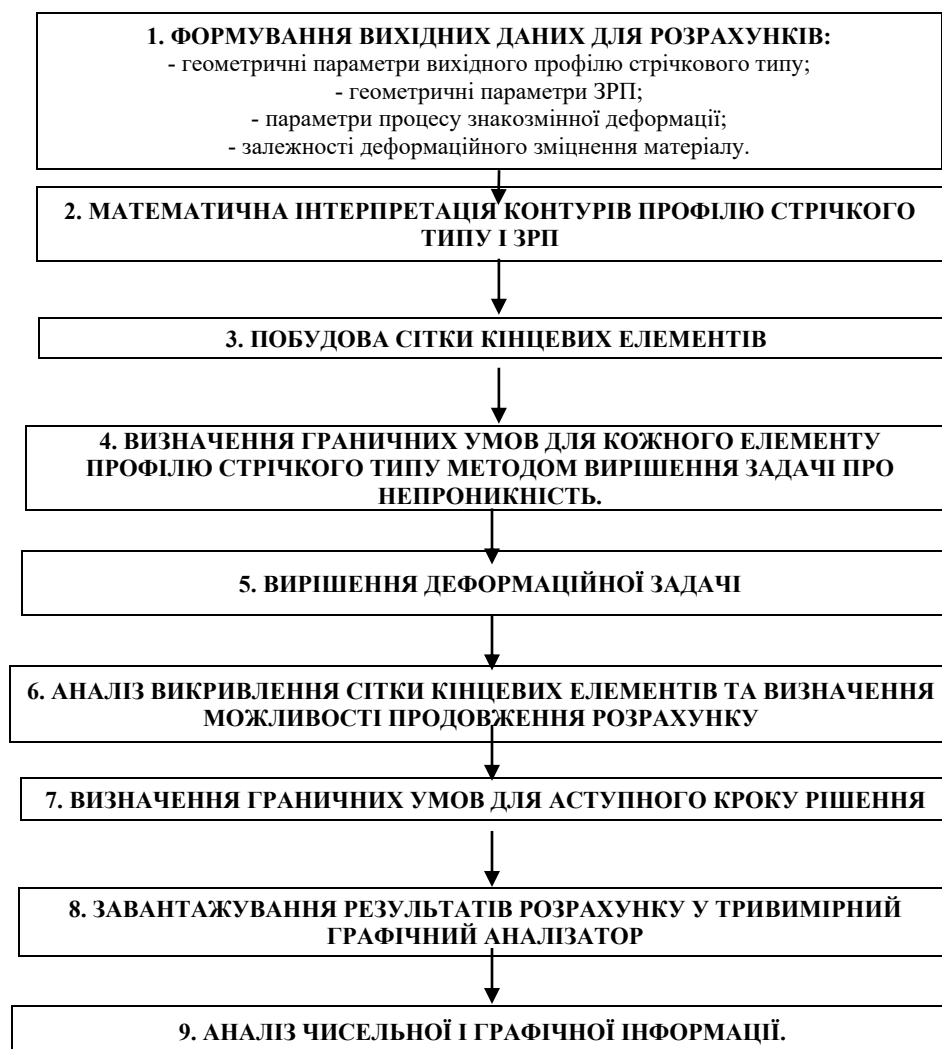


Рисунок 1 – Блок-схема розрахунку напружено-деформованого стану металу методом МКЕ

У процесі моделювання враховано напружено-деформований стан металу як при навантаженні (під натискним роликом), так і після розвантаження (після виходу прокату з ЗРП). Моделювання пружно-пластичного знакозмінного згину металу у системі SolidWorks Simulation включає наступні етапи: 1) налаштування моделі – створення кінцево-елементної моделі профілю стрічкового типу, яка розміщується між верхніми та нижнім роликами; 2) вертикальне переміщення натискного нижнього ролику вгору у робоче положення з забезпеченням фіксації заданої величини переміщення; 3) прикладання сили тяжіння до системи за відсутності руху роликів; 4) надання швидкості обертання роликів для моделювання руху профілю стрічкового типу за рахунок сил тертя між прокатом та роликами; 5) оцінка пружного розвантаження матеріалу після виходу з згино-розтягувального пристрою. Перший і третій етапи – динамічні із завданням поступального та обертального рухів роликів згино-розтягувального пристрою, а решта – статичні без завдання руху роликів. Для опису контактної взаємодії між роликами та профілем стрічкового типу використовувалися вбудовані можливості системи SolidWorks Simulation, які дозволяють враховувати статичний та динамічний коефіцієнти тертя. За відсутності дотичних переміщень у контактній парі, що відповідає переміщенню натискного ролику вгору, використовується статичний коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,25, а після початку руху прокату – динамічний, рівний 0,12.

За результатами моделювання профілю стрічкового типу висотою 5,2 мм зі сталі марки Ст.08 встановлено механізм виникнення залишкових напружень, який обумовлено величиною пластичної деформації та неоднорідністю розподілу деформацій по висоті профілю стрічкового типу при обробці в ЗРП. Визначено, що після знакозмінного деформування в ЗРП на верхній поверхні профілю стрічкового типу формуються поздовжні залишкові напруження, що стискають, а на нижній – що розтягують, в середині по його висоті вони дорівнюють нулю, в інших частинах перерізу значення напруження протилежні за знаком.

Дослідження ефективності методів діагностики пам'яті в умовах різних моделей несправностей: імітаційне моделювання

Анцибор М. О., Главчев М. І., Носков В. І.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Зростання щільності пам'яті в сучасних VLSI-схемах ускладнює процес тестування і підвищує ймовірність прояву складних несправностей, зокрема патерн-чутливих (PSF) та зв'язаних (Coupling Faults) [1, 2]. Традиційні аналітичні оцінки покриття дефектів спираються на спрощені припущення і не враховують стохастичну природу їх виникнення. Комерційні BIST-компілятори (Synopsys, Mentor Graphics) є закритими та непридатними для дослідницьких і навчальних цілей. Метою роботи є розробка відкритого програмного симулятора для імітаційного моделювання ефективності методів тестування пам'яті та комплексне експериментальне дослідження з верифікованими статистичними результатами.

Симулятор реалізовано на Python 3.10 (~2500 рядків) з використанням бібліотек NumPy, Pandas, SciPy та Matplotlib. Архітектура побудована за принципами ООП із застосуванням патернів Strategy (підключення алгоритмів), Abstract Factory (генерація моделей несправностей) та Observer (логування). Базовий клас Fault визначає абстрактний інтерфейс; конкретні реалізації охоплюють SAF, TF, CFin, CFid та PSF. Клас MemoryArray оперує NumPy-масивом для векторизованих операцій, що забезпечує швидкодію, близьку до нативного C-коду. Модуль StatisticsAnalyzer обчислює метрики (fault coverage, FPR, час виконання) та формує 95% довірчі інтервали за t-розподілом.

Методологія експерименту побудована за принципами Design of Experiments (DoE) [3]. Визначено п'ять факторів: тип алгоритму (7 рівнів: MATS, MATS+, March C-, March A, March B, March LR, Random-LFSR), тип несправності (6), щільність дефектів (5: 0,1–5 %), розмір масиву (5: 1–256 КБ), розподіл дефектів (2: рівномірний/кластеризований). Для запобігання комбінаторному вибуху (повний факторний план – 2100 конфігурацій) застосовано стратифіковане планування з 5 сценаріями. Статистична

достовірність забезпечена $n = 100$ повтореннями кожної конфігурації (всього $\sim 1\,045\,000$ експериментів); паралелізація на 8 ядрах скоротила реальний час виконання з ~ 50 до ~ 7 діб [4].

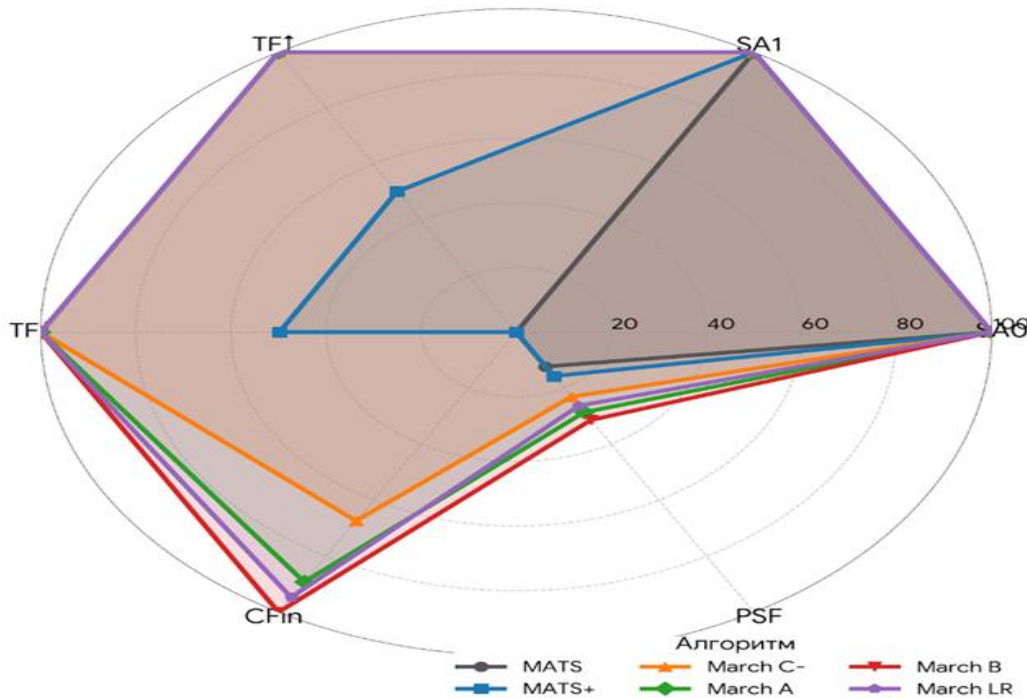


Рисунок 1 – Профілі покриття несправностей для March-алгоритмів (radar chart)

Результати експериментів (рис. 1) демонструють виражену спеціалізацію алгоритмів: MATS+ забезпечує 100% покриття SAF при нульовій ефективності щодо CFin та PSF; March B – збалансований профіль з повним покриттям усіх типів окрім PSF (складність $17n$); March LR є компромісним варіантом (94,67 % CFin, складність $14n$). Детерміновані алгоритми демонструють дуже низьку варіабельність ($CV < 0,5 \%$), стохастичні — помірну ($CV = 1,2\text{--}5,2 \%$), що корелює з кількістю ітерацій. Т-тест LCG проти LFSR не виявив статистично значущих відмінностей ($p > 0,05$ для всіх типів несправностей), що підтверджує адекватність обох генераторів [5].

Для виявлення PSF жоден окремий алгоритм не забезпечує прийнятного покриття, що обумовлює доцільність гібридного підходу: детермінована фаза (March B/LR) + стохастична (Random-100n). При виявленні $> 95 \%$ дефектів на детермінованій фазі стохастична скорочується (early termination), що зменшує

загальну складність на 30–40 %. За результатами моделювання сформовано матрицю вибору методів тестування та алгоритм прийняття рішень для оптимізації діагностики в сучасних обчислювальних системах [6].

Таблиця 1 – Порівняльна матриця покриття несправностей для досліджених алгоритмів

Фактор	Рівні варіювання	Кількість рівнів
Тип алгоритму	MATS, MATS+, March C-, March A, March B, March LR, Random-LFSR	7
Тип несправності	SAF, TF, CFin, CFid, PSF, RDF (refresh)	6
Щільність дефектів	0.1 %, 0.5 %, 1 %, 2 %, 5 % (від розміру пам'яті)	5
Розмір пам'яті	1 KB, 4 KB, 16 KB, 64 KB, 256 KB	5
Розподіл дефектів	Рівномірний, кластеризований	2

Таким чином, розроблено кросплатформний відкритий симулятор тестування пам'яті з модульною розширюваною архітектурою. Комплексна методологія DoE із ~1 млн статистично достовірних експериментів підтвердила, що гібридні методи перевершують детерміновані та стохастичні підходи окремо для виявлення складних несправностей. Програмний засіб і набори даних опубліковано у відкритому доступі (GitHub, ліцензія MIT), що забезпечує відтворюваність результатів.

Література

1. van de Goor A. J. *Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice*. Chichester : Wiley, 1991. 476 p.
2. Hamdioui S., Al-Ars Z., van de Goor A. J. *Testing static and dynamic faults in random access memories*. *Proc. IEEE VLSI Test Symp.* 2002. P. 395–400.
3. Montgomery D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 9th ed. Hoboken : Wiley, 2017. 752 p.
4. McKinney W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython*. 2nd ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2017. 544 p.
5. Adams R. D., Cooley E. S. *Analysis of a deceptively simple model of memory testing*. *IEEE Trans. Computers*. 1991. Vol. 40, No. 4. P. 461–465.
6. Marinescu M. *Simple and efficient algorithms for functional RAM testing*. *Proc. IEEE Int. Test Conf.* 1982. P. 236–239.
7. Zorian Y. *A distributed BIST control scheme for complex VLSI devices*. *Proc. IEEE VLSI Test Symp.* 1993. P. 4–9..

Предиктивна діагностика SSD/NVMe накопичувачів на основі алгоритмів машинного навчання та аналізу динаміки атрибутів S.M.A.R.T.

Главчев М. І., Носков В. І., Середенко О. С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Надійність зберігання даних на твердотільних накопичувачах (SSD/NVMe) є актуальною проблемою сучасних інформаційних систем. Деградація NAND Flash пам'яті призводить до відмов, які складно виявити стандартними методами [1]. Традиційні інструменти (CrystalDiskInfo, GSmartControl) аналізують атрибути S.M.A.R.T. за фіксованими порогами, ігноруючи динаміку змін і міжатрибутні кореляції, що зумовлює хибні спрацьовування (FPR до 70 %). Метою роботи є розробка методу предиктивної діагностики SSD/NVMe на основі аналізу динаміки атрибутів S.M.A.R.T. із застосуванням машинного навчання та реалізація відповідного програмного засобу.

Для навчання та тестування використано датасет Backblaze [2] за 019–2023 роки (2 847 156 записів, 47 523 накопичувачі). Частка відмов – лише 0,58% (~1:100). Дисбаланс класів усунено методом SMOTE [3] з коефіцієнтом 1:5. Оскільки стандартна K-Fold крос-валідація призводить до витoku інформації з майбутнього (data leakage), застосовано TimeSeriesSplit з 5 фолдами (рис. 1). Тестова вибірка (2023 рік, 438 624 записи) повністю відокремлена від навчання.

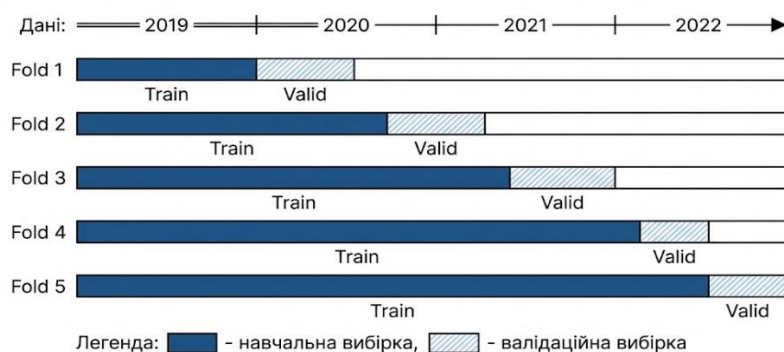
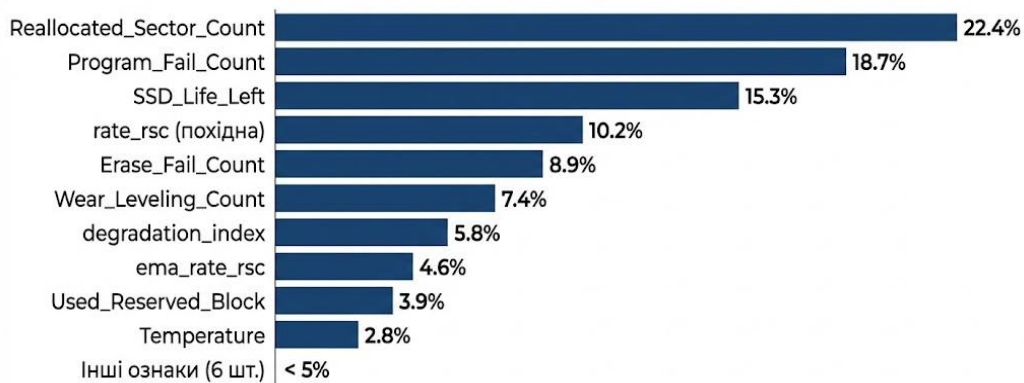


Рисунок 1 – Схема TimeSeriesSplit крос-валідації для часових рядів]

Проведено порівняння 10 алгоритмів машинного навчання: Logistic Regression, Linear SVM, Random Forest, XGBoost [4], LightGBM [5], CatBoost,

RBF SVM, Gaussian NB, KNN та MLP. Градієнтний бустинг показав найкращі результати: XGBoost – AUC-ROC = 0,912, LightGBM – AUC-ROC = 0,908, F1 = 0,761 при часі навчання 18,7 с (у 3,6 разів швидше XGBoost). Для інтерпретації моделі LightGBM застосовано SHAP [6]: топ-3 ознаки – Reallocated Sector Count (22,4 %), Program Fail Count (18,7 %), SSD Life Left (15,3 %) (рис. 2).



Висновок: Атрибути помилок та похідні ознаки домінують

Рисунок 2 – Важливість ознак (топ-10) за SHAP для моделі LightGBM]

На тестовій вибірці модель LightGBM (табл.1) досягла: AUC-ROC = 0,908, Precision = 0,784, Recall = 0,739, F1 = 0,761, MAE прогнозу часу до відмови = 23,4 дні.

Таблиця 1 – Результати на тестовій вибірці (модель LightGBM)

Метрика	Значення	Цільове	Статус	Порівняння
AUC-ROC	0.908	> 0.90	✓ Досягнуто	+65 % vs порогові
Precision	0.784	> 0.75	✓ Досягнуто	FPR 21.6 %
Recall	0.739	> 0.80	Близько	FNR 26.1 %
F1-Score	0.761	> 0.70	✓ Досягнуто	Баланс P/R
MAE (час до відмови)	23.4 дні	< 30 днів	✓ Досягнуто	σ = 18.6 днів

Розроблений метод перевищує порогові підходи на 65 % за AUC-ROC і знижує FPR з 70 % до 21,6 %. На основі методу реалізовано кросплатформний програмний засіб «SSD Health Monitor» (Python, LightGBM, PyQt6), що оцінює стан накопичувача в реальному часі та прогнозує залишковий ресурс [7, 8].

На основі розробленого методу реалізовано кросплатформний програмний засіб «SSD Health Monitor» (Python 3.11, scikit-learn, LightGBM, PyQt6). Система виконує: збір атрибутів S.M.A.R.T. у реальному часі, формування вектора ознак, виклик навченої моделі та відображення ризик-балу й прогнозу залишкового ресурсу. Архітектура засобу включає чотири функціональні модулі: збір даних, попередня обробка, прогнозування та графічний інтерфейс користувача.

Таким чином, розроблено метод предиктивної діагностики SSD/NVMe на основі LightGBM із SMOTE-балансуванням, SHAP-інтерпретацією та Time Series Split-валідацією, що дозволяє завчасно (за ~23 доби) виявляти ризик відмови накопичувача для планового технічного обслуговування і мінімізації втрат даних.

Література

1. Patterson D., Gibson G., Katz R. A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID). *Proc. ACM SIGMOD*. 1988. P. 109–116.
2. Backblaze Hard Drive Stats [Електронний ресурс]. URL: <https://www.backblaze.com/b2/hard-drive-test-data.html> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Chawla N. V., Bowyer K. W., Hall L. O., Kegelmeyer W. P. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2002. Vol. 16. P. 321–357.
4. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proc. 22nd ACM SIGKDD*. 2016. P. 785–794.
5. Ke G., Meng Q., Finley T. et al. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017)*. 2017. P. 3146–3154.
6. Lundberg S. M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems 30*. 2017. P. 4765–4774.
7. Mahdisoltani F., Bianchini J., Grupp L. et al. Improving storage reliability with proactive error recovery. *Proc. USENIX FAST*. 2017. P. 91–104.
8. Narayanan I., Wang D., Jeon M. et al. SSD Failures in Datacenters: What? When? and Why? *Proc. ACM SYSTOR*. 2016. Article 7

Фізико-хімічні критерії оцінки термодинамічного стану системи метал-шлак» при виплавці чавуну та сталі

Белькова А. І., Тогобицька Д. М., Ходотова Н. Є.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України

Взаємодія в системі «метал-шлак» при виплавці чавуну і сталі характеризується перебігом численних реакцій і визначається складом і властивостями розплавів, що утворюються. В Інституті чорної металургії моделювання фізико-хімічних властивостей багатокомпонентних металургійних

розплавів здійснюється з позицій кооперативного іонообмінного процесу, що враховує хімічний та структурний стан системи за допомогою параметрів міжатомної взаємодії [1]. Основними параметрами електронної структури розплавів є хімічний еквівалент складу металу Z^Y (e) та шлаку Δe (e), показник стехіометрії шлаку ρ , що визначається відношенням числа катіонів до числа аніонів та ефективні заряди компонентів Z_i (e) [1].

В результаті розрахунково-аналітичних досліджень експериментальних рівноважних та виробничих даних про склади реагуючих розплавів у відновлювальних та окислювальних умовах [2] розроблено систему фізико-хімічних критеріїв та моделей для опису закономірностей розподілу елементів у системі «метал-шлак» та оцінки її термодинамічного стану. Система включає:

1. Умова узгодженого формування складів металевого та шлакового розплавів у вигляді залежності $Z^Y = f(\Delta e, \rho)$. Відсутність встановленого зв'язку між параметрами чавуну та шлаку свідчить про неузгодженість усіх процесів плавки, порушення її теплового режиму, невідповідність технологічного та шлакового режимів паливно-сировинним умовам, що потребує їх коригування.

2. Критерій для оцінки ступеня досягнення рівноваги по сірці E_S , який дорівнює відношенню фактичного коефіцієнта розподілу сірки L_S до рівноважного L_S^0 : $E_S = L_S / L_S^0 \cdot 100, \%$, де $\lg L_S^0 = f(Z^Y, \Delta e, \rho)$

3. Критерій ефективності процесу рафінування металу та відхилення системи від рівноваги на основі розрахунку параметра перезарядки елемента (сірки, кремнію, марганцю, фосфору) ΔZ_e , що характеризує зміну зарядового стану елемента при переході з однієї фази до іншої. Параметр ΔZ_e визначається як різниця зарядів елемента в металі $[Z_m^e]$ та шлаку $(Z_{ш}^e)$: $\Delta Z_e = [Z_m^e] - (Z_{ш}^e)$.

На рис. 1 показано ступінь відхилення фактичного коефіцієнта розподілу фосфору від рівноважного (а), що дозволяє здійснити оцінку ефективності процесу рафінування сталі у сучасних умовах виплавки сталі в Україні. Також, це можна оцінити за рівнем парного зв'язку параметра «перезарядки» фосфору ΔZ_p з відповідним коефіцієнтом розподілу між металом та шлаком L_p (б).

Зокрема, доволі високе значення коефіцієнту детермінації тісноти цього зв'язку $R^2=0,68$ свідчить про незавершеність процесу дефосфорації марки сталі 480W при її виплавці в конвертері. Найкращу ефективність видалення фосфору зі сталі встановлено для марки ШХ15, що підтверджує низький рівень зв'язку $\lg L_p = f(\Delta Z_p)$ зі значенням $R^2 = 0,18$.

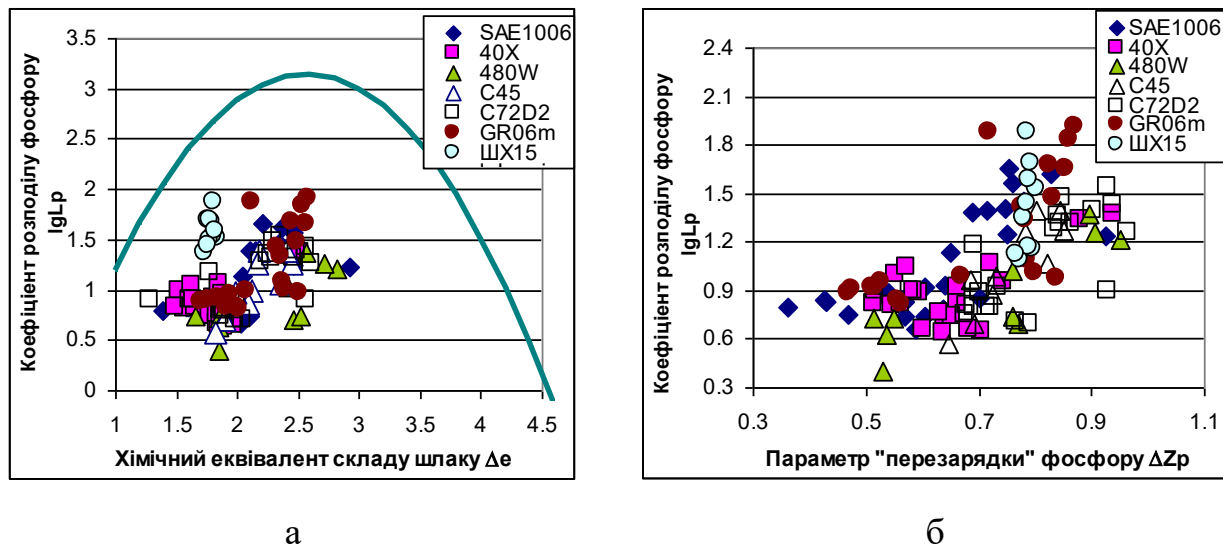


Рисунок 1 – Оцінка ефективності процесу рафінування сталі за ступенем відхилення фактичного коефіцієнта розподілу фосфору від рівноважного (а) та за параметром «перезарядки» фосфору (б) в умовах виплавки сталі в Україні

Ефективність використання критерію E_s для оцінки ступеня досягнення рівноваги по сірці проілюстровано на рис. 2. У реальних умовах доменної плавки розподіл по сірці нижчий за рівноважний та його відхилення зростає пропорційно до зміни L_s . Розглянуто виробничі дані про роботу трьох печей у сучасних умовах з різними паливно-енергетичними добавками: ДП-А працювала з вдуванням природного газу, ДП-В – із застосуванням природного газу та пиловугільного палива, ДП-С – з вдуванням лише пиловугільного палива. Найкращий ступінь досягнення по сірці спостерігається для ДП-А, середнє значення E_s для якої дорівнює 74 %, для ДП-В і ДП-С відповідно ці значення дорівнюють 62 % і 53 %.

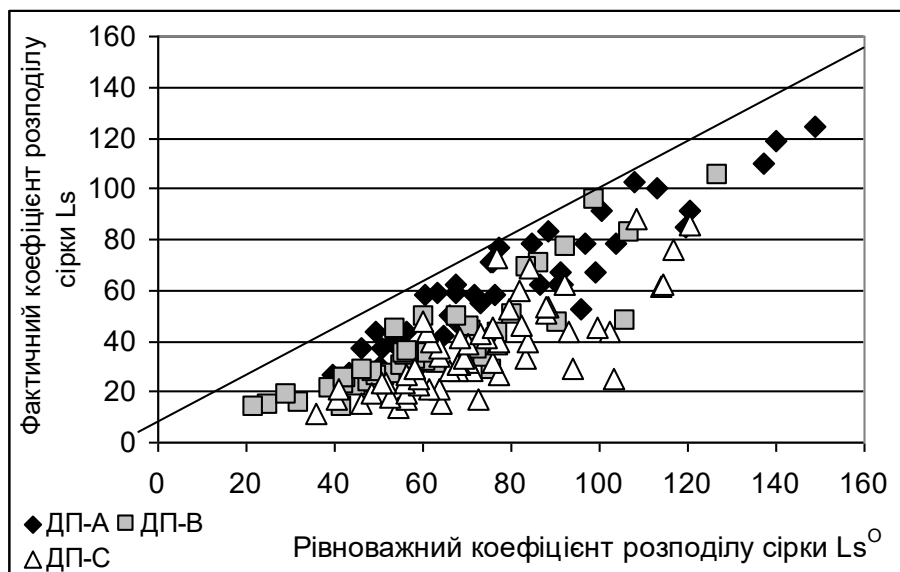


Рисунок 2 – Оцінка ступеня досягнення рівноваги за сірці у сучасних умовах роботи доменних печей: ДП-А з вдуванням природного газу, ДП-В з природним газом і пиловугільним паливом, ДП-С з пиловугільним паливом

Впровадження системи фізико-хімічних критеріїв в АСУТП для оцінки термодинамічного стану системи «метал-шлак» підвищує ефективність вирішення завдань управління шлаковим режимом для отримання чавуну та сталі необхідної якості.

Література

1. Togobitska D. and Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the "Metal-Slag" system based on interatomic interaction parameters. *Lithuanian Journal of Physics*. Vol. 64, No. 1, pp. 58-71 (2024). <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>
2. Тогобицька Д. М., Степаненко Д. О., Белькова А.І., Петров О. П., Ліхачов Ю. М. Банк даних «Металургія» - інформаційна основа прогнозування властивостей фізико-хімічних систем та їх розплавів. *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті*. 2021. №24. С. 140-148. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2021.01.14>

РОЗДІЛ 3.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ В УМОВАХ ЧЕТВЕРТОЇ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

**Аналіз підходів до оцінки впливу штучного інтелекту на економіку
промисловості з позицій його трактування як «закриваючої» технології**

Охтеня О. О.

Інститут економіки промисловості НАН України

У сучасній економічній думці немає єдиної домінуючої теорії, яка описувала б макрорівневий вплив штучного інтелекту (ШІ) на економіку промисловості. Водночас у літературі можна зустріти низку теоретичних підходів, кожен з яких акцентує увагу на конкретному економічному механізмі такого впливу, включаючи обсяги випуску, структуру факторів виробництва, перерозподіл завдань, інституційне середовище, економічне зростання та координацію господарської діяльності (табл. 1).

Розглянемо ці теоретичні підходи з позицій того, як вони розкривають роль ШІ: або як закриваючої технології, яка реалізується через інновації, спрямовані на вдосконалення наявних товарів, процесів або бізнес-моделей, та які на відміну від підривних технологій не руйнують ринок, а навпаки – сприяють зміцненню позицій учасників та підвищують ефективність існуючих рішень. У цьому контексті технології ШІ виконують роль інструменту, що усуває або «закриває» наявні прогалини у продуктивності, функціональності та ефективності існуючих товарів і послуг, підсилюючи їхні характеристики та сприяючи поступовому підвищенню якості пропозиції без суттєвих змін у структурі ринку, що підтримує сформований баланс між його учасниками [7]. У задачно-орієнтованому підході ШІ розглядається як технологія, що автоматизує або доповнює окремі завдання, а не цілі професії чи галузі. Він «закриває» вузькі місця у виробничих процесах, прискорює обробку інформації, підвищує точність прогнозування та знижує

витрати. Переважно автоматизуються рутинні когнітивні операції, тоді як складні управлінські й креативні функції залишаються за людиною.

Таблиця 1 – Узагальнене представлення основних теоретичних підходів до оцінки впливу ІІІ на економіку промисловості

№	Рівень	Теоретична основа	Вплив ІІІ	Зовнішні ефекти
1	Робочі завдання співробітників	Задачно-орієнтований підхід [1]	Автоматизує та (або) доповнює людську працю при виконанні конкретних завдань.	Збільшення продуктивності праці. Скорочення потреби в одних професіях та збільшення – в інших.
2	Окремі підприємства	Підходи на основі моделей поглиблення капіталу та трактування ІІІ як форми капіталу [2]	Перерозподіляє інвестиції у фактори виробництва та підвищує доступність нових технологій. Збільшує капіталоозброєність виробництва.	Підвищення віддачі чинників праці та капіталу. Становлення ІІІ як нового фактору виробництва. Скорочення витрат та підвищення економічної ефективності.
3	Галузь	Розгляд ІІІ як технології широкого призначення та моделі структурної трансформації [3] Моделі ендегенного зростання та спрямованого технічного прогресу [4; 5]	Створення навколо ІІІ екосистеми технологій, компаній та трудових ресурсів. Сприяє «спрямованому» створенню інновацій у цільових сферах. Полегшує доступ до інновацій.	Зміцнення позицій лідерів галузі, які мають ресурси для впровадження ІІІ швидше за конкурентів. Прискорення впровадження інновацій на рівні всієї галузі.
4	Економіка загалом	Інституційні та політико-економічні підходи [6]	Прискорює економічне зростання та науково-технічний прогрес, а також змінює структуру економіки та ринку праці.	Створюються окремі інститути регулювання, перед якими ставляться як економічні, так і соціально-політичні цілі.

У результаті ІІІ підвищує ефективність підприємств без радикального оновлення ринків. Підходи, що трактують ІІІ як форму капіталу, розглядають його як чинник поглиблення капіталоозброєності та зростання віддачі від праці й ресурсів. Найбільші вигоди отримують компанії з доступом до даних, обчислювальних потужностей і організаційних можливостей. Це не створює

нових ринків, але може посилювати концентрацію капіталу та ускладнювати появу нових гравців. У межах концепції технології широкого призначення ШІ потенційно здатний спричинити масштабні зміни, однак у трактуванні як закриваючої технології акцент робиться на його поступовому впровадженні в існуючі виробництва без суттєвого зламу їхньої логіки. Тому нині ШІ переважно виступає як закриваюча технологія, хоча в майбутньому може набути підривного характеру. У моделях ендогенного зростання ШІ інтерпретується як інструмент спрямованого технічного прогресу, що підвищує ефективність праці або капіталу в межах сформованої траєкторії розвитку (path dependence) [8]. Великі компанії інтегрують нові технології у наявні виробничі системи, а напрями інновацій визначаються інтересами ринкових лідерів і відносними цінами факторів виробництва. Це означає, що ШІ посилює вже існуючий економічний уклад. З інституційної та політико-економічної точки зору ШІ функціонує в межах регуляторного середовища, яке адаптується для контролю ризиків у сфері даних, інтелектуальної власності, ринку праці та конкуренції. Держава й суспільні інститути здебільшого прагнуть мінімізувати дестабілізаційні наслідки та підтримати статус-кво. Це підтверджує трактування ШІ як закриваючої технології, що потребує інституційного регулювання в межах існуючої економічної системи. Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що більшість основних теоретичних підходів до впливу ШІ на економіку промисловості трактують такий вплив ближче до розуміння ШІ як закриваючої, а не підривної технології.

Література

1. Acemoglu D., Kong F., Restrepo P. *Tasks at work: comparative advantage, technology and labor demand* (NBER Working Paper No. 32872). Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2024. URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w32872/w32872.pdf
2. Gersbach H., Komarov E., von Maydell R. *Artificial intelligence as self-learning capital. Economic Modelling*. 2025. Vol. 153. Article 107221. URL: <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstreams/578914d1-1ce7-45ca-9dda-cfb7dca1a5c9/download>
3. Damioli G., Van Roy V., Vertesy D., Vivarelli M. *Is artificial intelligence leading to a new technological paradigm? Structural Change and Economic Dynamics*. 2025. Vol. 72. P. 347–359.
4. Acemoglu D. *Directed technical change. The Review of Economic Studies*. 2002. Vol. 69, no. 4. P. 781–809.
5. Cockburn I., Henderson R., Stern S. *The impact of artificial intelligence on innovation* (NBER Working Paper No. 24449). Cambridge : National Bureau of Economic Research, 2018.

6. Terzis P. Law and the political economy of AI production. *International Journal of Law and Information Technology*. 2023. Vol. 31, no. 4. P. 302–330.

7. Залознова Ю. С., Вишневський О. С., Череватський Д. Ю., Божик М. С. Вплив штучного інтелекту як підривної та закриваючої технології на економіку промисловості: перелік завдань для наукового осмислення та вирішення. *Економіка промисловості*. 2025. № 4 (112). С. 3–12.

8. Camuffo A., Gambardella A., Kazemi A. Internal initial conditions and path dependence: an experimental and AI-synthetic study of theories and awareness of unknown events. *Industrial and Corporate Change*. 2025. Vol. 34, no. 6. P. 1280–1308.

Інтелектуальні електромеханічні системи автоматизації як фундамент кіберфізичних комплексів Четвертої промислової революції

Суботін О. І., Задорожня І. М.

Донбаська державна машинобудівна академія

Четверта промислова революція, яка поєднує фізичні, цифрові та біологічні технології, сприяє створенню інтелектуальних систем, що саморегулюються, фундаментально впливає на всі процеси, оскільки докорінно змінює спосіб виробництва, споживання, ведення бізнесу та повсякденне життя людей.

На сучасному етапі Четверта промислова революція характеризується переходом до кіберфізичних комплексів, де фізичні об'єкти тісно інтегровані з обчислювальними алгоритмами. В основі більшості таких комплексів лежать електромеханічні системи (ЕМС), до складу яких входить електропривод (ЕП), що вже перестає бути просто механізмом перетворення енергії та перетворюється на інтелектуальний вузол мережі, здатний до самодіагностики та автономної взаємодії в межах гнучкої виробничої екосистеми.

Реалізація вимог Четвертої промислової революції потребує використання складних математичних моделей, що враховують нелінійності та динамічну зміну параметрів. Зокрема, популярність набули цифрові двійники, які передбачають створення високоточних моделей ЕМС, що працюють паралельно з реальним приводом для прогнозування його стану та оптимізації режимів роботи. Також поширеним є адаптивне та робастне керування, особливості якого полягають у застосуванні методів ідентифікації параметрів у реальному часі (наприклад, спостерігачів стану на базі фільтрів Калмана) для компенсації

зовнішніх збурень. До арсеналу інструментів інженерів також долучились інтелектуальні алгоритми, які на базі використання нечіткої логіки та нейронних мереж дозволяють реалізувати керування ЕП у складних технічних системах із високим ступенем невизначеності.

В умовах промислової революції критичне значення має інформаційна зв'язність:

1. Промисловий інтернет речей (IIoT).

Електроприводи інтегруються в єдину інформаційну мережу через різні протоколи (EtherCAT, PROFINET або OPC UA), що дозволяє збирати великі масиви даних (Big Data).

2. Хмарні та периферійні обчислення.

Розподіл завдань обробки даних між вбудованим контролером привода (швидкі реакції) та хмарними сервісами (глибокий аналіз трендів).

Одним із ключових економічних ефектів Четвертої промислової революції є мінімізація простоїв, оскільки сучасні інформаційні технології дозволяють реалізувати предиктивну діагностику ЕМС (аналіз гармонійного складу струмів та вібрацій для виявлення дефектів підшипників або пошкоджень ізоляції на ранніх стадіях; використання моделей машинного навчання для прогнозування залишкового ресурсу електромеханічного обладнання).

У складних техніко-економічних системах ЕП залишається основним споживачем електроенергії, проте інженери постійно шукають технологічні рішення, які в сучасних системах ЕП з частотним регулюванням та інтелектуальним керуванням дозволять оптимізувати енергоспоживання залежно від технологічного навантаження, а також інтегрувати ЕМС у локальні енергомережі (Microgrids) з відновлюваними джерелами енергії, реалізуючи стратегії Smart Grid.

Розвиток ЕМС в умовах Четвертої промислової революції ґрунтується на синергії силової електроніки, теорії автоматичного керування та сучасних ІТ-технологіях. Впровадження інтелектуальних ЕП дозволяє трансформувати складні технічні системи в адаптивні кіберфізичні комплекси, забезпечити високу гнучкість виробництва та значний економічний ефект за рахунок енергозбереження та предиктивного сервісу.

Використання глибоких нейронних мереж для усунення шуму на зображеннях в умовах обмежених апаратних ресурсів

Войтенко Є. С., Задорожня І. М., Кірієнко Т. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

В умовах Четвертої промислової революції відбувається зростання кількості систем технічного зору, що стають «очима» автоматизованих комплексів. В умовах реального виробництва первинні зображення мають високий рівень цифрового шуму та потребують якісної обробки візуальної інформації в реальному часі. Проте більшість сучасних глибоких нейронних мереж для усунення шуму є важкими в контексті обчислень, що унеможлиблює їх пряме використання на периферійних пристроях (вбудовані контролери або смарт-камери з обмеженими ресурсами).

Основними перешкодами при впровадженні нейромережевого усунення шуму на локальному рівні є висока дескриптивна складність моделей:

1. Велика кількість шарів та параметрів потребує значного обсягу відеопам'яті.
2. Інтенсивні матричні обчислення швидко виснажують автономні джерела живлення.
3. Для систем автоматизації важливо отримувати чисте зображення за мілісекунди, що складно реалізувати на слабкому апаратному забезпеченні.

Для адаптації нейронних мереж до обмежених ресурсів пропонується використовувати наступні підходи: квантування (перехід від обчислень з плаваючою комою до цілочисельних, що дозволяє зменшити розмір моделі в 4 рази при мінімальній втраті якості), видалення надлишкових зв'язків та нейронів, які мало впливають на кінцевий результат, що знижує кількість необхідних операцій додавання та множення, дистиляція знань (навчання компактної мережі на основі виходів великої та складної моделі).

Також доцільним є використання замість класичних глибоких нейронних мереж спеціалізовані архітектури. Наприклад, використання глибинно-роздільних згорток дозволяє досягти зменшення обчислювальної складності,

а використання архітектури з малим числом каналів є більш ефективним рішенням для відновлення зображень, адаптованим під конкретну роздільну здатність датчика. Також слід зазначити, що оптимізовані нейромереві фільтри можуть бути інтегровані в системи безконтактного моніторингу стану ізоляції та контактів, де обробка термографічних зображень має відбуватися миттєво, в роботизовані комплекси обслуговування «розумних» мереж, де камери працюють в умовах сильних магнітних полів, що генерують специфічні завади, а також це доречно для смарт-датчиків вібрацій, в яких візуалізація спектрограм потребує попереднього очищення від шумів перед аналізом штучним інтелектом.

Сучасний розвиток нейроприскорювачів та спеціалізованих інструкцій у мікроконтролерах дозволяє прогнозувати поступове витіснення класичних методів обробки сигналів нейромеревими підходами. Проте, критичним залишається питання уніфікації: розробка універсальної «легкої» архітектури, яка була б однаково ефективною для різних типів шумів (сенсорного, теплового, квантового), залишається відкритою науковою задачею, що стимулює розвиток методів динамічної адаптації нейромерев під конкретні умови експлуатації без необхідності повного перенавчання.

Впровадження оптимізованих глибоких нейронних мереж дозволяє реалізувати фільтрацію зображень безпосередньо на «борту» пристрою, що забезпечує зменшення об'єму переданих даних у хмару (передається вже чисте, стиснуте зображення), підвищення точності подальших алгоритмів розпізнавання об'єктів у складі складних технічних систем, зниження вартості кінцевого обладнання за рахунок відсутності потреби у потужних графічних процесорах. Оптимізація нейронних мереж для усунення шуму відкриває шлях до масового впровадження інтелектуальної обробки сигналів у бюджетних системах автоматизації, при цьому поєднання методів квантування та використання легковажних архітектур дозволяє досягти компромісу між якістю очищення зображення та швидкодією в умовах жорстких апаратних обмежень.

Актуальні тенденції відновлення енергетичного потенціалу України

Приймак М. С., Шеремет О. І., Задорожня І. М.
Донбаська державна машинобудівна академія

Сьогодні енергетика України переживає найскладніший етап у своїй сучасній історії. Повномасштабна збройна агресія проти нашої держави спричинила безпрецедентну енергетичну кризу, яка вийшла далеко за межі локального дефіциту потужностей та поєднала в собі фізичне руйнування критичної інфраструктури, втрату стратегічних генеруючих об'єктів та докорінну зміну архітектури всієї енергосистеми.

Розуміння механізмів цієї кризи є ключем до побудови енергосистеми майбутнього – децентралізованої, цифрової та екологічно чистої, яка стане основою повоєнного відновлення України.

Проте вже сьогодні потрібно працювати над переходом до розподіленої енергетичної системи, що актуалізує необхідність наступних технологічних рішень:

1. Увага до малої генерації.

Замість одного гіганта на 1000 МВт доцільно створення сотні об'єктів малої потужності (газові поршневі та турбінні установки), що зробить енергосистему «невидимою» для масованих атак.

2. Створення енергетичних островів.

Розвиток мікромереж, які здатні працювати автономно у разі відключення від загальнонаціональної мережі.

Також важливим напрямком інженерної діяльності є «зелений» перехід та декарбонізація. Україна інтегрує відновлення у межах європейського курсу European Green Deal, стосовно чого станом на 2025–2026 рр. спостерігаються наступні показники [1, 2]: лише за 2025 рік було введено в експлуатацію понад 1.5 ГВт потужностей ВДЕ, а плани до 2030 року передбачають збільшення частки «зеленої» енергії до 27% у загальному споживанні, відзначається активне використання аграрного потенціалу для виробництва біометану та теплової енергії, що особливо актуально для сільських регіонів.

Оскільки сонячні та вітрові станції залежать від погоди, критично важливим моментом стало впровадження промислових акумуляторів, в контексті чого перехід до гібридних енергетичних комплексів на основі відновлюваних джерел та буферних накопичувачів енергії великої ємності є вкрай актуальним. До того ж для стабільності мережі доречними є накопичувачі, що дозволяють згладжувати піки споживання та забезпечувати резерв потужності в нічний час. Попри розвиток відновлювальних джерел енергії атомна енергетика також залишається «базою» системи, при цьому сучасною тенденцією є технологія, що дозволяє будувати більш безпечні та компактні реактори, які легше інтегрувати в розподілену мережу.

Зважаючи на тренди Четвертої промислової революції енергетичне відновлення взагалі неможливе без інтелектуального управління, що передбачає створення віртуальних моделей мереж для прогнозування навантажень, встановлення розумних лічильників, які дозволяють споживачам бути активними учасниками ринку (продавати надлишки енергії в мережу). Компанія ДТЕК, як найбільший приватний енергохолдинг України, у 2024–2026 рр. перейшла від стратегії «швидкого ремонту» до фундаментальної перебудови енергосистеми, при тому основний акцент робиться на створенні гнучкої, децентралізованої мережі, яка здатна витримувати постійні атаки.

Відновлення енергетики України сьогодні ґрунтується на підході, що поєднує в собі децентралізацію, декарбонізацію та діджиталізацію, які у сукупності передбачають не просто відновлення зруйнованого, а створення найбільш технологічної та гнучкої енергосистеми в Європі, яка здатна витримувати як військові, так і кліматичні виклики.

Література

1. European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
2. Про схвалення Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 червня 2024 р. № 592-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhhvalennia-natsionalnoho-planu-z-enerhetyky-ta-klimatu-na-period-do-2030-roku-592-250624>

Розробка математичної моделі прогнозування часових рядів та оцінювання окупності обчислювального обладнання

Семіюшко Є. О., Гетьман І. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Для прогнозування цін криптовалют у роботі обрано модель ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average, $ARIMA(p,d,q)$) – авторегресійну інтегровану модель ковзного середнього. Вибір цієї моделі обумовлений особливостями часових рядів криптовалют, які характеризуються високою волатильністю, наявністю трендових компонент та нестационарністю [1, 2].

З метою обґрунтування вибору ARIMA було проведено порівняльний аналіз найбільш поширених підходів до прогнозування часових рядів, зокрема моделей експоненційного згладжування, авторегресійних моделей, нейронних мереж типу LSTM та гібридних моделей [3]. Результати аналізу свідчать, що модель ARIMA є найбільш придатною для реалізації поставлених у роботі завдань.

Основними перевагами моделі ARIMA є такі:

- можливість роботи з нестационарними часовими рядами за рахунок процедури диференціювання;
- наявність формального математичного апарату для оцінювання довірчих інтервалів прогнозу;
- висока інтерпретованість параметрів моделі;
- відносно невеликі вимоги до обсягу навчальної вибірки;
- можливість власної програмної реалізації засобами мови програмування C# без використання зовнішніх бібліотек машинного навчання.

Часові ряди цін криптовалют у більшості випадків мають виражений тренд та значні коливання, що свідчить про їх нестационарний характер. Застосування класичних моделей авторегресії $AR(p)$ або ковзного середнього $MA(q)$ до таких даних є обмеженим, оскільки вони передбачають стаціонарність процесу. Модель ARIMA усуває зазначене обмеження шляхом введення оператора

диференціювання порядку d , що дозволяє перетворити нестационарний ряд у стаціонарний та забезпечити коректність подальшого прогнозування.

Важливою перевагою моделі ARIMA є можливість побудови довірчих інтервалів прогнозу на основі оцінки дисперсії залишків моделі. Це дозволяє не лише отримати точкове значення прогнозу, але й оцінити рівень невизначеності результатів, що є важливим при прийнятті фінансових та інвестиційних рішень. На відміну від цього, більшість моделей глибокого навчання, зокрема LSTM, за замовчуванням не забезпечують отримання довірчих інтервалів і потребують додаткових методів статистичної оцінки.

Ще одним суттєвим аргументом на користь ARIMA є інтерпретованість її параметрів. Коефіцієнти авторегресії характеризують вплив попередніх значень часового ряду на його поточний стан, тоді як коефіцієнти ковзного середнього відображають вплив попередніх помилок прогнозування. Завдяки цьому дослідник може пояснити механізм формування прогнозу та оцінити внесок кожної складової моделі. Для нейронних мереж подібна інтерпретація є значно складнішою через велику кількість внутрішніх параметрів та прихованих зв'язків.

Крім того, модель ARIMA не потребує надмірно великих наборів даних для побудови адекватного прогнозу. Для її навчання достатньо декількох сотень спостережень, що відповідає приблизно одному року щоденних даних. У випадку застосування моделей LSTM для досягнення прийнятної точності необхідні значно більші вибірки, які можуть бути відсутніми для нових або малопоширених криптовалют.

З огляду на наведені переваги у роботі прийнято рішення використовувати модель ARIMA(p, d, q), де параметри p та q визначають порядки авторегресійної та ковзної складових відповідно, а параметр d задає порядок диференціювання часового ряду.

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі обрано метод обчислювального експерименту з використанням історичних даних та порівнянням результатів із даними референтних джерел.

Аналітична верифікація прогнозних моделей типу ARIMA є неможливою через стохастичний характер досліджуваних процесів. Результат прогнозування залежить не лише від параметрів моделі, але й від випадкових компонентів, що присутні у часовому ряді. Тому основним способом оцінювання якості прогнозу є експериментальна перевірка на історичних даних (back-testing).

Суть методу полягає в тому, що частина наявних історичних даних використовується для навчання моделі, після чого будується прогноз на наступний часовий інтервал. Отримані прогнозовані значення порівнюються з фактичними даними, що дозволяє оцінити точність прогнозування.

Для перевірки моделі розрахунку окупності обчислювального обладнання результати роботи програмного комплексу порівнюються з результатами спеціалізованих сервісів розрахунку прибутковості майнінгу. Такий підхід дозволяє оцінити правильність реалізації математичних залежностей та коректність програмної реалізації алгоритмів.

Додатково проводиться аналіз чутливості моделі до зміни вхідних параметрів. Для цього використовується підхід One-Factor-at-a-Time (OFAT), відповідно до якого кожен параметр змінюється окремо за фіксованих значень інших параметрів. Отримані результати дозволяють визначити фактори, що найбільше впливають на кінцевий показник окупності обладнання.

Розроблена математична модель складається з двох взаємопов'язаних компонентів: моделі прогнозування часових рядів на основі ARIMA(p,d,q) та моделі розрахунку показника окупності обчислювального обладнання.

Перший компонент використовується для прогнозування динаміки факторів, що впливають на ефективність майнінгу, зокрема вартості криптовалюти та складності мережі. Другий компонент використовує отримані прогнозні значення для розрахунку строку окупності обладнання та оцінки економічної доцільності його використання.

Вхідними даними моделі є:

- історичні значення цін криптовалют;
- параметри мережі блокчейн;

- характеристики обчислювального обладнання;
- тарифи на електроенергію;
- параметри майнінгового пулу.

Результатом роботи моделі є:

- прогноз ціни криптовалюти на заданий часовий горизонт;
- довірчий інтервал прогнозу;
- строк окупності обладнання в статичному сценарії;
- строк окупності обладнання в динамічному сценарії;
- річний показник окупності інвестицій.

Одним із базових елементів моделі ARIMA є авторегресійна складова AR(p). Її принцип полягає в тому, що поточне значення часового ряду визначається на основі декількох попередніх значень цього самого ряду.

У межах такої моделі кожне нове значення ряду формується як лінійна комбінація попередніх спостережень та випадкової похибки. Коефіцієнти авторегресії визначають силу впливу відповідних лагових значень на поточне спостереження.

Авторегресійні моделі є достатньо гнучкими та можуть описувати широкий спектр закономірностей часових рядів. Проте їх застосування обмежується вимогою стаціонарності даних. Якщо часовий ряд має виражений тренд або змінну дисперсію, використання чистої авторегресійної моделі може призводити до суттєвих похибок прогнозування.

З метою усунення цього недоліку в моделі ARIMA використовується процедура диференціювання, яка дозволяє привести ряд до стаціонарного вигляду та забезпечити коректність оцінювання параметрів.

Література:

1. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C., Ljung G. M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 5th ed. Hoboken, NJ : Wiley, 2015. 712 p. ISBN 978-1-118-67502-1.
2. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd ed. Melbourne : OTexts, Monash University, 2018. 382 p. ISBN 978-0-9875071-1-2. URL: <https://otexts.com/fpp2/> (дата звернення: 14.03.2026).
3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*. 1997. Vol. 9, no. 8. P. 1735–1780.

Методологія оцінювання рівня цифрової зрілості підприємства з використанням AI-інструментарію

Никон Ю. Є.

Інститут економіки промисловості НАН України

У роботі розглянуто методологічні підходи до оцінювання рівня цифрової зрілості підприємства з акцентом на використанні сучасного інструментарію штучного інтелекту. Обґрунтовано доцільність переходу від традиційних методів експертної оцінки до автоматизованих підходів, що базуються на аналізі даних та застосуванні Agentic AI. Визначено ключові критерії цифрової зрілості та розкрито можливості їх оцінювання у розрізі ланцюга створення вартості підприємства. Показано, що інтеграція AI-інструментарію забезпечує підвищення об'єктивності, швидкості та масштабованості діагностики, створюючи передумови для обґрунтованого вибору напрямів цифрової трансформації.

У сучасних умовах цифрова трансформація підприємств вимагає переходу від фрагментарного впровадження цифрових технологій до системного управління їх інтеграцією у ланцюги створення вартості. Ключовим етапом такого переходу є оцінювання рівня цифрової зрілості підприємства, яке дозволяє визначити поточний стан цифрового розвитку, виявити вузькі місця та сформулювати обґрунтовані напрями трансформації.

Цифрову зрілість підприємства доцільно розглядати як комплексну характеристику, що відображає ступінь інтеграції цифрових технологій у бізнес-процеси, рівень використання даних у прийнятті рішень, розвиток цифрових компетенцій персоналу та здатність організації до інновацій і адаптації. На відміну від показників цифровізації, які фіксують наявність окремих технологій, цифрова зрілість характеризує системну готовність підприємства до цифрової трансформації.

Методологічно оцінювання цифрової зрілості базується на поєднанні рівневого, компонентного, інтегрального та процесно-орієнтованого підходів. Останній є найбільш релевантним, оскільки дозволяє здійснювати діагностику

у розрізі елементів ланцюга створення вартості та забезпечує прямий зв'язок між результатами оцінювання і управлінськими рішеннями.

Ключовими критеріями оцінювання виступають рівень цифровізації бізнес-процесів, стан технологічної інфраструктури, ефективність управління даними, рівень цифрових компетенцій персоналу, організаційна готовність до змін, а також ступінь інтеграції цифрових рішень у ланцюг створення вартості. Сукупність цих критеріїв формує основу для побудови комплексної моделі цифрової зрілості підприємства.

У сучасних умовах принципово нові можливості для оцінювання цифрової зрілості відкриває застосування інструментарію штучного інтелекту. На відміну від традиційних методів, що базуються на анкетуванні, експертних оцінках та аудитах, AI дозволяє перейти до автоматизованої, безперервної та об'єктивної діагностики.

Застосування AI у даних процесах передбачає використання агентних систем для збору та обробки даних з корпоративних інформаційних систем, ERP/CRM-платформ, сенсорних джерел та логів бізнес-процесів. Методи машинного навчання забезпечують виявлення прихованих закономірностей, оцінювання рівня інтегрованості даних та ідентифікацію слабких місць у цифрових процесах. Інструменти обробки великих даних дозволяють формувати узгоджені метрики цифрової зрілості, придатні до повторного вимірювання та порівняння.

Важливим елементом є використання Agentic AI для побудови систем безперервного моніторингу цифрової зрілості, які здатні автоматично виявляти відхилення, генерувати аналітичні звіти та підтримувати прийняття управлінських рішень. Такий підхід забезпечує перехід від статичної оцінки до динамічної моделі самодіагностики підприємства.

Наукова новизна дослідження полягає у розвитку методологічного підходу до оцінювання цифрової зрілості підприємства шляхом інтеграції інструментарію Agentic AI у процеси діагностики ланцюгів створення вартості. Запропоновано перехід від експертно-орієнтованих до дано-орієнтованих методів оцінювання, що забезпечує автоматизацію збору та аналізу даних,

підвищення об'єктивності результатів та можливість їх безперервного моніторингу. Удосконалено підхід до формування системи критеріїв цифрової зрілості за рахунок врахування рівня інтеграції цифрових рішень у бізнес-процеси.

Таким чином, оцінювання цифрової зрілості підприємства є базовим етапом формування ефективної стратегії цифрової трансформації. Інтеграція AI-інструментарію у ці процеси забезпечує підвищення точності, швидкості та масштабованості діагностики, а також створює передумови для переходу до безперервного моніторингу цифрового розвитку підприємства. Використання агентних систем дозволяє автоматизувати аналіз бізнес-процесів, виявляти цифрові розриви та формувати обґрунтовані управлінські рішення. Таким чином, застосування AI у методології оцінювання цифрової зрілості формує основу для подальшого сценарного планування та оптимізації напрямів цифрової трансформації підприємств.

Література

1. Tubis A. A. Digital maturity assessment model for the organizational and process dimensions. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 20. Article 15122.
2. Голіонко Н., Кондратьєва К. Методичні підходи до оцінювання цифрової зрілості організації. *Молодий вчений*. 2023. № 1 (113). С. 145–150.
3. Никон Ю. Є. Цифрові технології в процесах розвитку підприємств в умовах глобальних криз та пост-кризових періодів. *Вісник економічної науки України*. 2024. № 1 (46). С. 145–149. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2024.1\(46\).145-149](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2024.1(46).145-149)
4. Reznikov R., Turlakova S. Importance of machine learning and data science in modern business. *SSRN*. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4851005>
5. Цифрова трансформація економіки України: можливості і виклики. Національний інститут стратегічних досліджень. Київ: НІСД, 2021. 82 с. URL: <https://niss.gov.ua>

Інноваційна трансформація управління соціальною відповідальністю підприємств в умовах цифровізації економіки

Свинаренко Т. І.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасний етап розвитку економіки характеризується активною цифровою трансформацією, що охоплює всі сфери господарської діяльності. Впровадження цифрових технологій змінює не лише бізнес-процеси, але й підходи до

управління соціальною відповідальністю підприємств. Особливої актуальності сьогодні набуває потреба формування інноваційних моделей управління соціальною відповідальністю підприємства, які враховують і цифрові виклики, і очікування стейкхолдерів, і принципи сталого розвитку.

Соціальна відповідальність підприємств (Corporate Social Responsibility, CSR) є складовою стратегічного управління, спрямованою на досягнення балансу між економічними, соціальними та екологічними цілями. Тому традиційно CSR розглядається як добровільна інтеграція соціальних, екологічних та етичних аспектів у діяльність бізнесу та взаємодія зі стейкхолдерами. Проте, CSR у сучасних умовах трансформується під впливом цифровізації та глобалізації у більш прозору, технологічно-орієнтовану систему управління. Соціальна відповідальність підприємств виходить за межі традиційних благодійних заходів і стає стратегічним інструментом управління підприємством.

Дослідження процесів інноваційної трансформації управління соціальною відповідальністю підприємств доводить про те, що вони базуються на інтеграції CSR у цифрову стратегію, впровадженні ESG-принципів, використанні сучасних цифрових технологій та формуванні цифрової етики [1–3].

Інтеграція CSR у цифрову бізнес-стратегію підприємства передбачає перехід від окремих соціальних ініціатив до системного, стратегічно-орієнтованого управління, в якому CSR виступає невід'ємною складовою цифрової трансформації. Ключовим елементом такого підходу є узгодження бізнес-цілей (ефективність, прибутковість, інноваційність) із соціальними та екологічними пріоритетами (сталий розвиток, інклюзія, екологічна безпека). Крім того, інтеграція CSR у цифрову стратегію передбачає створення цифрових платформ управління, які забезпечують автоматизацію збору та обробки даних, моніторинг соціальних і екологічних показників у режимі реального часу, інтеграцію CSR у систему корпоративного управління (ERP, CRM). Таким чином, CSR трансформується з допоміжної функції у стратегічний елемент цифрової бізнес-моделі підприємства [3].

Сучасною концептуальною основою інтеграції соціальної відповідальності в систему управління підприємством виступає ESG (Environmental, Social, Governance)-підхід. Його застосування забезпечує орієнтоване управління, тобто перехід від декларативної CSR до вимірюваної та підзвітної діяльності. Однією з ключових переваг ESG є системна оцінка соціального впливу, що включає: оцінювання впливу підприємства на довкілля (викиди, ресурси); аналіз соціальних аспектів (умови праці, гендерна рівність, інклюзія); оцінку якості корпоративного управління (прозорість, етика, антикорупційні заходи) [2].

Ключовим драйвером інноваційної трансформації соціальної відповідальності підприємств є цифрові технології, що забезпечують нові можливості для аналізу, прогнозування та управління CSR: Big Data, Штучний інтелект (AI), Блокчейн-технології, Інтернет речей (IoT) [1–3].

Big Data дозволяє здійснювати комплексний аналіз великих обсягів даних щодо соціальних та екологічних аспектів діяльності підприємства. Це сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та точності оцінки CSR-ефективності. Штучний інтелект (AI) використовується для прогнозування соціальних і репутаційних ризиків, аналізу поведінки стейкхолдерів, автоматизації прийняття рішень у сфері CSR. Блокчейн-технології забезпечують високий рівень прозорості та довіри, зокрема у благодійної діяльності; під час відстеження ланцюгів постачання, для контролю використання ресурсів.

Інтернет речей (IoT) дозволяє здійснювати моніторинг екологічних показників у реальному часі, зокрема: рівня викидів; споживання енергії; використання природних ресурсів [1].

У процесі цифровізації економіки особливого значення набуває формування цифрової етики як складової CSR, яка стає невід'ємною складовою соціальної відповідальності підприємств. Цифрова етика передбачає: прозорість алгоритмів прийняття рішень; запобігання маніпуляціям інформацією; відповідальність за наслідки автоматизованих рішень. Формування цифрової етики сприяє підвищенню довіри до підприємства та створює основу для стійкого розвитку в умовах цифрової економіки [2].

Отже, цифрова трансформація економіки створює нові можливості для управління соціальною відповідальністю підприємств. Інноваційні підходи до управління CSR передбачають інтеграцію цифрових технологій, ESG-принципів та соціальних інновацій у бізнес-стратегію розвитку підприємства. Ефективне управління соціальною відповідальністю сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств, зміцненню їх ділової репутації та забезпеченню сталого розвитку, перетворюючи CSR з інструменту соціального впливу на важливий фактор економічного зростання.

Література

1. Зеркаль А. Інновації в управлінні корпоративною соціальною відповідальністю: виклики та перспективи для сучасного бізнесу. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2024. № 6. С. 639-644.
2. Кравченко О., Зінченко А. Цифровізація та соціальна відповідальність: вплив на конкурентоспроможність підприємств. *Економічний простір*. URL: <https://economicspace.pgasa.dp.ua/article/view/332252>
3. Шостак, І. (2024). Концепція ESG як вектор запровадження інноваційних технологій. *Економіка та суспільство*, (62). URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-89>

AI Technologies in Industry: A Regional Economic Dimension¹

Turlakova S.

*Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine,
Center of Excellence "Universities for Science, Informatics and Technologies in
e-Society" of Sofia University "St. Kliment Ohridski",
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Technical University "Metinvest Polytechnics" LLC*

The rapid development of new-stage industries is shaping a new technical-technological and socio-economic reality [1, 2]. The new concept of industrial development, Industry 5.0, which follows Industry 4.0, emphasizes not only automation but also human-technology collaboration, where artificial intelligence (AI) technologies play a particularly important role [3]. The formation and development of a modern smart industry, driven by the rapid advancement of AI technologies,

¹This work is a part of the Project BG16RFPR002-1.014-0004 Center of Excellence "Universities for Science, Informatics and Technologies in e-Society (UNITe)" (Program "Research, Innovation and Digitalization for Smart Transformation" Co-Founded by the EU). The research was supported by the Scholar Rescue Fund of the Institute of International Education and Cornell University.

determines the pace of economic growth and serves as a decisive factor in the global competitiveness of national economies at both the macro- and meso-levels.

Today, the implementation of AI technologies in the operations of enterprises across various industrial sectors is transforming production processes [3], value chains, and business models [4, 5], and generating secondary innovations (complementary technologies, new products, and services) [5, 6]. This means that the impact of AI as a new technology is not local but systemic and cumulative.

The impact of AI on the industrial economy at the regional (meso-) level is systemic in nature and manifests itself through the transformation of production, innovation, and socio-economic processes within specific territories defined by their geography.

At this level, the implementation of AI as an innovative technology affects not only individual enterprises that adopt it, but also the interaction between them, the spatial concentration of production, and the overall competitiveness of the region.

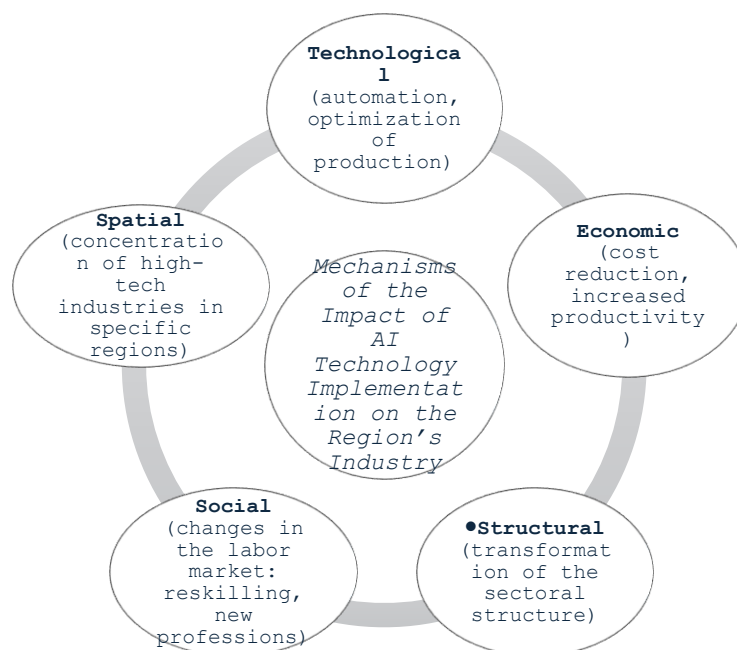


Fig. 1 – Mechanisms of the Impact of AI Technology Implementation on the Region's Industry

Figure 1 shows the mechanisms of the impact of AI technology implementation on the region's industry.

The technological aspect of the impact involves automation, robotization, optimization of production processes, and predictive maintenance of equipment based on the use of AI technologies, which will undoubtedly be reflected in the economic component of regional development. In particular, the implementation of AI technologies at industrial enterprises contributes to:

- increasing enterprise productivity through automation and process optimization;
- reducing production costs (energy, logistics, equipment maintenance, etc.);
- increasing the added value of products through the intellectualization of production.

At the regional level, all of this leads to strengthening the competitiveness of industrial centers and attracting investment. Thus, the implementation of AI technologies at enterprises within regions enhances the formation of regional innovation ecosystems, promotes cooperation between business, universities, and government, and supports the development of high-tech regional clusters. This creates an “innovation accumulation” effect and accelerates the technological development of the region.

In addition, the development and implementation of AI technologies inevitably leads to structural changes in industry, particularly by stimulating the development of new industries (robotics, data analytics, smart manufacturing, etc.) and the modernization of traditional sectors (metallurgy, mechanical engineering).

The implementation of AI technologies in industry also inevitably affects the social component of regional development and the labor market. Among the main consequences for regional labor markets are: changes in employment structure, a reduction in demand for low-skilled labor, an increase in demand for IT specialists, engineers, and analysts, the emergence of new professions, and the need for workforce retraining. At the regional level, this may lead both to employment growth (in developed regions) and to structural unemployment (in less adaptive regions).

At the same time, the implementation of AI technologies in industry may lead to the concentration of innovation in “technology hubs” and the formation of new centers of economic growth, which may increase inequality between regions. Thus, these spatial effects may deepen imbalances between industrially developed and peripheral regions.

Therefore, it can be concluded that the implementation of AI technologies in industrial enterprises can become a key factor in the transformation of the industrial economy at the meso-level and, consequently, at the macro-level, affecting regional economic productivity, structure, innovation potential, and social dynamics.

Among the positive effects of AI implementation at the meso-level on regional economies are increased regional competitiveness, the formation of innovation clusters, and improved investment attractiveness. Among the main potential negative effects are a possible digital divide between regions, displacement of low-skilled labor, and dependence on technological centers.

Overall, it should be noted that the impact of AI implementation in industry on the economy is heterogeneous and depends on the region's ability to integrate new technologies into its economic system, particularly through the effectiveness of local economic policy, the level of digital infrastructure, access to funding and data, and the quality of education and science.

A promising direction for further research is the analysis of the macro-level impact of artificial intelligence on the industrial economy.

Referenses

1. Vyshnevskiy, V. P., Dasiv, A. F., Okhten, O. O., Turlakova, S. S.: *The Industrial Future of Ukraine: Prediction by Mathematical Modelling*. Institute of the Economy of Industry of the NAS of Ukraine, Kyiv (2022). URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/application/pdf/mono_2022-1_compressed.pdf.
2. *Economic-mathematical models and information-communication technologies of smart industry development: monograph*. AF Dasiv, AA Madykh, OO Okhten, SS Turlakova. Kyiv: Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine (2019).
3. *System Analysis and Management of Socio-Economic Systems under Conditions of Instability and Digital Transformation: Models and Methods*, edited by V. Ponomarenko, T. Shabelnyk, D. Zherlitsyn. S. Turlakova. Sofia: UNWE; Kharkiv: Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (2025).
4. Turlakova, S., Lohvinenko, B.: *Artificial Intelligence Tools for Managing the Behavior of Economic Agents at Micro Level*. *Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics* 12, 3–30 (2023). URL: <http://doi.org/10.33111/nfmte.2023.003>.
5. Turlakova, S. S. (Eds.): *The Future of Behavioral Economics: AI Tools in the Digital Space*. *Akademperiodyka* (2024).
6. Turlakova, S. S., Shumilo, Ya. M.: *Influence of AI Tools on Consumer Behavior Management in Digital Marketing*. *Science and innovation* 21(1), 67–81 (2025). URL: <https://doi.org/10.15407/scine21.01.067>.

Автоматизація документообігу про роботу металургійного підприємства

Самойленко Д. О., Касьянюк О. С.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Автоматизація документообігу металургійного підприємства [1] – це впровадження програмної системи, яка забезпечує створення, зберігання, обробку, погодження, передавання та архівування документів, пов'язаних із виробничою, технічною, фінансовою та управлінською діяльністю підприємства.

Для металургійного підприємства документообіг має велике значення, оскільки його робота пов'язана з великою кількістю технологічних операцій, матеріальних потоків, обладнання, персоналу, замовлень, поставок і звітності. У паперовому або частково електронному вигляді документи часто обробляються повільно, можуть губитися, дублюватися або містити помилки. Це ускладнює контроль виробничих процесів і прийняття управлінських рішень.

Автоматизована система документообігу дозволяє централізовано зберігати інформацію про виробничі зміни, випуск продукції, використання сировини, роботу обладнання, заявки на ремонт, складські операції, поставання, замовлення клієнтів, фінансові документи та звіти. Користувачі системи можуть швидко створювати документи за шаблонами, погоджувати їх між підрозділами, відстежувати статус виконання та формувати необхідну звітність.

Основні завдання автоматизації документообігу на металургійному підприємстві (рис. 1) полягають у зберіганні всіх документів в єдиній електронній базі, прискоренні їх створення, погодження та передачі між підрозділами. Така система дає змогу контролювати статус кожного документа, зменшувати кількість помилок завдяки шаблонам і автоматичним перевіркам, швидко формувати виробничі, фінансові та управлінські звіти, а також забезпечувати захист інформації через розмежування доступу відповідно до ролей працівників.

У такій системі можуть використовуватися такі основні типи документів: виробничі звіти, технологічні карти, накладні, заявки на сировину, акти виконаних робіт, документи з охорони праці, журнали обліку обладнання, заявки

на ремонт, договори з постачальниками, рахунки, акти приймання-передачі, накази та службові записки.



Рисунок 1 – Інфографіка про основні завдання автоматизації документообігу на металургійному підприємстві (Згенеровано у ChatGPT на основі результатів аналізу предметної області)

Впровадження автоматизованого документообігу дає змогу підвищити ефективність роботи металургійного підприємства, зменшити витрати часу на обробку документів, покращити контроль виробничих процесів, забезпечити прозорість управління та підвищити якість прийняття рішень. Особливо важливою така система є для великих підприємств, де документи проходять через багато відділів: виробничий, технічний, складський, фінансовий, юридичний, кадровий та адміністративний.

Автоматизація документообігу на металургійному підприємстві є необхідною умовою сучасного управління виробництвом. Вона дозволяє

перейти від повільної паперової обробки документів до швидкої, контрольованої та безпечної електронної системи, що підвищує продуктивність підприємства та якість його управління.

Література

1. Nechepurenko, D. (2018). Optimization of e-document workflow for order calculation. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(4(41)), 53–58. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.134982>

Проектування АРМ спеціаліста складу металургійного підприємства

Роговський О. С., Касьянюк О. С.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Металургійне підприємство має складну систему матеріально-технічного забезпечення [1], оскільки для виробництва постійно використовуються сировина, запасні частини, інструменти, паливо, тара, комплектуючі та готова продукція. Склад є важливою ланкою цього процесу, адже саме через нього проходить приймання, зберігання, облік і видача матеріальних цінностей. Якщо облік на складі ведеться вручну або в розрізнених таблицях, це призводить до помилок у залишках, затримок у пошуку інформації, дублювання документів і складності контролю руху матеріалів.

Проектування автоматизованого робочого місця спеціаліста [2] складу є актуальним, тому що дозволяє підвищити точність складського обліку, скоротити час обробки операцій, забезпечити швидкий доступ до даних про залишки та рух матеріалів. Для металургійного підприємства це особливо важливо, оскільки несвоєчасна видача деталей, сировини або інструментів може впливати на безперервність виробничого процесу. Автоматизація складу також сприяє зменшенню людського фактора, покращенню контролю запасів і формуванню оперативної звітності для керівництва.

АРМ спеціаліста складу має забезпечувати:

1. Облік матеріалів. Ведення довідника сировини, деталей, інструментів та інших цінностей.

2. Приймання товарів. Реєстрація надходження матеріалів на склад.
3. Видача матеріалів. Оформлення відпуску матеріалів у виробництво або інші підрозділи.
4. Контроль залишків. Перегляд актуальної кількості матеріалів на складі.
5. Пошук інформації. Швидкий пошук матеріалів за назвою, кодом, категорією або постачальником.
6. Формування звітів. Створення звітів про надходження, витрати та залишки.
7. Контроль мінімальних запасів. Виявлення позицій, кількість яких нижча за встановлену норму.

Програмний комплекс АРМ спеціаліста складу може містити такі функціональні модулі (рис. 1):

1. Модуль авторизації користувачів. Забезпечує вхід до системи за логіном і паролем, а також розмежування прав доступу.
2. Модуль довідників. Містить інформацію про матеріали, одиниці виміру, постачальників, працівників, склади та підрозділи підприємства.
3. Модуль складських операцій. Дозволяє реєструвати надходження, списання, переміщення та видачу матеріалів.
4. Модуль контролю залишків. Відображає поточну кількість матеріальних цінностей на складі та попереджає про критичні залишки.
5. Модуль звітності. Формує звіти за періодами, категоріями матеріалів, постачальниками або підрозділами.
6. Модуль пошуку та фільтрації. Дає змогу швидко знаходити потрібні записи у базі даних.

У результаті проектування АРМ спеціаліста складу металургійного підприємства буде створено інформаційну систему, яка дозволить автоматизувати основні складські процеси, зменшити кількість помилок під час обліку, прискорити обробку документів і забезпечити керівництво актуальною інформацією про стан матеріальних запасів.

Таке програмне рішення підвищує ефективність роботи складу, покращує контроль за рухом матеріальних ресурсів і сприяє стабільній роботі виробничих підрозділів металургійного підприємства.



Рисунок 1 – Інфографіка про функціональні модулі програмного комплексу АРМ спеціаліста складу (Згенеровано в ChatGPT на основі проєктування ПК АРМ автором)

Література

1. Ковалишин М. Я., Парамуд Я. С. Особливості розроблення вебдодатку для системи управління складським приміщенням. *Computer Systems and Networks*. 2024. Vol. 6, № 2. С. 107–122. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2024.02.107>.
2. Custodio L., Machado R. Flexible automated warehouse: a literature review and an innovative framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. Vol. 106. P. 533–558. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>.

РОЗДІЛ 4.

НАПРЯМИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ СМАРТСПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Інтеграція IoT та адитивних технологій у виробничі процеси

Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) та адитивного виробництва є одним із ключових напрямів розвитку сучасної промисловості в умовах цифрової трансформації. Концепція Industry 4.0 передбачає створення інтелектуальних кібер-фізичних виробничих систем, у яких фізичні процеси тісно пов'язані з цифровими технологіями, що забезпечують автоматизацію, моніторинг у реальному часі та оптимізацію виробництва [1, 2].

Адитивні технології, зокрема 3D-друк, відкривають нові можливості для виготовлення геометрично складних виробів із високим рівнем точності, мінімальними відходами матеріалів та скороченням часу на прототипування. Поєднання адитивного виробництва з IoT дозволяє створювати адаптивні, інтелектуальні виробничі системи, здатні реагувати на зміни умов у режимі реального часу та самостійно коригувати параметри процесу [3, 4].

Технології IoT забезпечують безперервний збір даних за допомогою різноманітних сенсорів (температурних, вібраційних, акустичних, тепловізійних та оптичних), які контролюють ключові параметри виробничого процесу, такі як температура розплаву, швидкість екструзії, вібрації, деформації та стан обладнання. Ці дані в режимі реального часу передаються на edge-рівень або в хмарні аналітичні системи, де з використанням методів машинного навчання та штучного інтелекту здійснюється оперативне управління та прийняття рішень [1, 5].

Однією з ключових переваг такої інтеграції є реалізація концепції «розумного виробництва» (smart manufacturing). Обладнання отримує можливість самостійно адаптувати параметри друку (температуру, швидкість, потужність лазера тощо) для досягнення оптимального результату. Це суттєво

зменшує вплив людського фактора, підвищує ефективність використання матеріалів і енергії, а також сприяє переходу до Industry 5.0 - моделі, орієнтованої на людину (human-centric), де технології доповнюють, а не замінюють фахівця [2, 6].

Практичне застосування таких систем включає моніторинг процесу 3D-друку в реальному часі з автоматичним виявленням дефектів. Наприклад, системи на базі тепловізійних камер і конволюційних нейронних мереж (CNN) дозволяють виявляти ключові пори (keyhole pores), stringing, warping та інші дефекти під час друку з точністю понад 90–95 %. У дослідженнях 2025–2026 років показано, що впровадження закритої петлі управління (closed-loop control) дає змогу зменшити кількість браку на 70–85 % і значно скоротити матеріальні відходи [7, 8].

Світові приклади демонструють ефективність такого підходу: компанії на кшталт Siemens активно застосовують AI та IoT для контролю якості металевих деталей, виготовлених методом лазерного спікання порошку (LPBF), а дослідницькі групи використовують комбінацію машинного зору та фізико-інформованих нейронних мереж (PINN) для прогнозування та запобігання дефектам у реальному часі. Подібні рішення дозволяють не лише виявляти аномалії, але й автоматично коригувати параметри або призупиняти процес для уникнення браку [5, 7].

Разом із значними перевагами існують і певні виклики. До них належать висока початкова вартість впровадження, складність інтеграції IoT-систем з legacy-обладнанням, відсутність повної стандартизації протоколів, а також критична необхідність забезпечення кібербезпеки. Адитивне виробництво особливо вразливе до атак на цифрові моделі (маніпуляція STL-файлами), що може призвести до крадіжки інтелектуальної власності або виготовлення неякісних/небезпечних деталей [9, 10].

Важливим аспектом успішного впровадження є підготовка кваліфікованих кадрів. Освітні програми мають бути міждисциплінарними, поєднуючи знання з механічної інженерії, матеріалознавства, програмування embedded-систем,

аналізу даних та кібербезпеки. У контексті України це особливо актуально для відновлення промисловості та реалізації стратегії smart specialisation регіонів.

Отже, інтеграція IoT та адитивних технологій є потужним драйвером підвищення конкурентоспроможності підприємств, переходу до стійкого та персоналізованого виробництва. Подальші дослідження доцільно спрямовувати на розробку ефективних моделей масштабного впровадження цих технологій у різних галузях (авіа- і автомобілебудування, медична техніка, оборонна промисловість), створення національних платформ цифрових двійників, а також на посилення захисту кібер-фізичних систем [2, 11, 12].

Література

1. Dehghan S. et al. The Integration of Additive Manufacturing into Industry 4.0 and Industry 5.0: A Bibliometric Analysis (Trends, Opportunities, and Challenges). *Machines*. 2025. Vol. 13, no. 1. P. 62. URL: <https://doi.org/10.3390/machines13010062>
2. Soori M., Arezoo B., Dastres R. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
3. Khorasani M. et al. A review of Industry 4.0 and additive manufacturing synergy. *Rapid Prototyping Journal*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1108/rpj-08-2021-0194>
4. Khorasani M. et al. A review of Industry 4.0 and additive manufacturing synergy. *Rapid Prototyping Journal*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1108/rpj-08-2021-0194>
5. Bhandarkar V. V., Das B., Tandon P. Real-time remote monitoring and defect detection in smart additive manufacturing for reduced material wastage. *Measurement*. 2025. Vol. 252. P. 117362. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.117362>
6. Chingate E. et al. OrbiFragments. A tool for automatic annotation of orbitrap MS2 spectra using networks grade as selection criteria. *MethodsX*. 2023. Vol. 11. P. 102257. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102257>
7. Wang W. et al. A Real-Time Defect Detection Strategy for Additive Manufacturing Processes Based on Deep Learning and Machine Vision Technologies *Micromachines*. 2023. Vol. 15, no. 1. P. 28. URL: <https://doi.org/10.3390/mi15010028>
8. Ryalat M. Smart additive manufacturing: An IoT-driven framework for predictive failure detection and sustainable operation. *Additive Manufacturing Frontiers*. 2025. P. 200264. URL: <https://doi.org/10.1016/j.amf.2025.200264>
9. Kumar M., Epiphaniou G., Maple C. Security of cyber-physical Additive Manufacturing supply chain: Survey, attack taxonomy and solutions. *Computers & Security*. 2025. Vol. 157. P. 104557. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2025.104557>
10. Explore Industrial 3D Printing Solutions. *Stratasys Additive Printing*. Explore Industrial 3D Printing Solutions. Stratasys Additive Printing. URL: <https://www.stratasys.com/en/>
11. Nasir V. et al. Human-centric Industry 5.0 manufacturing: a multi-level framework from design to consumption within Society 5.0. *International Journal of Sustainable Engineering*. 2025. Vol. 18, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1080/19397038.2025.2551000>
12. Chigilipalli B. K. et al. A Review on Recent Trends and Applications of IoT in Additive Manufacturing. *Applied System Innovation*. 2023. Vol. 6, no. 2. P. 50. URL: <https://doi.org/10.3390/asi6020050>

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ (СТАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ, СТОХАСТИЧНІ, ІМІТАЦІЙНІ, ЛОГІКО-ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ, ТОЩО)

Розробка імітаційної моделі двомасового лабораторного стенда

Бабаш А. В., Новгородський О. О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Якість та продуктивність сучасного виробництва залежить від надійності електромеханічного обладнання. Механічні коливання та вібрації призводять до передчасного зносу механічних вузлів та елементів. Для діагностики електромеханічного обладнання використовуються різні засоби діагностики. За виглядом динамічної швидкісної характеристики (залежності кутової швидкості двигуна або механізму) можна визначити дефекти механічних передач (радіальні биття, пружні коливання та ін.). Імітаційна модель дозволяє дослідити вплив жорсткості механічної передачі, коефіцієнту демпфування, люфту на вигляд динамічних швидкісних характеристик.

Мета роботи – розробка імітаційної моделі електропривода двомасового стенду.

Задачі дослідження:

- літературний огляд;
- розробка імітаційної моделі електропривода двомасового стенду.

Для дослідження впливу жорсткості механічної передачі, коефіцієнту демпфування, люфту на вигляд динамічних швидкісних характеристик було розроблено двомасовий лабораторний стенд (рисунок 1).

Даний стенд складається з асинхронного двигуна малої потужності АІР56А4 [1] (перша маса), двох імпульсних датчиків швидкості ПДФ-5 (для контролю швидкості кожної маси), гнучкого або жорсткого валу, другої складеної інерційної маси [2]. Кінематична схема двомасового електропривода лабораторного стенду наведена на рисунку 2.

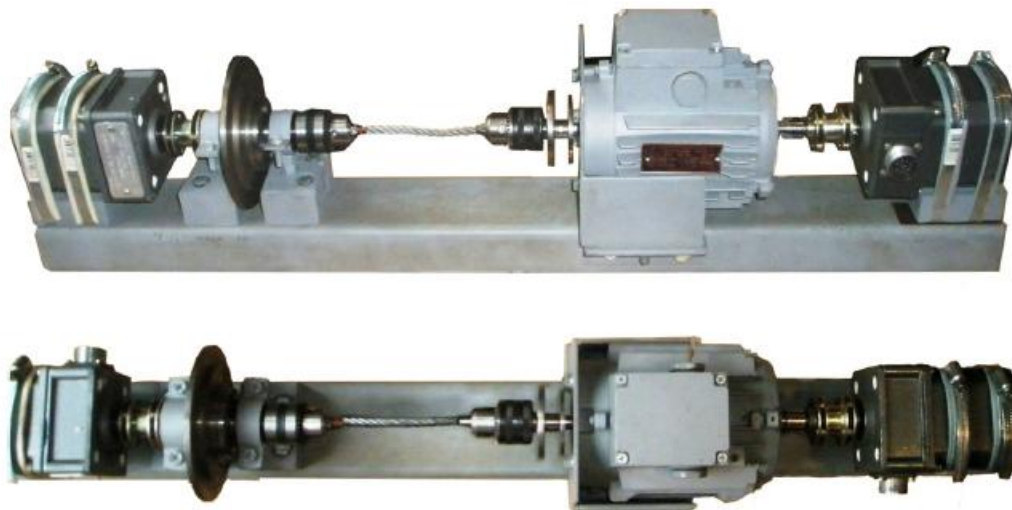


Рисунок 1 – Двомасовий лабораторний стенд

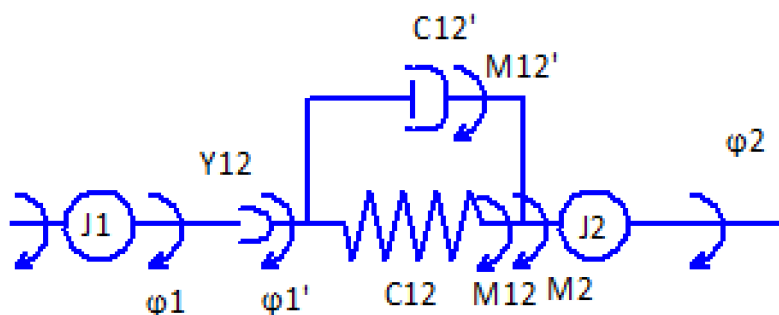


Рисунок 2 – Кінематична схема двомасового лабораторного стенда

Параметри кінематичної схеми лабораторного стенду: φ_1, φ_2 – кути повороту першої та другої мас; γ_{12} – люфт механічної передачі; C_{12} – жорсткість механічної передачі; C_{12}' – коефіцієнт демпфування (в'язкого тертя).

Система рівнянь з урахуванням жорсткості механічної передачі, демпфування та люфту (1)

Параметри схеми заміщення асинхронного двигуна та коефіцієнти моделей розраховані з використанням методики [3]. Модель двомасового стенда Matlab Simulink з урахуванням жорсткості механічної передачі, люфту та демпфування наведена на рисунку 3.

$$\begin{cases} \varphi_1 = \frac{M_1 - M_2}{J_1 p^2}, \\ M_2 = M_{12} + M_{12}' = C_{12}(\varphi_1' - \varphi_2') + C_{12}'(\omega_1 - \omega_2), \\ \varphi_1' = \begin{cases} \varphi_1 - \gamma_{12} \text{sign} \varphi_1, & \varphi_1 > 0, |\varphi_1 - \varphi_1'| \geq \gamma_{12}, \\ \varphi_1 + \gamma_{12} \text{sign} \varphi_1, & \varphi_1 < 0, |\varphi_1 - \varphi_1'| \geq \gamma_{12}, \end{cases} \\ \varphi_2 = \frac{M_2}{J_2 p^2}. \end{cases} \quad (1)$$

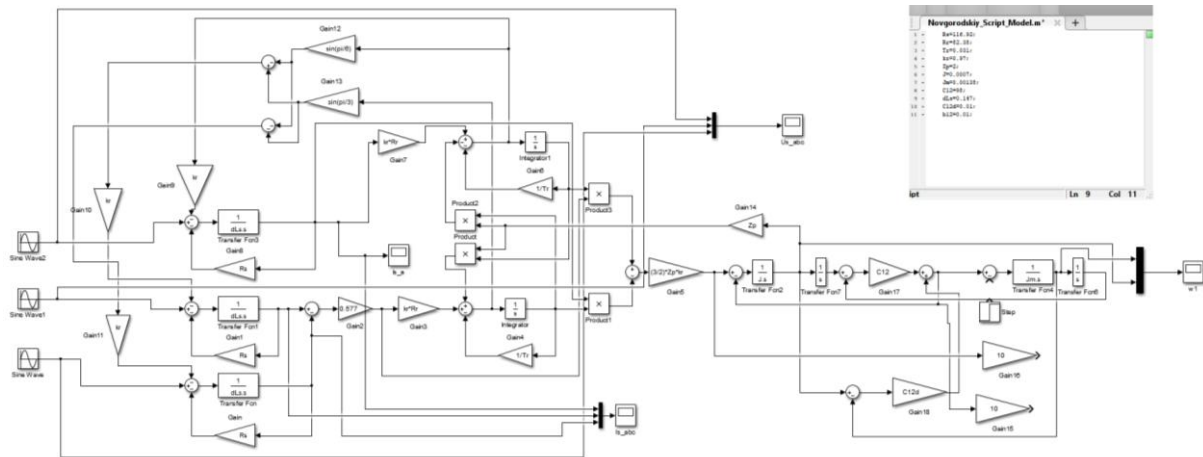


Рисунок 3 – Імітаційна модель двомасового стенда в Matlab Simulink

Результати моделювання у вигляді залежності кутових швидкостей без урахування демпфування та з урахуванням демпфування наведено на рисунку 4.

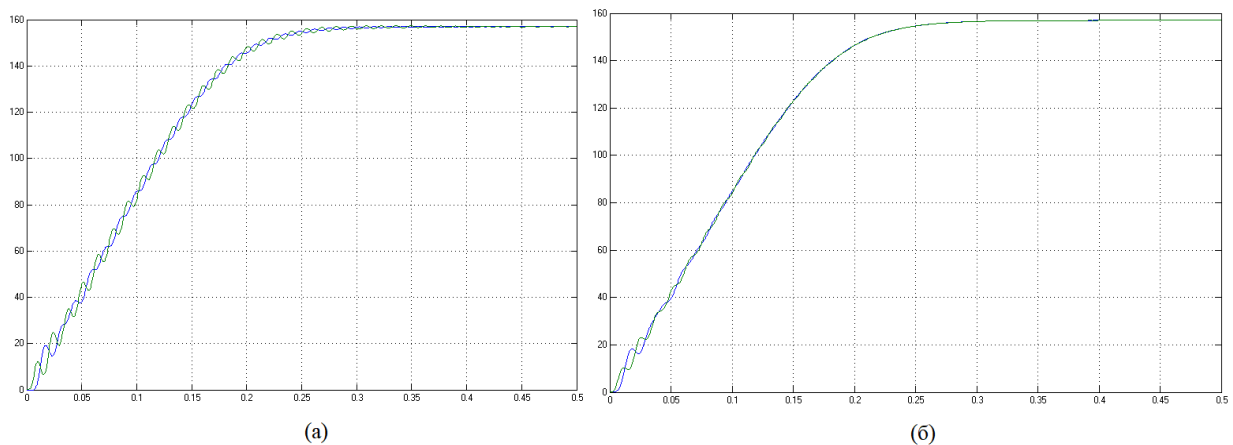


Рисунок 4 – Результати моделювання у вигляді залежностей кутової швидкості першої та другої мас без впливу демпфера (а) та з впливом демпфування (б)

Таким чином, було розроблено імітаційну модель двомасового лабораторного стенду в Matlab Simulink. Отримано графіки перехідних характеристик кутової швидкості першої (асинхронний двигун) та другої маси (інерційна маса) без впливу демпфера та з впливом демпфера (рідина або в'язке середовище).

Література

1. Квашин В. О., Бабаши А. В. Методика визначення динамічної швидкісної та токової характеристики асинхронного електроприводу. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2015. № 19 (95). С. 28–32.
2. Квашин В. О., Бабаши А. В. Розробка алгоритму та програми для отримання динамічної швидкісної характеристики. *Науковий Вісник ДДМА*. 2016. № 3 (21Е). С. 165–175.
3. Нестюркіна Є. В., Косенко В. А., Толканов А. С., Квашин В. О. Порівняння динамічних моделей асинхронного двигуна з використанням розрахункових та каталожних даних. *Вісник кафедри “Електротехніка” за підсумками наукової діяльності студентів*. Донецьк: ДонНТУ, 2014. С. 127-129.

Оптимальний вибір типів хмарних ресурсів у розподіленому сервісі транскодування відео

Єрьомін М. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Зростання обсягів відеоконтенту в Інтернеті ставить нові вимоги до ефективності хмарних сервісів транскодування. Кожне завдання кодування потребує виділення хмарного інстансу з достатнім обсягом оперативної пам'яті (RAM). Обрання зовеликого інстансу (over-provisioning) призводить до переоплати, а замалого (under-provisioning) – до помилок нестачі пам'яті (OOM) та аварійного завершення задачі. Тому актуальною є розробка методу автоматичного вибору мінімально достатнього типу інстансу.

Існуючі дослідження зосереджуються переважно на передбаченні часу транскодування та завантаження CPU [1, 2], тоді як прогнозування споживання RAM – ресурсу, нестача якого є критичною – залишається недостатньо дослідженим. Крім того, більшість робіт обмежуються лабораторними експериментами без валідації в промисловій експлуатації.

У даній роботі запропоновано підхід на основі моделі Random Forest для передбачення споживання RAM при транскодуванні відео та автоматичного вибору оптимального типу хмарного інстансу. Ключова особливість підходу – врахування апаратних характеристик цільового інстансу (CPU, RAM, кількість потоків) як вхідних параметрів моделі. Алгоритм ітеративно перебирає типи інстансів від найменшого до найбільшого, передбачаючи споживання RAM для кожного, та обирає перший, де передбачене споживання не перевищує доступний обсяг пам'яті.

Навчальні дані зібрано шляхом профілювання транскодування на реальних хмарних інстансах DigitalOcean та AWS. Для кожного тестового відео створювались інстанси різних типів, на яких запускалось кодування через ffmpeg зі збором метрик RAM та swap. Загалом зібрано 28 102 зразки для 27 комбінацій кодеків (5 вхідних: H.264, HEVC, AV1, VP9, ProRes × 3 вихідних: libx264, libx265, libvpx-vp9 × 2 архітектури). Для кожної комбінації навчено окрему модель Random Forest (500 дерев).

Порівняння шести моделей регресії показало, що Random Forest та Gradient Boosting забезпечують найкращу точність ($R^2 \approx 0.94$), значно перевершуючи лінійні моделі ($R^2 = 0.92$) та SVR ($R^2 = 0.87$). Аналіз важливості ознак виявив домінуючу роль площі вихідного відео (90.5% важливості). Random Forest обрано для впровадження через меншу максимальну помилку на екстремальних значеннях.

Для оцінки практичної ефективності проведено порівняння ML-підходу з евристичним алгоритмом (baseline), що використовує коефіцієнтну формулу:

$$M = A_{out} \cdot k + 100, \quad (1)$$

де A_{out} – площа вихідного відео в пікселях, коефіцієнт k залежить від роздільної здатності та кодеку. Результати наведено в таблицях 1–2.

RF зменшує середню абсолютну помилку передбачення RAM вдвічі (з 1 263 до 645 МБ), знижує ризик ООМ з 13.9 % до 8.8 % (на 37 %), а медіанний дефіцит RAM при помилках – з 1 357 до 762 МБ.

Таблиця 1 – Точність передбачення споживання RAM

Метрика	Евристика	Random Forest	Покращення
MAE (МБ)	1 263	645	49.0%
MAPE (%)	50.4	20.1	60.2%
R ²	0.738	0.912	+0.174

Таблиця 2 – Точність вибору типу інстансу (5 632 тестових зразки)

Метрика	Евристика	Random Forest
Точний вибір інстансу	71.9 %	79.4 %
Under-provisioning (OOM)	13.9 %	8.8 %
Безпечні вибори (correct + over)	86.1 %	91.2 %

Найбільший вигрaш спостерігається на високих роздільних здатностях: на 1440 р точність зростає з 46.5 % до 73.6 %, на > 8К ризик OOM зменшується з 34.4 % до 1.7 % (рис. 1).

Обидва підходи забезпечують ~85 % економії порівняно зі стратегією використання максимального інстансу. Вартість RF (\$0.043/год) близька до теоретичного оптимуму (\$0.041/год). Екстраполяція на виробниче навантаження (89676 годин/місяць) показує місячну економію ~\$2 800 порівняно зі стратегією Always-Max.

Систему впроваджено у промислову експлуатацію в сервісі Qencode на інфраструктурі DigitalOcean та AWS. Аналіз production-логів (32736 передбачень за 3 дні, 833 master-інстанси) підтвердив стабільну роботу: збіг евристики та RF становить 90.8 %, розбіжності концентруються на високих роздільних здатностях (4K, 8K), частота fallback – менше 0.5 %. Медіанний час інференсу – 2–4 секунди.

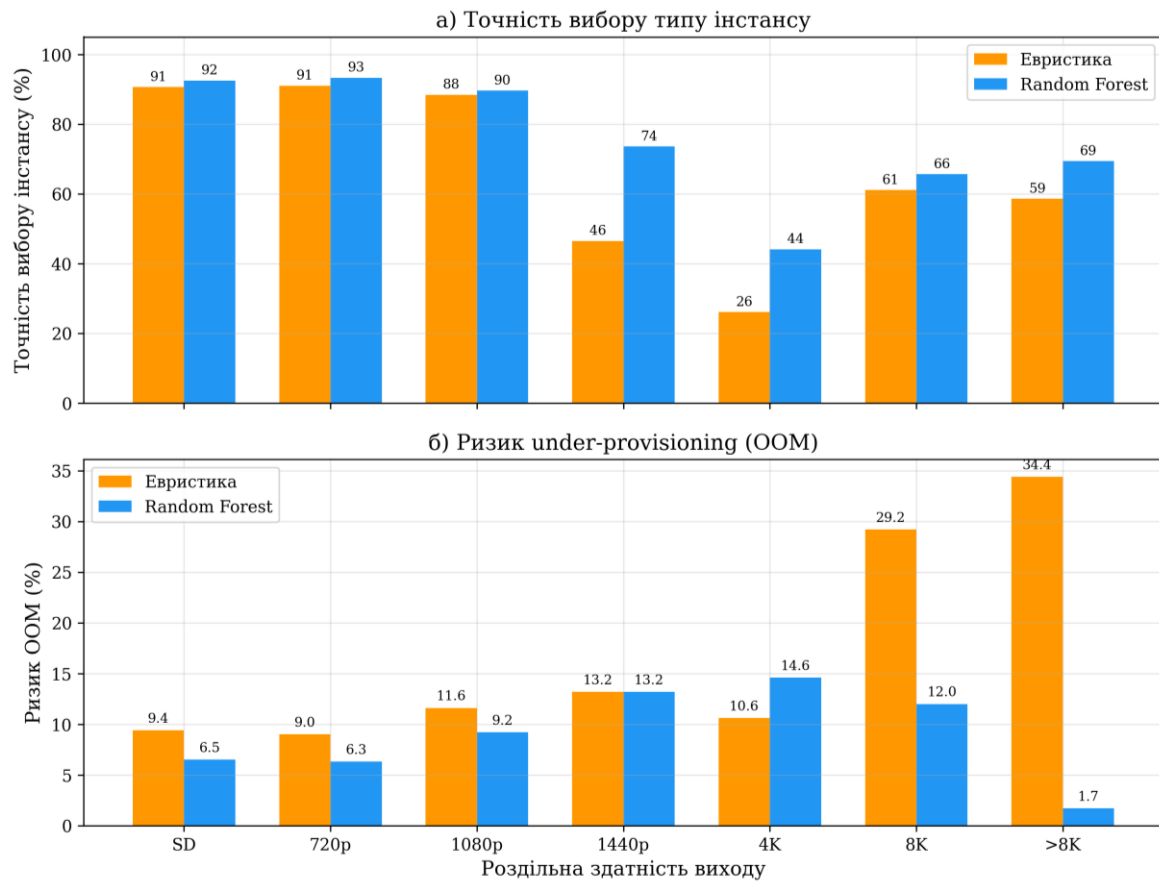


Рисунок 1 – Порівняння евристики та Random Forest за роздільною здатністю

Перспективи подальших досліджень включають: онлайн-навчання моделей на основі production-метрик; врахування вартості OOM у функції оптимізації; підтримку GPU-інстансів; зменшення часу інференсу через постійно завантажений сервіс передбачень.

Література

1. T. Deneke et al. Online architecture for predicting live video transcoding resources. *Journal of Cloud Computing*, Springer, 2019.
2. X. Li, M. Amini Salehi et al. Performance Analysis and Modeling of Video Transcoding Using Heterogeneous Cloud Services. *IEEE TPDS*, vol. 30, no. 4, 2019.
3. M. Darwich et al. Efficient Cloud Provisioning for Video Transcoding: Review, Open Challenges and Future Opportunities. *IEEE Access*, 2018.
4. Moina-Rivera et al. Cloud media video encoding: review and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, 2024.

Моделі оптимізації доставки швидкопсувної продукції з мінімізацією часу та витрат на перевезення

Ляшов О. С.

Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасних умовах глобалізації та інтенсифікації товарообігу логістика швидкопсувних продуктів стає одним із найбільш складних та стратегічно важливих напрямів розвитку економіки. Зростання вимог споживачів до якості та свіжості товарів, а також необхідність мінімізації втрат ресурсів вимагають впровадження високотехнологічних рішень у транспортні процеси. Специфіка швидкопсувних вантажів полягає в обмеженому терміні їхньої придатності та високій чутливості до умов навколишнього середовища - температури, вологості та тривалості транспортування. Будь-яке відхилення від заданого температурного режиму запускає незворотні процеси псування, що призводить до економічних втрат, штрафних санкцій та репутаційних ризиків.

Класична транспортна задача розглядає вантаж як інваріантний у часі об'єкт, проте для швидкопсувних продуктів якість є динамічною величиною, що постійно зменшується під час руху. Це вимагає суттєвої модифікації існуючих моделей через інтеграцію математичних алгоритмів деградації якості та механізмів адаптивного управління. Ключовою інновацією у дослідженні є використання математичної моделі «Freshness Index» (індексу свіжості), що дозволяє оцінювати залишкову якість продукту на кожному етапі доставки залежно від температурного режиму та часових вікон обслуговування. Розрахунок цього індексу базується на кінетичному рівнянні першого порядку (модель Арреніуса), де константа швидкості псування експоненціально залежить від температури.

Математична постановка задачі формулюється як динамічна маршрутизація транспортних засобів із часовими вікнами (Dynamic VRPTW). Узагальнена цільова функція спрямована на мінімізацію сукупних витрат, які охоплюють прямі транспортні видатки (пальне, амортизація), вартість втраченої якості продукції та штрафи за порушення графіку поставок. Для знаходження оптимальних рішень використовується поєднання точних методів дискретної оптимізації (алгоритм гілок

та меж) та евристичних підходів, зокрема апроксимації Фогеля, що забезпечує баланс між швидкістю розрахунків та математичною точністю.

Важливим аспектом дослідження є розробка інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, яка використовує технології Інтернету речей (IoT) для моніторингу умов зберігання в режимі реального часу. При виникненні критичних подій, таких як поломка холодильного обладнання або значні затори на дорогах, диспетчер в системі ініціює динамічне перепланування маршруту. Алгоритмічне забезпечення дозволяє перераховувати шлях «на льоту», надаючи пріоритет доставці тим клієнтам, де градієнт падіння індексу свіжості є найвищим.

Проектування архітектури такого програмно-математичного комплексу здійснено з використанням CASE-засобів та методологій структурного (SADT) і об'єктно-орієнтованого (UML) аналізу. Модель бізнес-процесу охоплює три фази: пре-планування, операційний моніторинг та динамічну адаптацію. Це дозволяє реалізувати принцип «людина в контурі управління», де система виступає інтелектуальним помічником диспетчера, пропонуючи верифіковані сценарії евакуації вантажу при загрозі його псування. Впровадження запропонованих моделей та інформаційних технологій забезпечує безперервність «холодового ланцюга» і дозволяє знизити обсяги утилізації неліквідних товарів на 20–25 %. Таким чином, перехід від статичного планування до адаптивних моделей управління логістикою є необхідною умовою підвищення економічної ефективності та гарантування безпеки швидкопсувної продукції для кінцевого споживача.

Література

1. Labuza T. P. *Shelf-life dating of foods*. Westport: Food & Nutrition Press, 1982. 500 p.
2. Toth P., Vigo D. (Eds.). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. Second Edition. Philadelphia: SIAM-Society for Industrial and Applied Mathematics, 2014. 479 p.
3. Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management*. 5th Edition. Harlow: Pearson Education Limited, 2016. 328 p.
4. Wang X., Li D. A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. *Omega*. 2012. Vol. 40, Issue 6. P. 906–917.
5. Григорак Т. Г. *Логістичний менеджмент: підручник*. Київ: Зовнішня торгівля, 2014. 384 с.
6. Hsiao H. I., van der Vorst J. G. A. J., Kemp R. G. M., (Omta) S. W. F. Developing a decision-making complexity model for internal logistics operations of food supply chains. *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 101, Issue 4. P. 391–401.

Моделі оптимізації маршрутів транспортування небезпечних матеріалів з урахуванням факторів ризику

Потаренко І. С.

Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасному світі автотранспорт залишається одним із ключових засобів перевезення вантажів, зокрема небезпечних матеріалів, що потребують підвищеної уваги. Інтенсифікація дорожнього руху, щільна забудова міських районів та складність дорожньої інфраструктури суттєво збільшують ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Традиційні підходи до планування маршрутів, які орієнтовані переважно на мінімізацію витрат або довжини маршруту, виявляються недостатніми для гарантування належного рівня безпеки. Чинні методи управління здебільшого базуються на статичних моделях, що не враховують змінність зовнішніх умов і не здатні швидко адаптуватися до непередбачуваних подій, які можуть виникнути в процесі руху.

Метою дослідження є підвищення безпеки та ефективності транспортування небезпечних вантажів шляхом розробки математичних моделей та програмного забезпечення для вибору оптимального маршруту з урахуванням мінімізації ризиків та витрат.

Математичні моделі для оптимізації перевезень небезпечних матеріалів доцільно класифікувати за кількома напрямками: математична природа (детерміністичні, стохастичні, робастні, CVaR), структура та час (двохрівнева, мультимодальна, динамічна), а також методи та інструменти (метаевристики, ГІС-аналіз, новітні підходи AI/ML). Детерміністичні моделі мають значні обмеження, оскільки не враховують випадковість аварійних ситуацій та змінність параметрів дорожньої інфраструктури. Натомість стохастичні моделі враховують невизначеність через ймовірнісний характер параметрів, а робастна оптимізація працює з множинами можливих значень без визначення їхніх статистичних розподілів(рис. 1).



Рисунок 1 – Класифікація моделей для оптимізації перевезень небезпечних матеріалів

В основі пропонованого підходу лежить мережева модель у вигляді зваженого орієнтованого графа, де вершини представляють транспортні вузли, а ребра – ділянки доріг із векторною вагою, що включає вартість, час та ризик. Оскільки маршрути з найнижчими витратами можуть проходити через густозаселені території, завдання набуває багатокритеріального характеру: необхідно одночасно оптимізувати транспортні витрати та зменшувати ризики. Через NP-складність таких задач, основним практичним інструментом стають метаевристичні алгоритми. Застосування генетичних алгоритмів або алгоритмів мурашиних колоній дозволяє ефективно знаходити множину Парето-оптимальних рішень для подальшого вибору компромісного маршруту.

Застосування такого багатокритеріального підходу, який класифікує та враховує ключові фактори ризику (населеність, стан доріг, екологія), дозволить знизити інтегральний ризик перевезення на 15-20% порівняно зі стандартними методами найкоротшого шляху без суттєвого збільшення вартості. Результати

моделювання відображатимуться у вигляді графіка Парето-ефективних рішень, що демонструватиме залежність рівня ризику від вартості чи часу перевезення.

Вирішення зазначеної проблеми передбачає розробку інтегрованої системи підтримки прийняття рішень, орієнтованої на виконання динамічної багатокритеріальної оптимізації. Інтеграція математичних алгоритмів із геоінформаційними системами та впровадження механізму динамічної маршрутизації сприятиме підвищенню ефективності реагування на стохастичні зміни дорожньої ситуації, забезпечуючи аналіз і прийняття рішень в режимі реального часу.

Література

1. Gopalan R., Kolluri K., Batta R., Karwan M. *Modeling Equity of Risk in the Transportation of Hazardous Materials*. *Operations Research*. 1990. Vol. 38, No. 6. P. 961-973. DOI: 10.1287/opre.38.6.961
2. List G. F., Mirchandani P. B., Turnquist M. A., Zografos K. G. *Modeling and analysis for hazardous materials transportation: Risk analysis, routing/scheduling and facility location*. *Transportation Science*. 1991. Vol. 25, No. 2. P. 100–114. DOI: 10.1287/trsc.25.2.100
3. Fan T., Chiang W., Russell R. *Robust Routing for Hazardous Materials Transportation with Conditional Value-at-Risk on Time-Dependent Networks*. University Transportation Research Center. 2023. Research Project Report.
4. Rabbani M., Heidari R., Farrokhi-Asl H., Rahimi N. *A multi-objective robust optimization approach for green location-routing planning of multi-modal transportation systems under uncertainty*. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 291. 125293. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125293
5. Xiao Y., Zhao Q., Kaku I., Mladenovic N. *Robust multimodal hub network design for hazmat considering a detour strategy*. *Computers & Operations Research*. 2023. Vol. 154. 106209. DOI: 10.1016/j.cor.2023.106209
6. Zhuang X., Zhang Y., Han L., Lu C. *Two-stage stochastic programming with robust constraints for the logistics network post-disruption response strategy optimization*. *Frontiers of Engineering Management*. 2023. Vol. 10. P. 67–81. DOI: 10.1007/s42524-022-0240-2

РОЗДІЛ 6.

МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНОГО, АЛГОРИТМІЧНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ/СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ

Адаптивний алгоритм вибору методу стиснення оперативної пам'яті (ZRAM/ZSWAP) для підвищення енергоефективності систем з критичним обмеженням ресурсів

Главчев М. І., Главчева Ю. М., Шкунов Я. О.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Стиснення оперативної пам'яті (Zram/Zswap) є ключовим механізмом підвищення ефективності систем з обмеженими апаратними ресурсами – IoT-пристроїв, бюджетних ноутбуків і смартфонів [1, 2]. Технологія Zram створює блоковий пристрій у RAM з компресією даних на льоту, тоді як Zswap стискає сторінки перед їх витісненням на диск. Вибір алгоритму стиснення суттєво впливає на три конкуруючих показники: ступінь стиснення (Compression Ratio, CR), швидкість компресії/декомпресії та споживання енергії CPU. Агресивне стиснення (Zstd level 5) може скорочувати час автономної роботи на 12–15% через постійне навантаження на процесор, тоді як легке (LZ4) вимагає більше фізичної пам'яті та призводить до частих OOM-подій. Існуючі рішення (ChromeOS, Android) застосовують статичну конфігурацію – фіксований алгоритм протягом усього сеансу, що є субоптимальним через змінне навантаження та температурний режим. Метою роботи є розробка адаптивного алгоритму динамічного вибору методу стиснення, що оптимізує співвідношення «продуктивність – енергоспоживання – час автономної роботи».

Проведено порівняльний аналіз алгоритмів LZ4, LZ4-NC, Zstd (рівні 1–5) та LZO на трьох типах даних: текстові, бінарні та змішані. Для оцінки ефективності введено комплексний показник:

$$E_{\text{score}} = w_1 \cdot CR + w_2 \cdot S_{\text{comp}} - w_3 \cdot P_{\text{cpu}},$$

де CR – коефіцієнт стиснення, S_{comp} – швидкість компресії (МБ/с), P_{cpu} – питоме споживання процесора (%), w_1 , w_2 , w_3 – вагові коефіцієнти сценарію [3].

Встановлено, що LZ4 є оптимальним за швидкістю (до 4 ГБ/с компресії), Zstd level 1–3 – за балансом CR і продуктивності, Zstd level 5 – лише для сценаріїв без обмеження енергоспоживання.

Адаптивний алгоритм містить три модулі: (1) моніторингу – зчитує через sysfs кожні 30 с рівень заряду батареї B_{level} , температуру CPU T_{cpu} та середнє навантаження $load_{avg}$; (2) прийняття рішень – застосовує систему продукційних правил пріоритетного вибору алгоритму; (3) застосування – оновлює конфігурацію через `/sys/block/zram0/comp_algorithm` без перезапуску підсистеми. Система правил (рис. 1): якщо $B_{level} < 15\%$ або $T_{cpu} > 85^{\circ}\text{C}$ → LZ4; якщо $B_{level} < 30\%$ → LZ4; якщо $T_{cpu} > 75^{\circ}\text{C}$ → LZ4; якщо $B_{level} < 60\%$ → Zstd level 1; інакше → Zstd level 3.

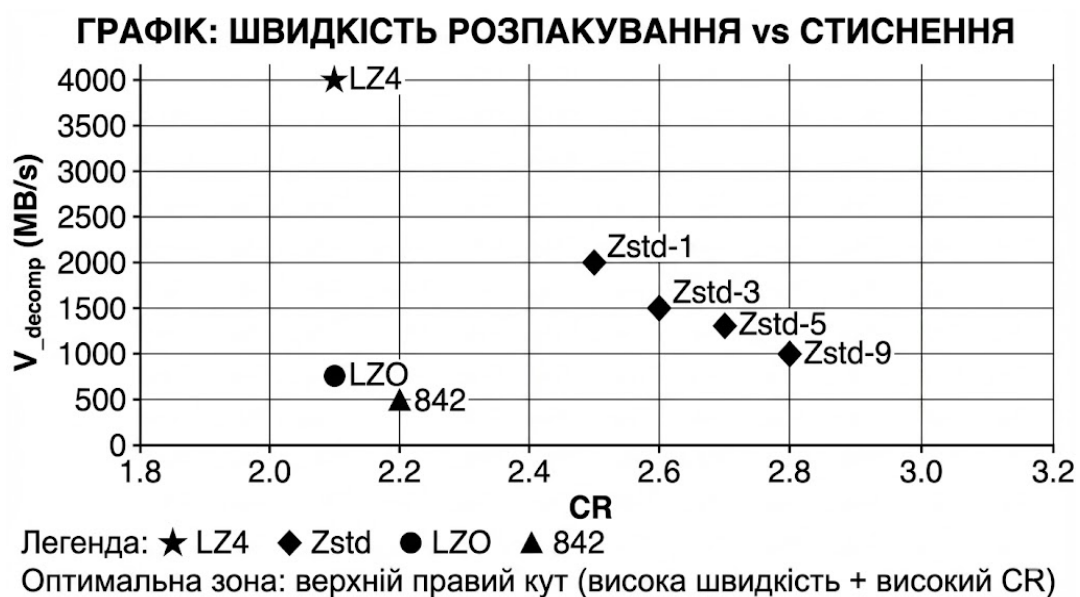


Рисунок 1 – Дерево рішень адаптивного алгоритму вибору методу стиснення

Експериментальне дослідження проводилось на тестовому стенді з 8-годинним змішаним навантаженням (перегляд веб-сторінок, офісна робота, відеовідтворення). Порівнювались три конфігурації: статичний LZ4, статичний Zstd level 3 та адаптивний алгоритм. Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати тесту розряду батареї (8 год змішаного навантаження)

Конфігурація	Час роботи (год)	Пам'ять (ГБ)	Продукт. (%)	Споживання (Вт·год)
LZ4 (статичний)	5,2	11,2	100	11,5
Zstd level 3 (статичний)	3,8	12,8	93	15,8
Адаптивний	4,5	12,8	96	13,3

Адаптивний алгоритм забезпечив 4,5 год автономної роботи – на 18 % більше, ніж статичний Zstd level 3 (3,8 год), зберігши ефективний обсяг пам'яті 12,8 ГБ та продуктивність 96 % від базового рівня [4]. Споживання енергії склало 13,3 Вт·год, що на 16 % менше порівняно зі статичним Zstd. При перегріві ($T_{cpu} > 85\text{ }^{\circ}\text{C}$) адаптивна система забезпечила 985 TPS проти 720 TPS у статичному варіанті (+ 37 %), запобігаючи тепловому throttling. Коефіцієнт варіації результатів між серіями вимірювань не перевищував 3,2 %, що підтверджує відтворюваність даних [5].

Таким чином, розроблено адаптивний алгоритм вибору методу стиснення оперативної пам'яті Zram/Zswarp з тривірневою архітектурою та п'ятьма продукційними правилами на основі показників B_level , T_{cpu} , $load_avg$. Алгоритм реалізовано у вигляді системного сервісу ядра Linux і верифіковано експериментально. Порівняно зі статичними конфігураціями адаптивний підхід забезпечує подовження автономності на 7–18 %, зменшення теплового throttling на 40 % та зберігає продуктивність системи на рівні 96 %. Практичні рекомендації щодо конфігурації Zram/Zswarp для різних сценаріїв надано у вигляді таблиць вибору алгоритму.

Література

1. Tanenbaum A. S. *Modern Operating Systems*. 4th ed. Upper Saddle River : Pearson, 2014. 1136 p.
2. Gorman M. *Understanding the Linux Virtual Memory Manager*. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2004. 440 p.
3. Collet Y., Kucherawy M. *Zstandard Compression and the 'application/zstd' Media Type : RFC 8878*. IETF, 2021. 63 p.
4. Google. *ChromeOS Documentation: Zram Configuration*. 2023. URL: <https://chromium.googlesource.com/chromiumos/> (дата звернення: 01.03.2026).

5. Alting L. LZ4 – Extremely Fast Compression Algorithm. 2022. URL: <https://lz4.github.io/lz4/> (дата звернення: 01.03.2026).
6. Kozuch M., Satyanarayanan M. Internet suspend/resume. *Proc. IEEE Workshop Mobile Comput. Syst. Appl.* 2002. P. 40–46.
7. Salomon D. *Data Compression: The Complete Reference*. 4th ed. London : Springer, 2007. 1092 p.

Проектування відмовостійкої VPN-мережі з механізмами швидкого відновлення з'єднань

Мельник І. В., Мезенцев М. В., Главчев М. І.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Забезпечення безперервності корпоративних VPN-мереж є критично важливим для сервісів реального часу — VoIP та відеоконференцій. Традиційні рішення демонструють час відновлення з'єднань від 3 до 35 секунд після зміни WAN-каналу. Мета роботи — проектування архітектури Hub-and-Spoke та розробка механізмів скорочення часу збіжності (convergence time) у мультипровайдерному середовищі.

Топологія мережі. Для підприємства зі штаб-квартирою та чотирма офісами обрано Hub-and-Spoke з DMVPN Phase 2: лінійна складність $O(n)$ тунелів, централізоване управління політиками безпеки та QoS. DMVPN Phase 2 дозволяє spoke-вузлам динамічно будувати прямі тунелі через NHRP. Кожен вузол має два WAN-інтерфейси з ієрархією: Ethernet (AD = 1) → 4G LTE (AD = 10) → Starlink (AD = 20). При MTBF = 8760 год та MTTR = 1 год доступність $A = \text{MTBF}/(\text{MTBF} + \text{MTTR}) \approx 99,99\%$ трирівнева стратегія High Availability (HA) та компонентів часу збіжності $T_{\text{conv}} = T_{\text{link}} + T_{\text{detect}} + T_{\text{route}} + T_{\text{vpn}} + T_{\text{app}}$ наведені в таблиці 1.

Аналіз показує, що T_{detect} становить до 80 % загального T_{conv} . Двопороговий гістерезис IP SLA (upper RTT = 150 мс, lower RTT = 50 мс, N = 3 послідовних вимірювань) запобігає ефекту flapping при нестабільному каналі. На рівні hub-вузла застосовується Dual-Hub DMVPN; на рівні VPN-сесій — IKEv2 MOBIKE та WireGuard Persistent Keepalive.

Таблиця 1 – Механізми НА та компоненти часу збіжності VPN-мережі

Механізм / Компонент	Рівень / Познач.	Час	Застосування / Вимірювання
IKEv2 MOBIKE (RFC 4555)	VPN SA	< 1 RTT	Мобільні клієнти, зміна IP
WireGuard Persistent Keepalive	VPN сесія	~0 с	Нестабільні канали
IP SLA + Track + Float. Route	L3	5–30 с	Перемикання WAN-провайдера
Dual-Hub DMVPN	VPN топол.	5–15 с	Резервування hub-вузла
Tdetect (IP SLA, типово)	Tdetect	10–30 с	IP SLA history
Tvpn (IPsec + MOBIKE)	Tvpn	0,5–2 с	IKE debug log
Повний Tconv (оптимізов.)	Tconv	4–8 с	End-to-end ping loss

Алгоритм швидкого перепідключення на основі сесійних токенів. Повний IKE_AUTH handshake займає 3–10 с, що неприйнятно для VoIP (поріг 300–500 мс). Запропонований алгоритм використовує токен $T = \text{HMAC-SHA256}(K_s, \text{sid} \parallel \text{to} \parallel \text{pkclient})$ з TTL=300 с. При розриві клієнт надсилає RECONNECT-запит; сервер верифікує T та оновлює endpoint без повного handshake — час відновлення скорочується до одного RTT. Захист: HMAC від підробки, timestamp від replay-атак, прив'язка до pkclient від міжсесійного використання. Для WireGuard алгоритм не потрібен — stateless-архітектура оновлює endpoint автоматично при першому пакеті з нової IP.

Висновки. Архітектура Dual-Hub DMVPN із трирівневою стратегією НА забезпечує доступність 99,99%. Алгоритм сесійних токенів скорочує T_{vpn} з 3–10 с до одного RTT (<500 мс). Показник відносного покращення $RI = (T_{\text{conv_base}} - T_{\text{conv_opt}}) / T_{\text{conv_base}} \times 100\% = 77,1\%$ при переході від базового IPsec (35 с) до оптимізованої конфігурації (8 с). Подальші дослідження — експериментальна верифікація на стенді GNS3.

Література

1. Eronen P. *IKEv2 Mobility and Multihoming Protocol (MOBIKE)*. RFC 4555. – IETF, 2006.
2. Donenfeld J. A. *WireGuard: Next Generation Kernel Network Tunnel*. Proc. NDSS Symposium. 2017.
3. Stallings W. *Cryptography and Network Security: Principles and Practice*. 8th ed. – Pearson, 2022. 832 с.
4. Kaufman C., Hoffman P., Nir Y., Eronen P. *Internet Key Exchange Protocol Version 2 (IKEv2)*. RFC 7296. IETF, 2014.

Optimizing OSPF Routing in Multi-Area Networks Using Route Summarization: A Cisco Packet Tracer Study

Abhari P. B., Tokar V. O.
Donbas state engineering academy

1. Introduction

In a single-area OSPF, every router maintains a full Link State Database (LSDB), causing large routing tables, frequent SPF runs, and slow convergence. Multi-area OSPF with route summarization at Area Border Routers (ABRs) reduces LSDB size and isolates failures. This paper presents a seven-router, three-area topology built in Cisco Packet Tracer, with configuration and quantified benefits of summarization.

2. Topology and Addressing

Seven routers (2911) are distributed across three areas (Figure 1).

- Area 0 (Backbone): R1, ABR1, ABR2. Point-to-point links: 10.0.0.0/30, 10.0.0.4/30, 10.0.0.8/30.
- Area 1 (Stub): R2, R3 via ABR1. Internal subnet 10.1.0.0/24. Stub area blocks Type 5 LSAs; ABR1 injects default route.
- Area 2 (NSSA): R4, R5 via ABR2. Internal subnet 10.2.0.0/24. R4 (ASBR) redistributes RIP route 192.168.10.0/24 as Type 7 LSAs; ABR2 translates to Type 5 for Area 0.

3. Key Configurations (abbreviated)

ABR1	ABR2
router ospf 1 network 10.0.0.4 0.0.0.3 area 0 network 10.1.0.0 0.0.0.255 area 1 area 1 stub area 1 range 10.1.0.0 255.255.255.0	area 2 nssa area 2 range 10.2.0.0 255.255.255.0
	R4 (ASBR)
	redistribute rip subnets area 2 nssa

4. Results and Analysis

Without summarization, each non-backbone router received multiple inter-area routes. After enabling area range:

- R2 (Area 1): routes 3 → 1 (67% reduction), LSDB entries 8 → 5 (37%)
- R4 (Area 2): routes 3 → 2 (33% reduction)
- R1 (Backbone): LSDB entries 12 → 8 (33% reduction)

A flapping subnet inside Area 1 triggered SPF only within Area 1 when summarization was active → convergence isolation confirmed.
Verification: show ip route ospf, show ip ospf database [1].

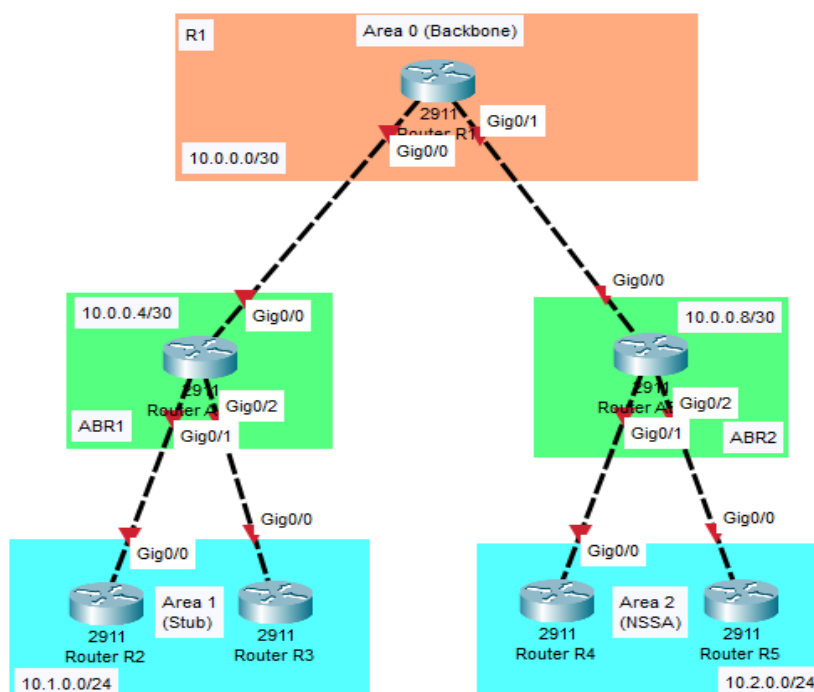


Figure 1 – OSPF Multi-Area Network Topology (7 routers)

5. Conclusion

Route summarization reduces routing table size by 30–40 % and contains topology changes to the affected area. The stub area successfully blocks external LSAs; NSSA allows controlled redistribution. Packet Tracer is sufficient for functional validation. Future work: measure convergence time in milliseconds on real hardware.

References

1. Cisco Systems. (2020). *OSPF Design Guide*. Cisco Press.

Особливості застосування AST-орієнтованих CRDT для синхронізації програмного коду

Александров А. Ю.

Державний торговельно-економічний університет

Сучасні системи колаборативної розробки дедалі частіше орієнтуються на режими спільної роботи, у яких кілька учасників одночасно редагують пов'язані частини кодової бази. За таких умов особливого значення набувають механізми синхронізації, здатні зберігати не лише спільний текстовий стан реплік, а й синтаксичну коректність та структурну узгодженість програми. Безконфліктні репліковані типи даних (CRDT) дозволяють кожному учаснику вносити зміни локально з подальшим автоматичним злиттям і забезпечують сильну кінцеву узгодженість без централізованої координації [1]. Поширені фреймворки на кшталт Yjs [2] та Automerge [3] підтримують різні репліковані структури даних, однак у задачах спільного редагування коду синхронізація зазвичай виконується над його текстовим поданням, тобто над послідовністю символів або рядків. Таке подання є достатнім для звичайного тексту, однак не відображає структурної організації програмного коду.

Для аналізу наслідків конкурентного редагування коду доцільно розрізняти текстовий, синтаксичний і семантичний рівні конфліктів [4]. Текстові моделі синхронізації орієнтовані насамперед на фіксацію накладання змін в одній позиції документа, тоді як порушення синтаксичної структури та логіки програми виходять за межі суто позиційного подання. Емпіричні дослідження підтверджують, що значна частка проблем злиття породжується саме структурними та семантичними залежностями між змінами [5], а перехід до напівструктурованого злиття, яке враховує синтаксичну будову коду, помітно зменшує кількість хибних конфліктів [6].

Більш адекватною моделлю подання програмного коду для задач синхронізації є абстрактне синтаксичне дерево (AST), у якому вузли відповідають конструкціям мови програмування, а ребра визначають відношення вкладеності. Поєднання AST як моделі подання коду з CRDT для

деревоподібних структур [7] дозволяє перенести механізм узгодження з рівня символічної послідовності на рівень синтаксичних одиниць програми. Операціями в такій моделі стають вставка, видалення та переміщення вузлів дерева, а не окремих символів чи рядків. Завдяки цьому конфлікти локалізуються на рівні синтаксичних конструкцій, а структурно значущі зміни відокремлюються від суто форматувальних перетворень.

Різницю між підходами можна показати на прикладі. Учасник А видаляє функцію, а учасник В одночасно додає нову інструкцію в її тіло. У текстовій моделі такі зміни можуть бути зведені як правки в різних позиціях документа, хоча фактично одна з них змінює батьківську конструкцію, від якої залежить інша. В AST-моделі зміна учасника В адресована вузлу всередині видаленої функції, тому такий випадок виявляється як структурний конфлікт або потребує окремого правила злиття.

Водночас AST-орієнтовані CRDT мають свої межі застосування. Операція переміщення вузла є алгоритмічно складною через необхідність запобігати порушенню структури дерева, зокрема утворенню циклів [7]. Модель залежить від конкретного синтаксичного аналізатора та граматики мови програмування, що обмежує універсальність рішення порівняно з текстовими CRDT. Крім того, навіть синтаксично коректний результат злиття не гарантує семантичної узгодженості програми, тому на практиці можуть знадобитися додаткові механізми виявлення семантичних конфліктів [8].

Отже, AST-орієнтовані CRDT є більш придатною основою для сценаріїв, де важливо зберігати структурну коректність коду, оскільки вони дозволяють узгоджувати зміни на рівні синтаксичних конструкцій і виявляти конфлікти, що залишаються невидимими в лінійному текстовому поданні. Перспективи подальших досліджень пов'язані з поєднанням структурної синхронізації та семантичного аналізу.

Література

1. Shapiro M., Preguiça N., Baquero C., Zawirski M. A Comprehensive Study of Convergent and Commutative Replicated Data Types. Inria Research Report RR-7506. Paris, 2011. 50 p. URL: <https://hal.inria.fr/inria-00555588/document>.
2. Nicolaescu P., Jahns K., Derntl M., Klamma R. Yjs: A Framework for Near Real-Time P2P Shared Editing on Arbitrary Data Types. *Proceedings of the 15th International Conference on Web Engineering (ICWE)*. Springer LNCS. 2015. Vol. 9114. P. 675–678. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19890-3_55.
3. Kleppmann M., Beresford A. R. A Conflict-Free Replicated JSON Datatype. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2017. Vol. 28, no. 10. P. 2733–2746. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPDS.2017.2697382>.
4. Mens T. A State-of-the-Art Survey on Software Merging. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2002. Vol. 28, no. 5. P. 449–462. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSE.2002.1000449>.
5. Accioly P., Borba P., Cavalcanti G. Understanding Semi-Structured Merge Conflict Characteristics in Open-Source Java Projects. *Empirical Software Engineering*. 2018. Vol. 23. P. 2051–2085. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10664-017-9586-1>.
6. Apel S., Liebig J., Brandl B., Lengauer C., Kästner C. Semistructured Merge: Rethinking Merge in Revision Control Systems. *Proceedings of ESEC/FSE '11*. ACM, 2011. P. 190–200. DOI: <https://doi.org/10.1145/2025113.2025141>.
7. Kleppmann M., Mulligan D. P., Gomes V. B. F., Beresford A. R. A Highly-Available Move Operation for Replicated Trees. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2022. Vol. 33, no. 7. P. 1711–1724. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPDS.2021.3118603>.
8. Da Silva L., Borba P., Maciel T., Mahmood W., Berger T., Moisakis J., Gomes A., Leite V. Detecting Semantic Conflicts with Unit Tests. *Journal of Systems and Software*. 2024. Vol. 214. Article 112070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112070>.

Методи вирішення задачі наповнення рюкзака

Стрілецький К. О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Задача про наповнення рюкзака, задача про портфель, knapsack problem – це все назви оптимізаційної задачі, яка являє собою вибір з множини предметів таку їх кількість, щоб не було перевищено певне обмеження – вагу, а також щоб цінність обраних предметів була найвищою. Здавалося б, просте формулювання, але пошук найкращого рішення вимагає використання певних алгоритмів, які будуть розглянуті далі [1].

Пакування рюкзака – це не просто одна задача, це вид задач, і для розгляду методів пошуку рішень було обрано задачу наповнення багатовимірного рюкзака, якщо просте наповнення рюкзака висуває обмеження лише ваги елементів, то багатовимірний рюкзак може мати більш ніж одне обмеження, тому цю задачу також називають *m*-вимірний рюкзак [2].

Далі розглянемо постановку проблеми – максимізація ціни певної обмеженої кількості елементів, покладених у рюкзак за умови, що їх сумарний об’єм не перевищує заданий. Параметри задачі та, як саме вони впливають на рішення - загальна кількість елементів n - з цих елементів буде обрана певна кількість так, щоб вона не перевищувала W_1 – максимальну кількість елементів, яку може вмістити рюкзак, а також, щоб сума об’ємів l_i цих елементів не перевищувала W_2 , максимізуючи суму цін обраних елементів p_i . Для опису станів усіх предметів (чи даний елемент знаходиться у рюкзаку або він не знаходиться у рюкзаку) використовується двійковий вектор $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, $x_n = 1$, якщо елемент у рюкзаку, або значення 0, якщо ні.

Тому функція вектора заповнення матиме вигляд (функцію значення якої потрібно максимізувати):

$$z(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (1)$$

за умови, що

$$w_1(X) = \sum_{i=1}^n x_i \leq W_1, \quad (2)$$

$$w_2(X) = \sum_{i=1}^n x_i l_i \leq W_2, \quad (3)$$

Ці формули потрібні для розрахунку загальної маси та загального об’єму речей, які покладено в рюкзак, але за умови, що значення не перевищують задане значення.

Рішенням задачі є вектор X , при якому функція $z(X)$ (1) приймає максимальне значення [3,4].

Отже, коли остаточно сформовано завдання, потрібно обрати метод пошуку рішення. Задача наповнення рюкзака є достатньо поширеною, наприклад її вирішенням займаються при розподілі ресурсів на підприємствах. Також варто зазначити вік цієї задачі, вона з’явилась достатньо давно - перші наукові роботи, що досліджують подібну проблему, датуються 1897 роком. Завдяки своїй поширеності та великій кількості досліджень способів її розв’язку, ця задача має декілька методів пошуку оптимального рішення.

Найбільш простим методом пошуку рішення є метод перебору. Як зрозуміло з назви методу, він полягає у переборі всіх можливих варіантів рішення (включаючи неоптимальні), після того як всі варіанти переглянуті обирається найкращий згідно поставлених вимог. Може бути використаний на невеликому об'ємі даних, в іншому випадку є неефективним через велику кількість ітерацій методу та необхідних для збереження даних, які будуть використані для порівняння після виконання перебору варіантів.

Ще один простий але неточний (наближений) метод розв'язання задачі про рюкзак – це жадібний алгоритм [6] – евристичний алгоритм, принципом роботи якого є вибір найкращого рішення для поточного етапу пошуку рішення, що може призвести до вимушеного неоптимального вибору в подальшому для відповідності поставленим умовам до розв'язку задачі. Використання цього алгоритму може бути оптимальним для невеликого об'єму даних, але навіть мала кількість елементів не гарантує оптимального рішення з таким алгоритмом [8]. Він може бути використаний для вибору елементів за їх ціною, обираючи спочатку елементи з найбільшою, потім ті, які задовольняють умові за об'ємом.

Точним методом пошуку оптимального розв'язку є метод динамічного програмування [5, 6]. Цей метод полягає у послідовному розкладенні основної задачі на її складові – підзадачі, та їх послідовному вирішенні зі зменшеною кількістю змінних [7, 8]. Основним принципом є пошук рішення з кінця, тобто коли оптимальне рішення вже знайдене, виконувати пошук значень змінних, завдяки яким отримано таке рішення. Особливістю алгоритму є те, що він шукає оптимальне рішення для даного етапу, на якому він знаходиться, попередні рішення не беруться до уваги.

Розглянемо алгоритм більш детально. Нижче наведено функціональне рівняння Беллмана (4):

$$f_{n-i}(S_i) = \max_{X_{i+1}}(R_{i+1}(S_i, X_{i+1}) + f_{n-(i+1)}(S_{i+1})), i = 0 \dots n-1 \quad (4)$$

де X_i – елемент, обраний на i -му кроці;

$S_i = (S_{1i}, S_{2i}, \dots, S_{mi})$ – обрані елементи та сума їх цін на i -му кроці;

R_i – приріст ціни який досягається на i -му кроці;

f_{n-i} – оптимальне значення ціни всіх елементів у рюкзаку, досягнуте після $(n - i)$ кроків;

n – кількість кроків.

Початкове значення f_0 завжди дорівнює 0, так як це значення перебуває за межами системи. Наступний крок – необхідно записати рівняння (4) для останнього стану, для $i = n-1$:

$$f_{n-i}(S_i) = \max_{X_{i=1}}(R_n(S_{n-1}, X_n) + f_0(S_n)), \text{ при } f_0(S_n) = 0 \quad (5)$$
$$f_{n-i}(S_i) = \max_{X_{i=1}}(R_n(S_{n-1}, X_n))$$

Далі обираються такі значення S_{n-1} та X_n , щоб значення функції було максимальним. На наступному етапі значення i знову зменшують та повторюють обчислення згідно формули (4). Обчислення продовжуються доки i не буде дорівнювати 0 [8].

Література

1. Матеріал з Вікіпедії, стаття Задача пакування рюкзака. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_пакування_рюкзака.
2. Матеріал з Вікіпедії, стаття Knapsack problem. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Knapsack_problem.
3. Матеріал з Вікіпедії, стаття List of knapsack problems. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_knapsack_problems.
4. Матеріал з Вікіпедії, стаття Список задач про наповнення рюкзака. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_задач_про_наповнення_рюкзака.
5. Матеріал з Вікіпедії, стаття Жадібний алгоритм. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Жадібний_алгоритм.
6. Матеріал з Вікіпедії, стаття Динамічне програмування. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Динамічне_програмування.
7. Матеріал з Вікіпедії, стаття Dynamic programming. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_programming.
8. Васильєва Л. В., Богдан М. П. Математичні методи дослідження операцій : посібник для студентів вищих навчальних закладів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Краматорськ : ДДМА, 2018.

Алгоритм прийняття рішень по вибору параметрів зарядної станції для квартири

Кравчук В. С., Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Актуальність розрахунку параметрів портативних зарядних станцій типу EcoFlow, Bluetti та подібних рішень для квартир в Україні суттєво зросла в умовах нестабільного енергопостачання, періодичних відключень електроенергії та підвищеної потреби в автономності [1]. Такі пристрої використовуються не лише для резервного живлення побутових приладів, а й для заряджання електромобілів або гібридних систем, що створює додаткове навантаження на акумуляторні модулі та інвертори. Без коректного розрахунку ємності, вихідної потужності, пікових навантажень і тривалості роботи існує ризик перевантаження станції, скорочення її ресурсу або неефективного використання накопиченої енергії, що особливо критично в умовах обмежених ресурсів.

Дерево рішень [2] є доцільним підходом для розрахунку параметрів зарядної станції в квартирі, оскільки дозволяє системно врахувати технічні обмеження електромережі та умови експлуатації у вигляді послідовності логічних кроків. У багатоквартирних будинках вибір параметрів залежить від ряду взаємопов'язаних факторів, таких як виділена потужність, тип підключення, допустиме навантаження та режим використання, і їх одночасний аналіз без структурованого підходу ускладнює прийняття коректного рішення. Дерево рішень трансформує цю складність у зрозумілу модель, де кожен етап відсіює непридатні варіанти та звужує вибір до технічно обґрунтованих конфігурацій.

Для розрахунку параметрів портативних зарядних станцій для квартир було сформовано наступне дерево рішень:

1. На першому етапі визначається призначення зарядної станції в квартирі. Якщо вона потрібна лише для живлення малопотужних пристроїв, таких як роутер, ноутбук, освітлення або телефони, формується малопотужний сценарій. Якщо планується підключення холодильника, комп'ютера, телевізора чи котла – це середній сценарій. Якщо ж необхідно жити кілька приладів

одночасно або частково забезпечувати електроенергією всю квартиру, розглядається підвищений сценарій.

2. Далі визначається сумарна потужність навантаження. Якщо вона становить до 300–500 Вт, достатньо станції з АС-виходом від 500 Вт. У діапазоні 500–1200 Вт потрібна станція потужністю 1–5 кВт. При навантаженні 1200–2500 Вт доцільно обирати станції 1.8-3 кВт. Якщо ж потужність перевищує 2500 Вт, необхідно розглядати високопотужні рішення або альтернативні джерела живлення.

3. Наступний крок – перевірка наявності приладів із пусковими струмами. Якщо таких немає, можна орієнтуватися на номінальну потужність станції. Якщо ж вони є (наприклад, холодильник або насос), потрібно враховувати запас потужності у 1.5-3 рази від номінального значення.

4. Після цього визначається необхідна тривалість автономної роботи. Якщо достатньо 1-3 годин, підійде станція з малою або середньою ємністю. Для 3-8 годин потрібна середня або велика ємність. Якщо ж автономність має перевищувати 8 годин, слід обирати станції з великою або розширюваною ємністю акумулятора.

5. Далі оцінюється необхідність автоматичного живлення під час відключень електроенергії. Якщо потрібна безперервна робота без участі користувача, слід обирати моделі з функцією UPS або швидким перемиканням. Якщо це не критично, достатньо стандартного резервного режиму.

6. Наступним критерієм є швидкість заряджання станції. Якщо важливо максимально швидко відновлювати заряд у періоди наявності електроенергії, необхідно обирати моделі з високою потужністю АС-входу та підтримкою швидкого заряджання. Якщо це не є пріоритетом, можна використовувати станції зі стандартними параметрами зарядки.

7. Після цього визначається потреба у використанні сонячних панелей. Якщо планується їх підключення, необхідно перевірити сумісність станції за параметрами MPPT-контролера, допустимою напругою та вхідною потужністю. Якщо ні – достатньо орієнтуватися на заряджання від мережі 230 В.

8. Останнім етапом є оцінка вимог до мобільності. Якщо важлива портативність, обирається компактна станція з меншою ємністю та масою. Якщо мобільність не критична, можна обрати більш потужну модель із великою ємністю, навіть якщо вона має значну вагу.

9. У результаті формується фінальне рішення, яке є компромісом між потужністю, ємністю акумулятора, швидкістю заряджання та зручністю використання в умовах конкретної квартири.

Розрахунок параметрів портативних зарядних станцій для квартир в Україні є критично важливим завданням в умовах нестабільного енергопостачання та зростання потреби в енергетичній автономності. Використання таких рішень без попереднього інженерного обґрунтування може призвести до неефективного використання ресурсів, перевантаження обладнання або невідповідності фактичним потребам користувача. Саме тому системний підхід до вибору параметрів, який враховує потужність навантаження, тривалість автономної роботи, пускові струми та режими експлуатації, є необхідною умовою забезпечення надійної та безпечної роботи станції.

Література

1. Aramendia, I. et al. "Optimization of the Design and Control System of a Backup Power System Based on Batteries and Generator Set", *Sustainability*, 2025
2. Дерево ухвалення рішень. (2026, лютого 16). Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE_%D1%83%D1%85%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%80%D1%96%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%8C&oldid=47500737.

РОЗДІЛ 7.
ЗАСОБИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ТА ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ
CAD/CAE/CAM/PDM/CALS – СИСТЕМ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЦЕСІВ
ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ. МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ НОВИХ
МАТЕРІАЛІВ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Shearing of shaped rolled products with a new wedge-hinge press

Karnaukh S. G.
Donbass State Engineering Academy

Effective use of metals, resource energy saving, decreased labor intensity, and increasing product quality are addressed at all technological steps of materials pressure processing, which are an integral part of these processes. In the area of cutting rolled stocks, traditional methods are used and implemented on standard and specialized stamping presses. Suppose new methods are used in separation methods with new non-traditional actuators of presses. In that case, it is possible to improve the separation process of rolled products without waste [1].

The proposed new installation design (Fig. 1) consists of a wedge (1), movable (2), fixed (not shown) knives, and a hinge (3). Wedge (1) has two working areas, one of which is flat and rests on the upper cross member of the installation. The two working areas of the wedge (1) have a cylindrical shape of a radius R and are in contact with the convex cylindrical surface of the knife (2). The straight side surfaces of the movable knife (2) are connected to the corresponding internal surfaces of the hinge (3), the cylindrical outer surface, and installed in the installation frame [18]. The mechanism works as follows. The drive (horizontal) force F_h is applied to the input element – the wedge (1), causing the wedge (1) to move forwardly along the guides and, with its concave surface radius R , to exert pressure on the corresponding convex surface of the movable knife (2). As a result, knife (2) carries out a complex swivel forward movement, moving forwardly relative to hinge (3), and turning with it in the cylindrical guides of the frame around an axis located at a distance l from the center of a circle of radius R . Modeling the process of cutting U-shaped rolled products using an

installation of the proposed design was carried out using the finite element method. The dependences of the power of deformation, cutting force, and cutting moment from the parameter l are presented in Fig. 2 [2].

The key engineering innovation of the proposed wedge-hinged mechanism with a concave wedge is the complex planar motion of the rotary knife, which ensures a combined shear–torsion separation process.

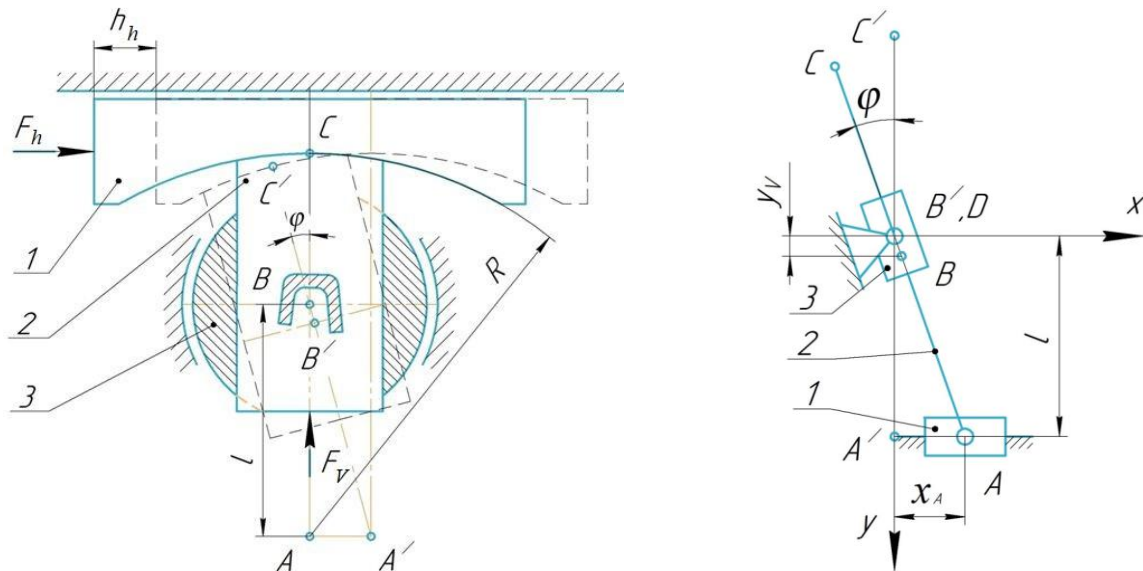


Figure 1 – Structural scheme of the installation [2]

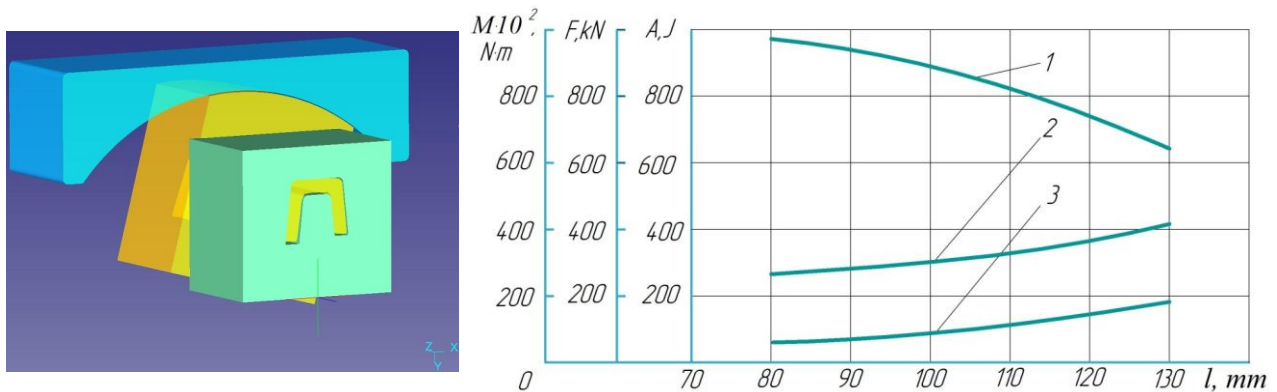


Figure 2 – Dependences of power (1), force (2), and moment (3) of cutting from the parameter l , which determines the position of the center of hinge rotation

Conventional shear cutting requires overcoming the resistance of the entire cross-sectional area of the material simultaneously, resulting in high peak loads and significant plastic deformation of the workpiece (crushing, formation of necking, etc.). The torsion component, which arises due to the complex planar trajectory of the knife along an arc, introduces additional normal and shear stresses. Physically, this leads to

the following effects. A change in the stress–strain state. Instead of pure shear, a combined loading condition is realized, which makes it possible to reach the fracture criterion (according to the Mohr–Coulomb or Mises criteria) at a lower external load. Acceleration of crack propagation. The torsional component promotes fiber separation and rapid crack growth, minimizing the plastic deformation zone. This directly results in the reported reduction of the cutting force (by 20 %) and a decrease in energy consumption (by 26 %). The motion of the knife along an arc creates a pronounced stress concentrator. According to fracture mechanics, the introduction of a sharp notch locally increases the stress at its tip. By forming such a notch, the wedge-hinged mechanism artificially reduces the effective cross-sectional area subjected to instantaneous shear and initiates fracture at strictly defined locations. This controlled fracture mechanism is significantly more energy-efficient than bulk plastic deformation. The improvement in geometric accuracy (reduction of crushing, bevel angle, and necking) is a direct consequence of the decrease in plastic deformation. Crushing occurs when the material is subjected to excessive compression or shear (plastic flow). Efficient combined cutting, which promotes rapid fracture, shifts the process out of the region of deep plastic deformation. The bevel angle and necking depend on the material's «ductility» during cutting; lower values indicate that fracture occurs rapidly and cleanly, with less material elongation prior to separation. Based on mathematical modeling (Deform software) and experimental studies, clear trends in system behavior were identified. A critical parameter was determined – the position of the hinge rotation center of the mechanism. As this parameter increases, the separation force and moment increase, while the deformation work decreases. At the same time, an optimal point exists. The study recommends setting this parameter equal to half the radius of the concave wedge. This represents a compromise that ensures minimum energy consumption while maintaining acceptable tool loads. A comparison of theoretical and experimental results demonstrates high convergence between theory and practice.

Reference

1. Karnaukh S. G., Chosta N. V., Markov O. E., Kukhar V. V. Development and research of the press operating mechanism made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. 116. 3305–3314, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07718-8>.
2. Karnaukh S. G., Markov O. E., Chosta N. V. Separation process study of shaped rolled products using a new press with a wedge-hinged mechanism. *Discover Mechanical Engineering*. 2026. 5. 28, <https://doi.org/10.1007/s44245-026-00207-w>.

Автоматизована система керування клімат-контролем розважального центру

Разживін О. В., Скрибцов В. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Підтримання стабільних параметрів мікроклімату в розважальних комплексах належить до складних інженерних завдань. Для ефективної експлуатації таких об'єктів необхідно забезпечити оптимальні значення температури, вологості та інтенсивності повітрообміну. Одним із важливих факторів є регулювання процесів випаровування вологи. Зменшення інтенсивності випаровування досягається шляхом підтримання температури повітря на рівні, що перевищує температуру води приблизно на 2–3 °С. За таких умов відносна вологість повітря може утримуватися в межах 40–60 %, що позитивно впливає на збереження будівельних матеріалів і конструкцій будівлі. Разом з тим перевищення комфортних температурних значень є недопустимим, оскільки це може негативно впливати на самопочуття відвідувачів. Комфортність перебування людини у приміщенні визначається сукупним впливом температури та вологості повітря, тому забезпечення їх оптимального співвідношення є важливим завданням систем кліматичного керування.

Сучасні автоматизовані кліматичні комплекси дозволяють ефективно вирішувати зазначені завдання. Завдяки використанню сенсорних елементів такі системи здійснюють безперервний контроль параметрів повітряного середовища та автоматично підтримують їх у встановлених межах. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання і забезпечити одночасне регулювання параметрів мікроклімату в

різних зонах будівлі. Додатковою перевагою є можливість дистанційного керування обладнанням, що значно спрощує експлуатацію системи.

Використання програмованих режимів роботи дозволяє адаптувати функціонування системи клімат-контролю до різних умов експлуатації. Зокрема, система може враховувати сезонні фактори (зимовий або літній режим роботи), рівень відвідуваності об'єкта, а також характер проведених заходів, таких як спортивні змагання, робота кінозалів або сімейні розважальні програми. Це забезпечує можливість оперативного коригування режимів функціонування розважального центру відповідно до поточних потреб.

Таким чином, розроблення ефективних методів зниження енергетичних витрат шляхом оптимізації процесів регулювання кліматичних параметрів у приміщеннях розважальних центрів, а також створення відповідних алгоритмів керування є актуальним науково-технічним завданням.

Основними параметрами, що визначають стан внутрішнього кліматичного середовища, є температура та відносна вологість повітря. Ці параметри мають взаємозалежний характер і спільно формують комфортні умови перебування людей у приміщеннях.

Для забезпечення необхідних параметрів внутрішнього середовища проведено математичне моделювання системи автоматичного регулювання температури в приміщеннях розважального центру. Розроблена модель включає тепловий баланс змішування повітря різних температур, а також підлеглий контур регулювання витрати повітря в системі кондиціонування. Як регулюючий елемент використано пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор, оскільки динаміка зміни температури має аперіодичний характер [2, 6].

Керуючим параметром системи обрано витрату підігрітого повітря Q_z , яке подається до приміщення. На початковому етапі роботи системи значення цієї величини приймається максимальним і становить 500 м³/год [7].

Для реалізації об'ємного регулювання витрати повітря застосовано систему «частотний перетворювач – асинхронний електродвигун», що забезпечує керування роботою вентилятора повітродувки.

Структурна схема математичної моделі системи кондиціонування наведена на рис. 1.

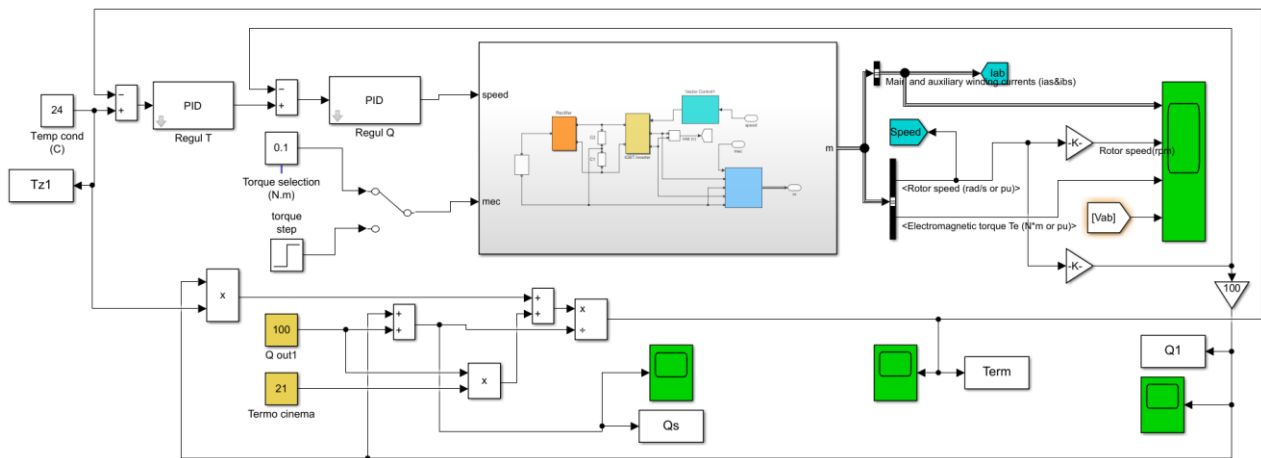


Рисунок 1 – Структурна схема математичної моделі регулювання температури в приміщеннях

Результати математичного моделювання показали приведені на рис. 2 та 3, що час встановлення температури до заданого значення становить приблизно 0,15 години.

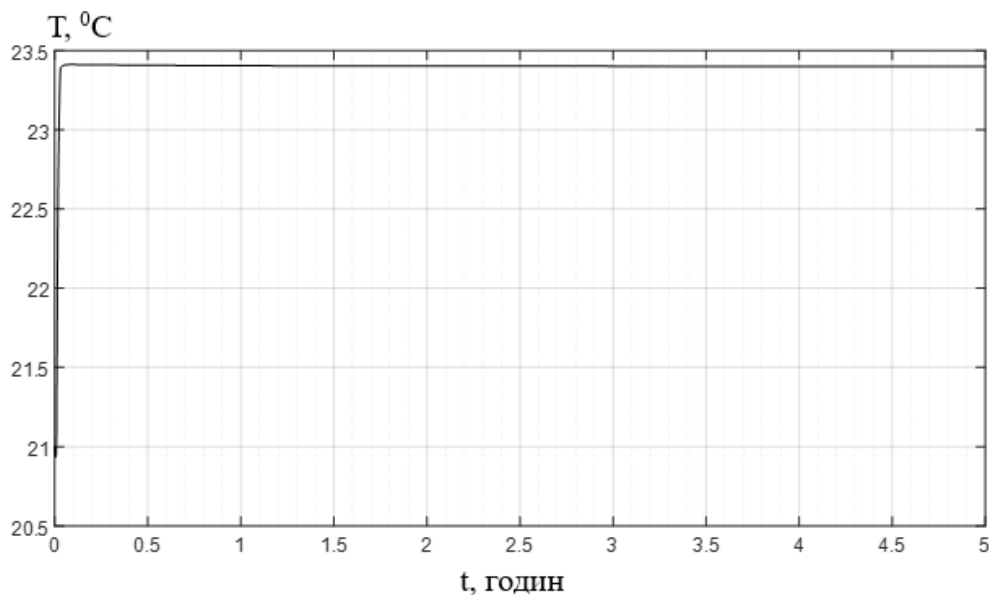


Рисунок 2 – Перехідний процес у замкненій системі регулювання температури

Аналогічний часовий інтервал спостерігається і при компенсації збурюючого впливу з боку тепломережі. Отримані результати свідчать про те, що параметри перехідного процесу перебувають у допустимих межах, а вибір параметрів регулятора, вимірювальних пристроїв та виконавчих механізмів є обґрунтованим.

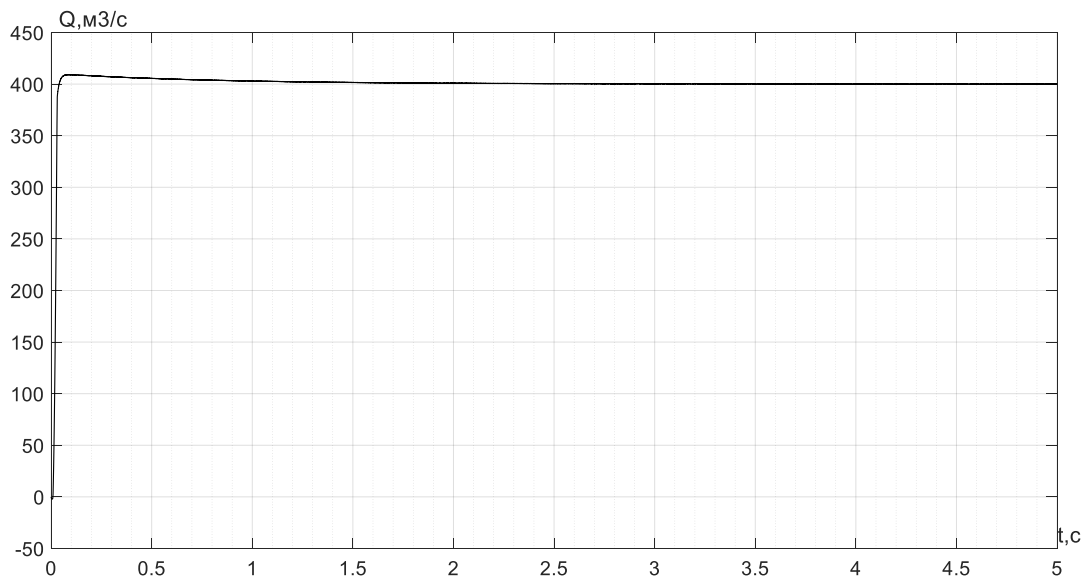


Рисунок 3 – Перехідний процес регулювання подачі теплого повітря

Вирішено актуальну науково-технічну задачу підвищення енергоефективності систем керування кліматичними параметрами у приміщеннях розважального центру шляхом розроблення автоматизованої системи регулювання на основі математичного моделювання та сучасних алгоритмів керування.

Література

1. Zhou X., Wang S. *Adaptive PID Control for Indoor Climate Regulation. Control Engineering Practice*, 2020.
2. Hwang J.H., Park Y.T., Kim D.H. *Fieldbus-Based Distributed Control of HVAC Systems. Automation in Construction*, 2021.
3. He Z., Wang Y., Li Q. *Communication Protocols for Building Automation Systems. Journal of Building Engineering*, 2019.
4. Andrews B., Shah N. *Energy Savings in HVAC Systems Using Variable Speed Drives. Energy and Buildings*, 2018.
5. IEC 61131-3:2013 *Programmable controllers. Part 3: Programming languages* Siva Ram Murthy C., Manoj B.S. *Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols*, Prentice Hall, 2004. 880 p.

6. Ковальчук О.В. Особливості мікрокліматичних режимів у громадських приміщеннях. Науковий журнал, 2020.

7. Meurer M., Heilmann S., Reddy D., Weber T., Baier P.W. A signature based localization technique relying on covariance matrices. Proceedings of Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), 2005. 175 p.

Автоматизована система керування температурним режимом водогрійного котла

Разживін О. В., Коляденко Д. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Досліджено принципи побудови автоматизованої системи керування температурним режимом водогрійного котла, на основі яких розроблено математичну модель та систему автоматичного регулювання для підвищення стабільності температури теплоносія та енергоефективності роботи теплотехнічного обладнання.

Ключові слова: водогрійний котел, автоматичне керування, температура теплоносія, математична модель, ПІД-регулятор, енергоефективність.

Актуальність дослідження. Під час експлуатації водогрійних котлів виникає проблема нестабільності температурного режиму теплоносія, що призводить до перевитрати палива та зниження енергоефективності роботи теплотехнічного обладнання. Для підвищення стабільності роботи системи теплопостачання необхідно застосовувати сучасні автоматизовані системи керування, здатні оперативно реагувати на зміну теплового навантаження. Для вирішення цих завдань у роботі розроблено модель автоматизованої системи керування температурним режимом водогрійного котла із застосуванням ПІД-регулятора, що забезпечує стабілізацію температури теплоносія та підвищення ефективності роботи котельної установки.

Мета: Розробити автоматизовану систему керування температурним режимом водогрійного котла на основі математичної моделі теплових процесів та ПІД-регулятора для підвищення стабільності температури теплоносія та енергоефективності роботи котельної установки.

Завдання: Розробити модель автоматизованої системи керування водогрійним котлом, що забезпечує стабілізацію температури теплоносія, зменшення енергоспоживання та підвищення ефективності роботи теплотехнічного обладнання.

Водогрійні котли є важливими елементами систем теплопостачання промислових та комунальних об'єктів, забезпечуючи нагрівання води до заданої температури та підтримання необхідного теплового режиму. Основними параметрами, що визначають ефективність роботи котла, є температура теплоносія, витрата палива, кількість повітря для горіння та швидкість циркуляції води в системі [1].

Під час експлуатації котельних установок часто виникають зміни теплового навантаження, що призводить до відхилення температури води від заданого значення. Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно застосовувати автоматизовані системи керування, здатні оперативно компенсувати вплив збурюючих факторів та підтримувати оптимальні параметри процесу нагрівання води [2].

Для забезпечення ефективного регулювання температури теплоносія у системі застосовано ПД-регулятор, який дозволяє формувати керуючий сигнал на основі пропорційної, інтегральної та диференціальної складових відхилення температури від заданого значення. Параметри регулятора були визначені за допомогою автоматичного налаштування у середовищі MATLAB Simulink, що дозволило отримати оптимальні значення коефіцієнтів регулювання [5].

Розроблена модель системи керування була реалізована у середовищі моделювання MATLAB/Simulink, що дало змогу дослідити динамічні характеристики системи та оцінити ефективність застосування автоматичного регулювання. Проведене моделювання дозволило проаналізувати перехідні процеси у системі, визначити швидкість досягнення заданої температури та оцінити стабільність роботи системи у різних режимах навантаження [6].

Результати моделювання показали, що використання ПД-регулятора дозволяє значно зменшити коливання температури теплоносія та скоротити час перехідного процесу. Система автоматичного керування забезпечує більш точне підтримання заданої температури води, що сприяє зниженню витрат природного газу та підвищенню енергоефективності роботи котельної установки [1].

Додатково встановлено, що застосування автоматизованого регулювання дозволяє оперативно реагувати на зміни зовнішніх умов та теплового навантаження, знижуючи ризик виникнення аварійних ситуацій. Швидкість реакції системи та точність підтримання температури залежить від правильного налаштування ПД-регулятора та адекватності математичної моделі об'єкта [2]. Використання моделювання у MATLAB Simulink дозволяє проводити дослідження різних режимів роботи котла ще на етапі проектування, що значно скорочує час та витрати на експлуатаційні випробування [5].

Крім того, аналіз результатів моделювання показав, що інтеграція датчиків температури та швидкості подачі газу і повітря у систему керування дозволяє створити більш гнучку та адаптивну систему. Це сприяє підвищенню стабільності роботи котельної установки навіть при значних коливаннях теплового навантаження та змінних умовах експлуатації [3,4]. Таким чином, розроблена автоматизована система керування є ефективним інструментом підвищення енергоефективності та надійності роботи водогрійного котла.

Література

1. Болтянський В. І. Електроприводи промислових механізмів. Київ: Наукова думка, 2014.
2. Баран М. П. Автоматизація теплотехнічних процесів : навч. посіб. Київ : Техніка, 2019. 256 с.
3. Жук В. І. Теплотехніка та теплові процеси в енергетиці : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 312 с.
4. Лазарєв О. М. Автоматичні системи керування технологічними процесами : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 280 с.
5. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2017. 1048 p.
6. MATLAB/Simulink Documentation. MathWorks Official Documentation. Natick : MathWorks, 2023.
7. Wang L., Zhang Y. Energy-efficient control of industrial boiler systems. Energy Engineering Journal. 2021. Vol. 118, No. 3. P. 45–56.

Розробка автоматизованої системи регулювання насосною станцією живлення водою підприємства

Разживін О. В., Рубан Г. В., Коваленко А. Ю.
Донбаська державна машинобудівна академія

У роботі розглядається насосна станція другого підйому з автоматичним управлінням двома електроприводами, які приводять в обертання два поживних насоса відцентрового типу. Насоси призначені для живлення водою підприємства. Насоси працюють поперемінно, перемикання відбувається з періодичністю, встановленої графіком планово-попереджувальних робіт. Впровадження перетворювачів частоти в систему водозабезпечення обумовлена, по-перше, більш високою економічною ефективністю частотно-керованих електроприводів, в порівнянні з системою «електродвигун - живильний насос - дросельна засувка», коли регулювання подачі води здійснювалося вручну операторами [1].

Однією з головних тенденцій розвитку сучасного електроприводу є використання його з метою заощадження енергетичних ресурсів та екології [2, 6]. При цьому важливим стає підвищення енергетичної ефективності існуючих електроприводів, що дозволяють вирішувати технологічні завдання при мінімальних витратах. У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання зниження енерговитрат насосної станції для живлення водою підприємства є актуальною науково-технічною задачею

Постановка задачі полягає у зниженні енерговитрат з водопостачання підприємства шляхом розробки автоматизованої системи керування електроприводами насосів.

Основний зміст роботи. У базовій системі управління насосною станцією 2-го підйому основним способом регулювання тиску в мережі є створення додаткового опору потоку води шляхом перекриття засувки, розташованої після насосного агрегату по шляху проходження потоку (так зване дросельне регулювання). Альтернативним способом регулювання продуктивності насосів є використання перетворювача частоти, який дозволяє змінювати швидкість

обертання насосного агрегату, створюючи натиск.

Використання систем регулювання на основі частотного перетворювача дозволяє скоротити витрату електроенергії. [6, 7].

На насосній станції другого підйому розташоване технологічне обладнання з чотирма мережевими насосами Н1-Н4. При модернізації існуючої АСУ запропоновано наступне технічне рішення. При подачі води на мінімальних витратах функціонує тільки нерегульовані насоси Н1 і Н3. Регулювання напірного тиску реалізується шляхом зміни положення заслінки яка приводиться в рух МЕО М1-1 і М1-3 відповідно. показникам з датчиків РЕ1-1 і РЕ1-3. У години максимального споживання в залежності від необхідної витрати і підтримки тиску в водопровідній мережі відбувається підключення насосів Н2 і Н4 з регульованою частотою обертання валу електродвигуна. Для визначення статичних параметрів частотно-регульованого електроприводу насосів використано ПЗ Sizer of Siemens Drive в якому обрано приводний електродвигуна 1LN1223-3AC11-3AA0 та одноосевий перетворювач (Single-Drive) Sinamics G150 6SL3710-1GE33-1AA3

На наступному етапі здійснено математичне моделювання приводної системи засобами SimPower Systems з вихідними даними для розрахунку визначеними у ПЗ Sizer of Siemens Drive. Структурна схема математичної моделі електроприводу насосів приведена на рисунку 1.

Для регулювання швидкості обертання валу приводних електродвигунів частотним регулюванням швидкості синтезовано ПД-регулятор дискретною передатною функцією:

$$W_p(z) = 1145 \left[0,153 + 0,039 \cdot \frac{z+1}{z-1} + 0,044 \frac{z-1}{z+1} \right] \quad (1)$$

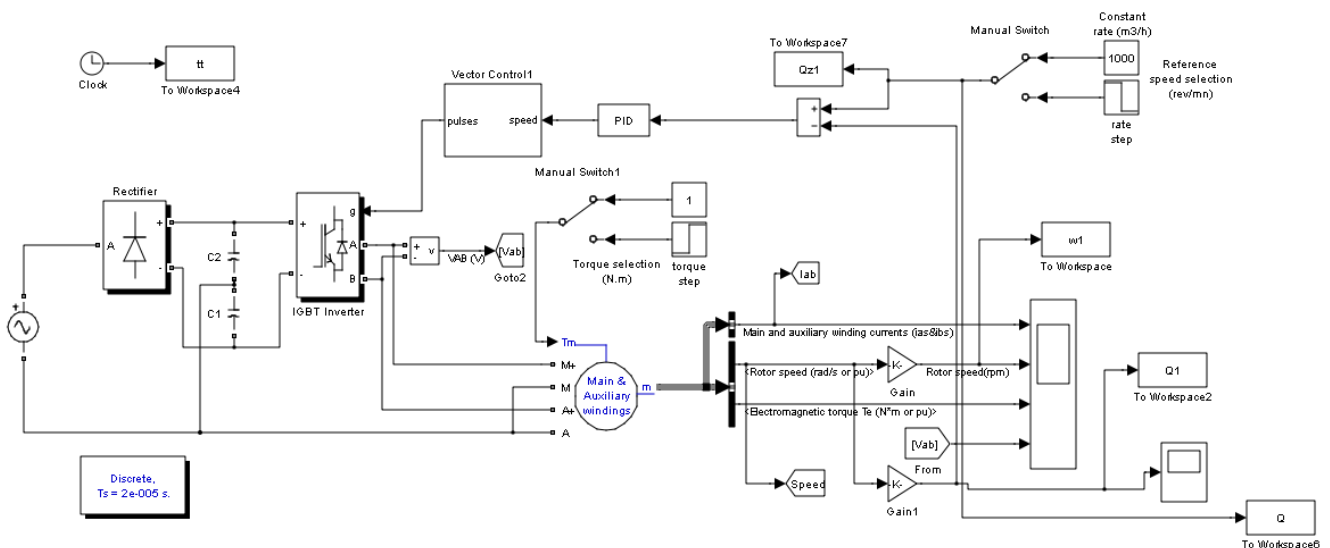


Рисунок 1 – Схема структурна математичної моделі АСУ витратою води

На рис. 2 наведені перехідні процеси зміни витрати води і частоти обертання приводних насосів.

У якості керуючої величини прийнята величина витрати води Q_z , яка подається в систему. Величина Q_z прийнята рівною витраті, який становить $500 \text{ м}^3/\text{г}$. Час перехідного процесу досягнення заданої величини витрати на виході з насосу дорівнює 8 с. Згідно графіку перехідного процесу перегулювання за витратою на початку часу дорівнює $1,85 \text{ м}^3/\text{г}$, що менше припустимої похибки $3,2 \text{ м}^3/\text{г}$. Час перехідного процесу по витраті 8,6 с.

За результатами досліджень сформульовані наступні висновки:

- підвищені якісні показники технологічного процесу водозабезпечення підприємства за погодинним графіком, за рахунок підвищення точності вимірювання та регулювання витрати води.
- зменшена собівартість процесу водопостачання шляхом зниження енергоємності системи подачі води за рахунок автоматизованого контролю витрат води, що подається і об'ємного регулювання із застосуванням частотного електроприводу напірних насосів.

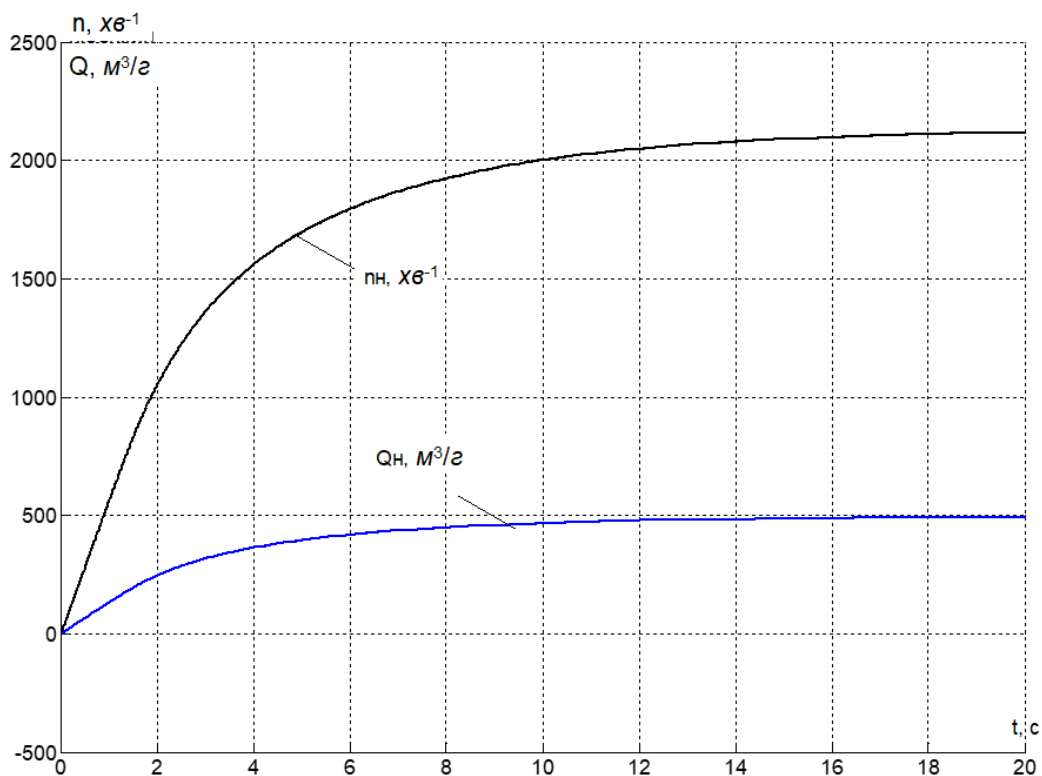


Рисунок – 2 Графік перехідного процесу при зміні витрати і частоти обертання валу приводних електродвигунів насосів

Література

1. Gleick P. Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric carbon dioxide and other trace gases. *Climatic Change*. 1987. Vol. 10. №2. P. 137–148.
2. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посібник. Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. Харків : ХНАМГ, 2010. 280 с.
3. Рассел С., Норвіг П. Штучний інтелект: сучасний підхід. пер. з англ. 2-й вид.: М. Вид. будинок «Вільямс», 2006. 1408 с.
4. Хайло Я.М. Формування інноваційних механізмів управління ресурсозбереженням на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства /дисерт.к.е.н. за спец.08.00.04. Харків, 2018. 251 с.
5. Віннікова І. І. Шляхи вдосконалення ефективної системи господарювання підприємств ЖКГ. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки, 2011. № 6. Т.4. С. 208-212.
6. Шкінь О.М. Інноваційні напрями модернізації системи централізованого водопостачання і водовідведення в Україні/Економіка та управління національним господарством. 2012. № 1(13). С. 87-91.
7. . Кулько А. В. Інтегроване управління водними ресурсами міжнародних водотоків: проблеми та перспективи механізмів міжнародно-правової регламентації. Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. 2013. № 4. С. 107–112.

Інтелектуальна система керування дводвигунним електроприводом скребкового конвеєра

Шляховий І. Ю., Разживін О. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Досліджено принципи побудови дводвигунних електроприводів скребкових конвеєрів, на основі яких розроблено інтелектуальну систему керування для підвищення енергоефективності та надійності роботи транспортного обладнання.

Створення двохдвигунної електропривідної системи потребує не лише правильного вибору електромеханічного обладнання, а й розробки алгоритмів синхронізації моментів та швидкостей, оскільки навіть незначна асиметрія керування може спричинити виникнення динамічних перевантажень у редукторах, муфтах та тяговому ланцюзі конвеєра. Особливо важливими є інтелектуальні методи вирівнювання моментів Torque-Sharing Control та Master–Slave керування, що забезпечують оптимальний режим роботи механізму незалежно від умов навантаження [1].

У межах даного дослідження розроблено проєкт комбінованої автоматизованої системи керування, що включає два частотні перетворювачі, керуючий контролер, датчики струму, швидкості та моменту, а також систему діагностики та захистів. Ця система орієнтована на забезпечення безпечної та ефективної роботи конвеєра навіть у випадках різкого збільшення подачі матеріалу, його ущільнення або зміни властивостей, що часто є причиною перевантажень та непередбачених зупинок [2].

Проєктована інтелектуальна система виконує аналіз навантаження в реальному часі, визначає ступінь відхилення моментів на обох приводах, корегує сигнали керування частотними перетворювачами та забезпечує стабілізацію швидкості руху конвеєрної гілки. Використання датчиків струму та швидкості дає змогу отримувати достовірну інформацію про фактичний стан приводу, а вбудований мікропроцесорний модуль виконує високошвидкісну обробку даних і формування керуючих команд. Структурна схема системи

керування дводвигунним електроприводом скребкового конвеєра представлена на рисунку 1.

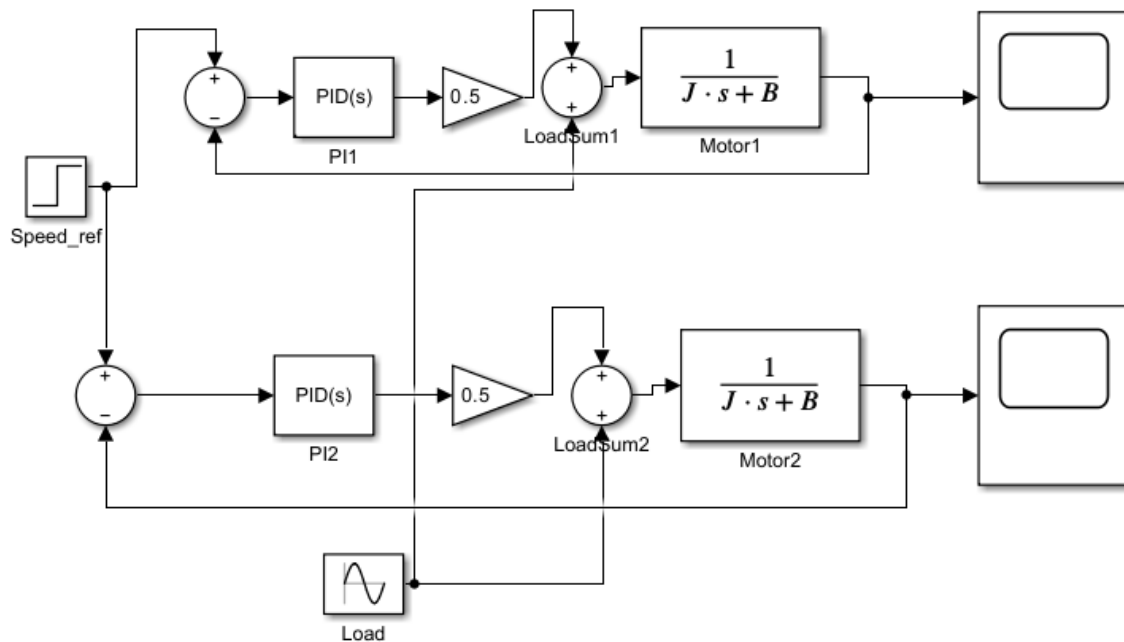


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування дводвигунним електроприводом скребкового конвеєра

Особливу увагу приділено розробці математичної моделі електроприводу, побудованої на основі векторного керування у dq-координатах. Модель включає електромагнітні процеси в асинхронних двигунах, механічну динаміку конвеєра, інерційні та коливальні властивості привідної гілки, а також алгоритми регулювання моменту та швидкості. Реалізація системи у MATLAB/Simulink дала змогу дослідити режими пуску, зупинки, роботи з нерівномірним навантаженням, перевантаження та аварійні умови [3].

Графіки результатів дослідження залежності втрат активної потужності від продуктивності та ваги деталі представлено на рисунку 2.

Графіки показують значне зменшення втрат активної потужності при використанні адаптивного алгоритму. Це безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат та підвищення стабільності роботи конвеєра.

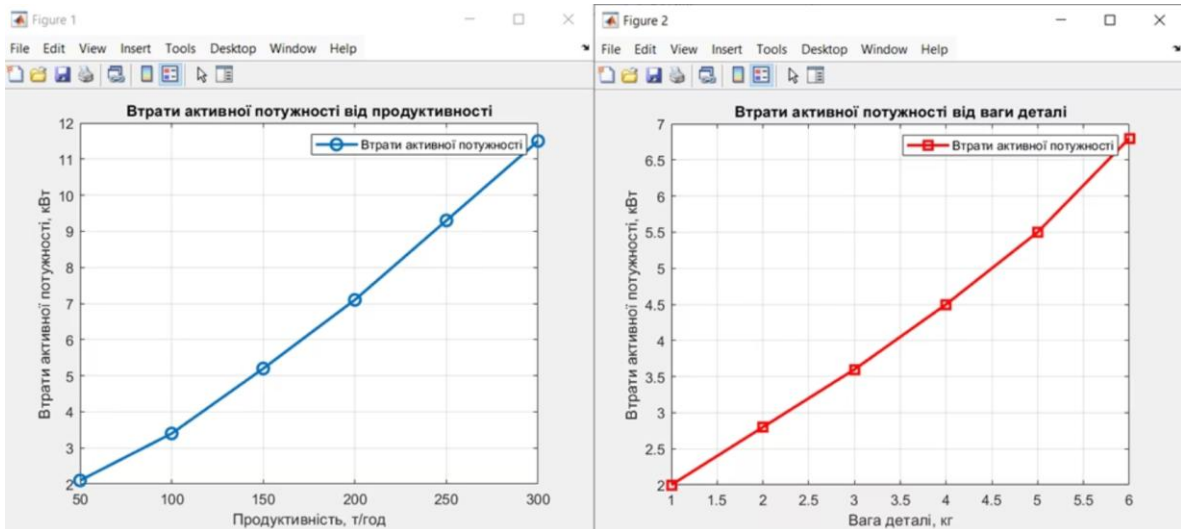


Рисунок 2 – Графіки результатів дослідження залежності втрат активної потужності від продуктивності та ваги деталі

Адаптивний підхід забезпечує не лише зниження споживання електроенергії, але й підвищує рівномірність розподілу моментів між двигунами, що позитивно впливає на ресурс механічних вузлів конвеєра. Графік підвищення стабільності швидкості транспортування представлено на рисунку 3.

Результати моделювання демонструють значні переваги двохдвигунного інтелектуального приводу:

- зниження пікових пускових струмів на 25–30 %;
- вирівнювання навантаження між двигунами у більш ніж 2 рази;
- зменшення середніх енерговитрат на 20–30 %;
- мінімізація коливань моменту та зменшення динамічних ударів у приводі;
- підвищення стабільності швидкості транспортування матеріалу на 15–20 %.

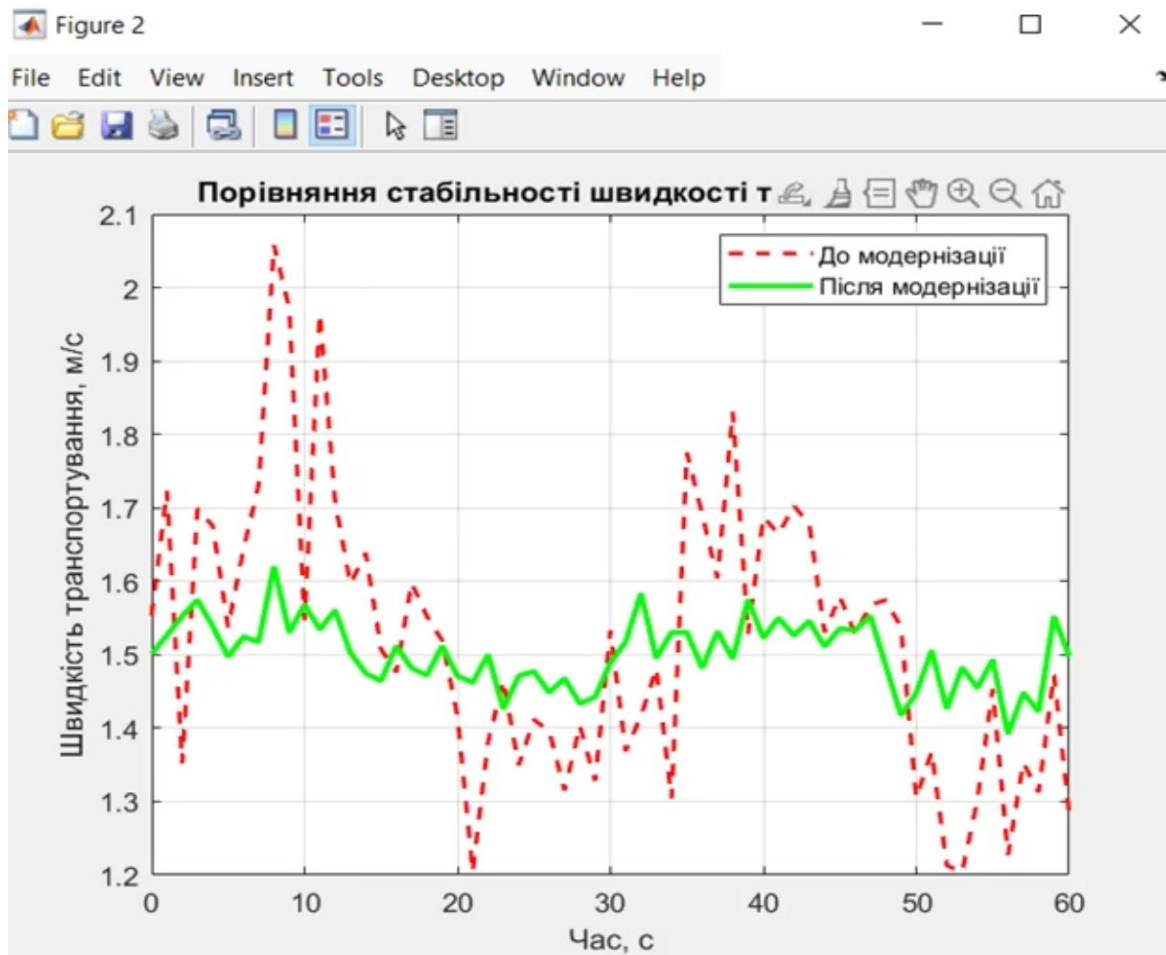


Рисунок 3 – Графік підвищення стабільності швидкості транспортування

Інтелектуальна система також може видавати сигнали попередження у разі наближення механізму до критичних режимів, а також передавати технологічні дані у SCADA або IoT-платформи для ведення предиктивної аналітики. Це дозволяє здійснювати віддалений моніторинг обладнання, прогнозувати зношування механічних компонентів і планувати технічне обслуговування за фактичним станом, що значно підвищує надійність роботи виробничої лінії [4].

Таким чином, автоматизована система керування дводвигунним електроприводом скребкового конвеєра суттєво підвищує ефективність і безпеку роботи промислового обладнання, знижує енергетичні витрати та забезпечує довготривалий ресурс механічних компонентів. У поєднанні з сучасною елементною базою та цифровими технологіями така система є перспективною

основою для модернізації існуючих конвеєрних комплексів та створення інтелектуальних промислових транспортних систем.

Література

1. Bose B. K. *Modern Power Electronics and AC Drives*. Prentice Hall, 2012.
2. Zivanovic R. *Control of Multiple Motor Drives in Conveyor Systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, 2020.
3. MATLAB/Simulink Documentation. MathWorks, 2023.
4. Leonhard W. *Control of Electrical Drives*. Springer, 2011.

Інформаційні процеси в CAD/CAE/CAM-системах

Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Інформаційні процеси в CAD/CAE/CAM-системах являють собою сукупність операцій зі створення, обробки, передачі, зберігання та використання цифрових даних протягом усього життєвого циклу виробу. Ці системи утворюють основу сучасної автоматизації проектування та виробництва, забезпечуючи безперервний цифровий потік інформації (digital thread) від ідеї до готової деталі.

CAD, або Computer-Aided Design, це системи автоматизованого проектування. Вони відповідають за геометричне моделювання, включаючи створення двовимірних креслень і тривимірних моделей, таких як твердотільні, поверхневі або параметричні. Основні інформаційні процеси в CAD охоплюють генерацію геометричних даних з використанням примітивів, поверхонь Без'є, сплайнів та складань, оформлення конструкторської документації згідно зі стандартами, параметричне та варіантне проектування, а також обмін даними через нейтральні формати на кшталт STEP, IGES чи DWG [1].

CAE, або Computer-Aided Engineering, це системи інженерного аналізу. Вони беруть геометричну модель з CAD і використовують її для симуляції фізичних процесів. Ключові інформаційні процеси тут включають попередню обробку з побудовою сітки кінцевих елементів (mesh), безпосередній розрахунок

за допомогою методів кінцевих елементів (FEA), динаміки рідин і газів (CFD), аналізу міцності, теплопередачі чи динаміки, постобробку результатів з візуалізацією полів напружень, деформацій та факторів безпеки, а також оптимізацію конструкції на основі отриманих даних [2].

CAM, або Computer-Aided Manufacturing, це системи автоматизованої підготовки виробництва. Вони перетворюють тривимірну модель на технологічні дані для виготовлення. Інформаційні процеси в САМ охоплюють генерацію траєкторій руху інструменту (toolpaths), призначення оптимальних режимів різання (швидкість, подача, глибина), симуляцію процесу обробки з перевіркою можливих колізій, постпроцесинг для створення G-коду або NC-програм для верстатів з числовим програмним керуванням, а також оптимізацію використання матеріалу, наприклад, через nesting для листового металу [2].

Інформаційні процеси в CAD/CAE/CAM не існують окремо, а формують єдиний інтегрований ланцюжок. Модель, створена в CAD, передається до CAE для проведення аналізу. Якщо під час симуляції виявляються проблеми, такі як надмірні напруження чи резонанси, модель повертається на доопрацювання в CAD. Готова модель також слугує основою для технологічної підготовки в САМ. Зворотні зв'язки дозволяють коригувати конструкцію на основі реальних даних з виробництва або вимірювань.

У сучасних інтегрованих платформах, таких як Siemens NX, Autodesk Fusion 360, CATIA чи SolidWorks з відповідними модулями, всі дані зберігаються в єдиній базі, часто разом з PDM/PLM-системами для управління даними про виріб. Це забезпечує уникнення дублювання інформації, автоматичне оновлення змін по всьому ланцюжку, паралельне проектування (concurrent engineering) та підтримку стандартів обміну даними. Інформаційні процеси також включають управління конфігураціями виробів, версіями файлів, доступом користувачів та архівуванням [3].

Завдяки таким процесам значно скорочується час розробки, зменшується кількість помилок і оптимізуються конструкції ще на етапі віртуального прототипування, без необхідності виготовлення фізичних зразків. Сучасні

тенденції розвитку включають хмарні рішення, генеративний дизайн, інтеграцію з інтернетом речей (IoT) та створення цифрових двійників виробів.

В Україні системи CAD/CAE/CAM активно застосовуються як у промисловості, так і в закладах вищої освіти. Студенти Харківського авіаційного інституту, КПІ ім. Ігоря Сікорського, НТУ «Дніпровська політехніка» та інших університетів працюють з пакетами CATIA, Siemens NX, ANSYS, Autodesk Inventor під час курсового та дипломного проектування, а також для вирішення реальних завдань машинобудівних, авіаційних та оборонних підприємств [4].

Приклад типового робочого потоку виглядає так: інженер створює тривимірну модель важеля в CAD-системі, передає її до CAE для аналізу міцності під навантаженням, вносить необхідні зміни, а потім у CAM генерує програму для фрезерування деталі на верстаті з ЧПК. Зміна геометрії в CAD автоматично оновлює дані в CAE і CAM завдяки інтеграції.

Література

1. CAD-системи та мультимедія [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / М. М. Поліщук, М.М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 9,2 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
2. Онищенко С. В., Чечель Т. О. Конспект лекцій з дисципліни «3D моделювання та візуалізація» для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство». Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 147 с.
3. Нефьодов Л. І., Невлюдов І. Ш., Безкоровайний В. В. CALS-технології і системи : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2021. 272 с. ISBN 978-966-659-326-2.

Сучасні тенденції проектування БПЛА

Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні тенденції проектування дронів визначаються активним впровадженням генеративного дизайну та штучного інтелекту. Замість тривалих ручних ітерацій у CAD, сучасні алгоритми за лічені години створюють сотні оптимальних варіантів конструкцій з мінімальною вагою, високою міцністю

та повною готовністю до адитивного виробництва. Інтеграція ІІІ дозволяє автоматично підбирати параметри, оптимізувати аеродинаміку та енергоспоживання, завдяки чому загальний час розробки скорочується в рази. Як наслідок, дрони стають значно легшими (на 40–70 %), енергоефективнішими і швидше з'являються на ринку, що особливо важливо для FPV-дронів, вантажних UAV та спеціалізованих рішень у сільському господарстві, логістиці й обороні.

Генеративний дизайн – це процес, у якому алгоритми ІІІ (часто на базі топологічної оптимізації, наприклад SIMP) генерують сотні або тисячі варіантів конструкції на основі заданих обмежень: навантаження, матеріали, методи виробництва (3D-друк, фрезерування тощо), збереження певних зон (наприклад, кріплення моторів) та уникнення перешкод. Інженер задає цілі (мінімізація ваги при збереженні міцності), а ІІІ пропонує органічні, часто «біоміметичні» форми, які важко створити традиційними методами CAD [1].

У Autodesk Fusion 360 шасі квадрокоптера можна повністю згенерувати за годину. Дослідження демонструють, що завдяки генеративному дизайну вагу рами вдається зменшити на 66 % порівняно з оригінальною моделлю DJI F450, при цьому зберігаючи мінімальне зміщення (0,12 мм) та низький рівень напруги (3,28 МПа) [2]. Для аерокосмічних компонентів дронів топологічна оптимізація з використанням штучного інтелекту дозволяє досягти зменшення маси до 70 % та зниження деформації (compliance) на 83,94 % при факторі безпеки 2,0–результати були отримані для матеріалів алюміній 6061, кобальт-хром та AlSi10Mg [3]. Аналогічна оптимізація рам гексакоптерів для сільськогосподарського обприскування та інших типів UAV також показує суттєве підвищення структурної ефективності [4]. Генеративний дизайн особливо ефективно поєднується з адитивним виробництвом (3D-друк), що дає змогу створювати легкі, міцні та органічні форми конструкцій, які неможливо було реалізувати традиційними методами.

Штучний інтелект у проєктуванні дронів далеко виходить за межі генерації лише геометрії конструкції. Він забезпечує автоматичний підбір оптимальних

параметрів - матеріалів, товщини стінок, аеродинамічних профілів та розподілу навантажень, - а також тісно інтегрується зі симуляціями скінченно-елементного аналізу (FEA) для швидкої багаторазової ітерації. Крім того, ІІІ дозволяє оптимізувати аеродинаміку, розміщення корисного навантаження та навіть планування траєкторій польоту. Комплексні дослідження генеративного дизайну для UAV охоплюють не тільки механічну міцність, але й енергоефективність, аеродинамічні характеристики та корисне навантаження. Сучасні ІІІ-агенти здатні самостійно генерувати сотні варіантів дизайну, автоматично тестувати їх у симуляціях і пропонувати найкращі рішення інженеру [5].

Зменшення ваги конструкції дрона завдяки генеративному дизайну безпосередньо впливає на енергоспоживання: легший апарат потребує значно менше потужності для зльоту, утримання висоти та маневрування, що є одним із ключових факторів збільшення тривалості польоту. Штучний інтелект іде далеко за межі пасивної оптимізації ваги і активно працює з динамічними аспектами енергоменеджменту. Він забезпечує розумне планування маршрутів з урахуванням реального вітру, рельєфу місцевості та поточного навантаження, що в деяких дослідженнях дозволяє зменшити енергоспоживання до 18 %. Крім того, ІІІ застосовує адаптивні контролери та нейронні мережі для регулювання тяги двигунів у реальному часі, а також прогнозує споживання енергії на основі історичних даних, динаміки польоту та зовнішніх факторів. Завдяки AI-driven energy management вдається суттєво подовжити час польоту, оптимізувати використання акумуляторних батарей, ефективніше розподіляти енергію між системами та навіть інтегрувати відновлювальні джерела живлення, такі як сонячні панелі [6].

Традиційне проектування дрона з використанням класичних методів CAD часто займає кілька місяців ручної роботи, численних ітерацій та виготовлення фізичних прототипів. Завдяки генеративному дизайну та штучному інтелекту цей процес радикально прискорюється: алгоритми здатні генерувати сотні оптимальних варіантів конструкції буквально за години, автоматична оптимізація та інтеграція зі симуляціями (FEA, CFD) значно скорочують потребу

у фізичних прототипах, а загальний час розробки зменшується в рази. У багатьох аерокосмічних проєктах фіксується прискорення до 10 разів порівняно зі звичайним підходом. Така швидкість особливо критична для FPV-дронів, вантажних UAV, сільськогосподарських обприскувачів, логістичних систем та оборонних рішень, де швидкий вихід на ринок або оперативне впровадження нових модифікацій може мати вирішальне значення [6].

Поєднання генеративного дизайну, ШІ та автоматизованого підбору параметрів перетворює проєктування дронів на швидкий, ефективний і інноваційний процес. Результат - легші, міцніші, енергоефективніші апарати, які швидше виходять на ринок. Технології вже доступні в інструментах на кшталт Autodesk Fusion 360, Altair Inspire та спеціалізованих платформах.

Література

1. *Creating a Drone Chassis Using Generative Design*. Autodesk University. 2020. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Creating-Drone-Chassis-Using-Generative-Design-2020> (дата звернення: 04.04.2026).
2. Andries, V., Zaharia, S.-M. *Generative Design, Simulation, and 3D Printing of the Quadcopter Drone Frame*. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 17. Article 9647. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15179647>
3. Shakhthivel, S. *Generative AI-driven topology optimization for mass-efficient structural design of aerospace drone components*. *Results in Engineering*. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.100784>
4. *Generative design and structural optimization of a lightweight engineering structure*. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*. 2025. Vol. 24, No. 2. Article 0217. URL: https://gjeta.com/sites/default/files/fulltext_pdf/GJETA-2025-0217.pdf (дата звернення: 04.04.2026)
5. *ASEAN Engineering Journal*. 2026. Vol. 16, No. 1. URL: <https://journals.utm.my/aej/article/view/21286> (дата звернення: 04.04.2026)
6. Bibbò L., Laganà F., Bilotta G., Meduri G. M., Angiulli G., Cotroneo F. *AI-Enhanced Eco-Efficient UAV Design for Sustainable Urban Logistics: Integration of Embedded Intelligence and Renewable Energy Systems*. *Energies*. 2025. Vol. 18, № 19. Art. 5242. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/19/5242> (дата звернення: 04.04.2026). DOI: 10.3390/en18195242.

Автоматизація наплавлення на основі алгоритмів скінченних автоматів

Малигіна С. В., Турчанін Д. М.

Донбаська державна машинобудівна академія

Розробка автоматизованих систем керування на основі скінченних автоматів (FSM) для процесів наплавлення є критично важливою для сучасного машинобудування, особливо в умовах роботи зі складнолегованими матеріалами. Використання сучасних електродних матеріалів дозволяє отримувати наплавлені шари з унікальними властивостями: надвисокою твердістю, корозійною стійкістю чи жароміцністю. Проте технологічний процес є вкрай чутливим до коливань параметрів. Складнолеговані сплави мають вузькі температурні інтервали, у яких формується якісна структура металу. Будь-яке відхилення від режиму призводить до вигорання легуючих елементів, утворення пор або кристалізаційних тріщин.

Згідно [1], наплавлення композитних сплавів потребує жорсткого контролю енергетичних параметрів для збереження карбідної фази. Треба також зауважити, що людський фактор (неточність ручного керування або неможливість миттєвої реакції на зміну довжини дуги) є головною причиною браку. FSM забезпечує стопроцентну повторюваність результату при кожному циклі наплавлення.

Інтеграція процесу наплавлення електродних матеріалів в концепцію Індустрії 4.0 означає перетворення автономної установки на "розумний" вузол загальної екосистеми підприємства [2]. Наплавлювальна установка стає частиною багаторівневої системи управління. Вона отримує завдання безпосередньо з ERP-системи (наприклад, завдання на наплавлення конкретної деталі з бази даних) і передає дані назад у SCADA для звітності. Установка вбудована в єдиний технологічний ланцюг (наприклад, від вимірювання зносу деталі лазерним сканером, автоматичного наплавлення до фінішної обробки на ЧПК).

Метою створення скінченного автомата для керування процесом плавлення електродного матеріалу є створення детермінованої, стабільної та

гнучкої системи керування, що забезпечує задані експлуатаційні властивості наплавленого шару. Основні цілі включають забезпечення металургійної стабільності, тобто досягнення оптимальної мікроструктури композиту шляхом утримання тепловкладення в заданих межах, що запобігає «перепаленню» карбідів. Також була поставлена ціль в реалізації алгоритму, який автоматично коригує швидкість подачі електроду при випадкових коливаннях напруги на дузі або при зміні вильоту електроду, що забезпечує коректну зміну режимів на старті та фініші (заварка кратера), що є критичним для запобігання дефектам у краєвих зонах наплавлених деталей.

Виходячи з вищесказаного, для автоматизації процесу наплавлення доцільно використовувати скінченний автомат (FSM — Finite State Machine), який забезпечує послідовну зміну станів системи залежно від вхідних параметрів (струм, напруга, швидкість подачі, температура) [3].

Опишемо детально роботу автомата на кожному етапі. У початковому стані S1 (Ініціалізація) проходить первісне налаштування системи, подача захисного газу (з випередженням часу 0.5–1.0 сек), подача напруги холостого ходу, команда на привід подачі електроду зі швидкістю, що дорівнює 50 % від робочої. Як тільки датчик струму фіксує підйом вище порогового рівня, система підтверджує запалювання дуги. Якщо протягом 100 мс дуга не виникла, перехід у стан S5 (Аварія: "Не вдалося запалити дугу"). На наступному етапі S2 проходить вихід на робочий температурний режим для стабілізації плавлення оболонки. Поступове збільшення струму та швидкості подачі за алгоритмом "рампи" (2–5сек), далі активізується ПІД-регулятор напруги (утримання заданої довжини дуги) та перевіряється зворотний зв'язок: чи відповідає напруга та швидкість подачі заданому режиму для конкретного композитного сплаву. На етапі S3 проходить сам робочий процес, в якому підтримується стабільна металургійна ванна та рівномірний розподіл тугоплавких фаз. Система постійно порівнює реальну напругу із заданим. При коливаннях через нерівності поверхні деталі алгоритм коригує швидкість подачі електроду; якщо дуга задовга — збільшує, якщо дуга закоротка — зменшує. Якщо протягом роботи струм

перевищує критичне значення, що загрожує перегрівом карбідів, система автоматично переходить на режим "імпульсного струму" або знижує швидкість подачі для зниження тепловкладення. Наступний етап S4 - заварка кратера, на якому проходить плавне зниження енергії для уникнення утворення усадочних пор та тріщин. Після отримання сигналу "Кінець шва" або "Кінець контуру" запускається цикл зменшення швидкості подачі стрічки та струму за експоненціальною кривою. Останній імпульс (заповнюючий) необхідний для формування кратера. Далі припиняється подача стрічки при збереженні струму на 0.2 сек. (для повного оплавлення металу в кратері). Дуга вимикається і продовжується подача захисного газу (пост-газ) для охолодження шва в захищеному середовищі. На цьому етапі важливо зменшити швидкість руху пальника (або обертання деталі), щоб об'єм розплаву встигав заповнювати кратер, не створюючи "сідловидних" заглиблень [4]. Також потрібно додати етап обробки помилок. Якщо виникло обрив дуги, то виклик стану S1 "рестарт" (одноразово). Якщо з'явився перегрів необхідно зупинити подачу, але продовжити обдування захисним газом для охолодження зони наплавлення.

Для кращого розуміння роботи скінченного автомата (FSM) та інтеграції в промислову систему керування, цей процес можна представити у вигляді функціонально-подієвої матриці [5]. У цій моделі (модель Мура) ми чітко розмежовуємо поточний стан, умову переходу (подію) та результуючий вихідний сигнал (дію). Це робить таблицю зручною для програмування в PLC (промислових контролерах).

Для впровадження цього автомата система повинна мати шунт або датчик Холла (струм), дільник напруги (для контролю довжини дуги), датчик швидкості подачі електроду, мікроконтролер реального часу (наприклад, STM32 або промисловий PLC), здатний обробляти цикли керування з частотою не менше 1–5 кГц. В якості виконавчих пристроїв можна застосовувати привід подачі з ШІМ-керуванням та джерело живлення з інверторним керуванням (інтерфейс Modbus/CAN для зміни параметрів на ходу). Для електродних матеріалів можна рекомендувати додати в стан S3 підрежим "Імпульсний струм". Це дозволяє

чергувати етап плавлення оболонки (піковий струм) та етап формування електродної краплі з мінімальним енерговкладенням (базовий струм), що запобігає перегріву карбідів або інших укріплювачів [6]. Впровадження алгоритму PID-регулювання із зворотним зв'язком дозволяє стабілізувати тепловкладання в межах оптимального металургійного діапазону. Це забезпечує збереження цілісності тугоплавких зміцнювальних фаз (карбідів та боридів), запобігаючи їх термічній деградації в процесі наплавлення. Запровадження окремих станів для плавного старту та фінішу (заварка кратера) мінімізує ризик утворення кристалізаційних тріщин, пор та локальних зон непровару, що є критичним для довговічності наплавлених деталей.

Таблиця 1 – Таблиця станів та переходів (матриця керування)

Стан (State)	Назва стану	Вихідні сигнали / Дії	Умова переходу (Next State Condition)	Наступний стан
S0	Ініціалізація	Перевірка сенсорів, Калібрування, Газ: OFF, Струм: OFF	Усі тести ОК + Команда ПУСК	S1
S1	Ініціація дуги	U_0 (напруга холостого ходу) ON, Подача V_{start}	Дуга стабільна ($I > I_{min}$)	S2
S2	Стабілізація	Рампа I (струму) та V(швидкості) до робочих значень, PID-управління ON	Таймер t завершено	S3
S3	Робочий процес	PID-регулювання I_{set} , V_{set} , Активний PID	Команда "Кінець шва"	S4
S4	Заварка кратера	Плавне зниження I та V	Струм $I < I_{min}$	S0
S5	Аварія (Error)	Вимкнення живлення U OFF, Зупинка механіки, Помилка	Кнопка "Reset"	S0

Доведено, що процес наплавлення складнолегованих сплавів вимагає переходу від дискретного керування до інтегрованої системи на основі скінченних автоматів (FSM). Використання моделі Мура дозволяє чітко розмежувати етапи технологічного циклу (ініціація, прогрів, робота, заварка кратера), що виключає неоднозначність у діях виконавчих механізмів. Впровадження вбудованого ПІД-регулювання забезпечує стабільність тепловкладання, зберігаючи функціональні властивості сплавів, що в комплексі з цифровою інтегрованістю системи відповідає вимогам концепції Індустрії 4.0 щодо автоматизації та контролю якості виробництва.

Література

1. Рябцев І. О., Кнуренко О. П., Рябцев І. І. Спеціальні методи наплавлення: підручник. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. 216 с.
2. Коваленко А. А., Кучеренко О. В. Цифровізація промислового виробництва: від концепції Індустрії 4.0 до реалізації. Економіка та управління підприємствами. 2022. № 1. С. 45–52
3. Shrouf, F., Ordieres, J., Miragliotta, G. (2020). Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the State of the Art and Future Research Directions. *Sensors*. Vol. 20, Issue 1. P. 1–25.
4. Лукаш В. Г., Книш Л. С. Сучасні методи зміцнення поверхонь деталей машин: монографія. Харків : ХНАДУ, 2021. 240 с
5. Петренко В. О. Програмування промислових контролерів за стандартом IEC 61131-3: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 185 с
6. Wang, J., Wu, C., Gao, H. (2020). Modeling and Control of Robotic Welding Systems. Springer. 250 p.

РОЗДІЛ 8.
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ТА ЗНАНЬ
(DATA MINING), ОРГАНІЗАЦІЯ БАЗ ЗНАНЬ ДЛЯ САПР, РОЗРОБКА
СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
В АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ
СИСТЕМАХ І МЕРЕЖАХ

Методи управління інкрементальною зміною з допомогою корекцій
коефіцієнтів ПД-регулятора

Руденко В. М., Ільїнський М. І.
Донбаська державна машинобудівна академія

Нечітка система використовується для модифікації параметрів регулятора нижнього рівня (базового). Такий підхід може бути ефективним під час керування нестаціонарним об'єктом, а також за неточно відомих параметрів об'єкта. Базовий регулятор може бути налаштований за стандартною методикою, а нечіткий супервізор дає змогу варіювати коефіцієнти базового регулятора, покращуючи якість управління [1]. Метою проведення досліджень є створення методики синтезу супервізорного управління з інкрементальною зміною коефіцієнтів регулятора з використанням редактора системи нечіткого висновку.

Якщо розглядати варіант супервізорного управління, у якому відбувається інкрементальна зміна коефіцієнтів регулятора. Розглянемо ПД-регулятор, у якому нечіткий супервізор може зменшувати чи збільшувати коефіцієнти посилення залежно від характеру перехідного процесу. Таким чином, вихід ПД-регулятора описуватиметься формулою [2]:

$$u(t) = (kp + \Delta kp)e(t) + (kd + \Delta kd)de(t) / dt. \quad (1)$$

Основна ідея використання інкрементного нечіткого супервізору полягає у корекції коефіцієнтів ПД-регулятора, щоб збільшувати kp , коли керується помилка управління. Диференціальний коефіцієнт kd змінюється пропорційно kp , тому підтримується співвідношення kd/kp отримане при початковому налаштуванні регулятора. Такий закон корекції забезпечується формулами [3]:

$$\Delta kp = y(t)kp; \Delta kd = y(t)kd. \quad (2)$$

де $y(t)$ – сигнал, що виробляється нечітким супервізором.

Закон роботи нечіткого супервізора відрізняється від таблиці логічних змінних звичайного НЛР, його можна обґрунтувати розглядаючи типовий графік перехідного процесу який на фазовій площині набуває такого вигляду. На початку перехідного процесу $e(t)$ велика позитивна та de/dt нульова. У регуляторі нижнього рівня використовуються номінальні параметри. Потім $e(t)$ починає поступово зменшуватися, а de/dt зростає у негативному напрямку. Вихід супервізора поступово збільшується від нуля до максимального значення, щоб зменшити час наростання. У зоні $e(t)$ негативна і система повинна повільно рухатися вниз зменшення тобто перерегулювання. Це досягається зменшенням контрольованого параметра і при цій умові вихід супервізора у цій галузі негативний. Як тільки перерегулювання досягло пікового значення, то знак de/dt стає позитивним, і вихід супервізора повинен збільшувати своє значення, доки система не потрапить до більш вищої зони. У зоні $e(t)$ знову позитивна і вихідний сигнал об'єкта наближається до стану що встановився на даний момент. Тут потрібно поступово зменшувати посилення щоб обмежити час перерегулювання.

Якщо $e(t)$ нульова, то вихід супервізора протилежний за знаком значення de/dt . Якщо de/dt нульова, то вихід супервізора збігається за знаком з $e(t)$, і має бути більшим в області малих $e(t)$ при зменшенні статичної помилки [4]. Зроблені дослідження дають змогу здійснити опис поведінки нечіткого супервізора у вигляді таблиці лінгвістичних змінних.

Розглянемо приклад використання нечіткого супервізора. Нехай є система управління з ПД-регулятором, коефіцієнти якого розраховано за методом Зіглера–Ніколса. Налаштування регулятора методом Зіглера–Ніколса полягає у тому щоб обчислити або підібрати оптимальні значення коефіцієнтів:

КР – коефіцієнт посилення пропорційного складника;

КD – коефіцієнт посилення диференціального складника.

При використанні ПД, ПІ, ПІД-регулятора необхідно побудувати модель усієї системи у цілому та математично обчислити необхідні значення

коефіцієнтів. У такому разі значення можна розрахувати точно. Але на практиці математичний розрахунок коефіцієнтів це завдання далеко не тривіальне і вимагає глибоких знань теорії автоматичного управління, тому здебільшого використовуються інші, спрощені методи налаштування.

Налаштуємо коефіцієнти ПД-регулятора методом Зіглера–Ніколса для даного випадку [5]. Задаємо на математичній моделі $KD = 0$, а коефіцієнт пропорційного складника регулятора збільшуємо до значення, за якого у системі виникає коливальний перехідний процес з однаковим періодом коливань. Проведемо синтез ПД-регулятора з нечітким супервізором, у якому відбувається інкрементальна зміна коефіцієнтів регулятора нечітким супервізором ПД-регулятора. Виходить що в моделі перехідного процесу спроектована система управління повністю компенсує збурюючі впливи.

У висновку можна сказати що проведений порівняльний аналіз графіків перехідного процесу в системі управління з класичним ПД-регулятором та за супервізовного управління у якому відбувається інкрементальна зміна коефіцієнтів ПД-регулятора показав, що застосування нечіткого інкрементного супервізора дає змогу підвищити бистродію системи управління за час відпрацювання збурень та може підвищити стійкість до збурень яка досягається шляхом динамічної адаптації інкрементним нечітким супервізором передаточних коефіцієнтів класичних регуляторів.

Література

1. Ben Alla S., Ezzati A., Mohsen A. Gateway and Cluster Head Election using Fuzzy Logic in heterogeneous wireless sensor networks. *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*. May 2012. P. 19-22, 731-736.
2. Cohen B. What exactly is a smart city? [Electronic resource]. *Fast Company*. 2012. Vol. 7, No 4. P.-42- 54.
3. Heinzelman W. R., Chandrakasan A. P., Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Oct. 2002. Vol. 1, № 4. P.420-459.
4. Kang T. South Korea's experience with smart infrastructure services [Electronic resource]. 2020. 53 p.
5. Salim A., Koucheryavy A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks. *Advanced Communication Technology. ICACT 2009. 11th International Conference IEEE*. Phoenix Park, Korea. Feb. 2009. Vol. 03. P.1342- 1367.

Порівняльний аналіз моделей машинного навчання для прогнозування енергоспоживання та теплового комфорту в інтелектуальних будівлях

Гамаюн І. П., Шевченко В. С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Сучасний розвиток енергоефективних технологій у будівництві потребує застосування інтелектуальних методів аналізу даних для прогнозування ключових експлуатаційних характеристик будівель [1–3]. Одними з найважливіших показників є річне енергоспоживання та рівень теплового комфорту користувачів [4], що часто оцінюється через показник Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) [5]. Традиційні інженерні методи аналізу мають обмеження при роботі зі складними нелінійними залежностями між параметрами будівлі, тому все більшого значення набувають алгоритми машинного навчання.

У дослідженні було виконано комплексне порівняння 15 моделей машинного навчання для прогнозування енергоспоживання та рівня незадоволеності користувачів у будівлях. Для формування набору даних було проведено 5000 симуляцій у середовищі IDA ICE, де змінювались геометричні параметри приміщення, коефіцієнт застління фасаду, теплові характеристики огорожувальних конструкцій, режими вентиляції, системи затінення та кліматичні умови. Такий підхід дозволив отримати репрезентативний набір даних для аналізу складних взаємозалежностей між параметрами будівлі та її енергетичною поведінкою

Для оцінювання використовувались різні типи моделей: лінійні алгоритми (Linear Regression, Ridge, Lasso, ElasticNet), деревоподібні моделі (Decision Tree, Random Forest), бустингові алгоритми (Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM, CatBoost), методи опорних векторів (SVR), алгоритм найближчих сусідів (KNN) та штучні нейронні мережі (ANN). Особливу увагу приділено використанню ансамблевих методів, оскільки вони краще працюють із багатовимірними нелінійними даними.

Для комплексної оцінки якості прогнозування застосовано десять метрик,

серед яких середня абсолютна похибка (MAE), корінь середньоквадратичної похибки (RMSE), коефіцієнт детермінації (R^2), середня абсолютна відносна похибка (MAPE), Explained Variance Score та інші. Такий багатокритеріальний підхід дозволяє не лише оцінити точність моделей, але й визначити їхню стабільність, чутливість до викидів та здатність до узагальнення результатів

Результати дослідження показали, що для прогнозування енергоспоживання найкращі показники продемонструвала модель XGBoost, яка досягла значення $MAE = 1.55 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$, $RMSE = 1.94$, а коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0.99$, що свідчить про пояснення 99 % варіації даних. Модель LightGBM показала дещо нижчу, але також високу точність, тоді як штучна нейронна мережа забезпечила добрий баланс між точністю та здатністю моделювати складні нелінійні залежності

Для прогнозування показника теплового комфорту (PPD) найкращі результати отримано для Artificial Neural Network, яка забезпечила $MAE = 1.55 \%$, $RMSE = 1.95 \%$, а також $R^2 = 0.99$. Це підтверджує ефективність нейронних мереж у задачах, де присутні складні приховані залежності між теплотехнічними параметрами приміщення, режимами вентиляції та внутрішніми тепловими навантаженнями.

Натомість традиційні моделі, зокрема лінійна регресія та KNN, продемонстрували значно нижчу ефективність. Їхні високі значення похибок свідчать про недостатню здатність описувати нелінійну поведінку енергетичних процесів у будівлях. Це підтверджує, що сучасні задачі будівельної аналітики потребують застосування більш складних ансамблевих або нейромережових підходів.

Отримані результати мають практичне значення для створення інтелектуальних систем керування будівлями, цифрових двійників та систем автоматизованої оптимізації енергоспоживання. Впровадження таких моделей дозволяє не лише прогнозувати енергетичну поведінку будівлі, а й одночасно враховувати комфорт користувачів, що є важливим для концепції сталого розвитку будівництва.

Перспективним напрямом подальших досліджень є використання методів квантового машинного навчання для обробки багатовимірних енергетичних даних та інтеграція гібридних квантово-класичних моделей у цифрові системи моніторингу будівель у реальному часі. Такий підхід потенційно забезпечує підвищення точності прогнозування за рахунок ефективного виявлення складних нелінійних залежностей між параметрами будівельного середовища.

Література

1. Андрухов В. и др. Інформаційні технології в оцінці технічних характеристик житлових будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2023. Т. 34. №. 1. С. 146-151.
2. Дружинін М. и др. Цифрові моделі організації будівництва на ґрунті інтеграційного підходу та SMART-управління. *Управління розвитком складних систем*. 2024. №. 60. С. 165-173.
3. Mewomo M. C. et al. Synthesis of critical factors influencing indoor environmental quality and their impacts on building occupants health and productivity. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2023. Т. 21. №. 2. С. 619-634.
4. Rohde L. et al. Framing holistic indoor environment: Definitions of comfort, health and well-being. *Indoor and Built Environment*. 2020. Т. 29. №. 8. С. 1118-1136.
5. dos Reis A. S. et al. Passive Discomfort Index as an alternative to Predicted Mean Vote and Predicted Percentage of Dissatisfied to assess occupant's thermal discomfort in dwellings. *Energy Reports*. 2022. Т. 8. С. 956-965.
6. Liu G. et al. Research on prediction and regulation of thermal dissatisfaction rate based on personalized differences. *Applied Sciences*. 2023. Т. 13. №. 13. С. 7978.

Захищена система управління електронними навчальними записами на основі блокчейн-технологій у хмарному середовищі

Шматко О. В.,

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Кириченко О. В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У сучасних умовах цифровізації освітнього середовища особливого значення набуває забезпечення безпечного зберігання, передачі та контролю доступу до електронних навчальних записів студентів [1]. Електронні навчальні записи (Electronic Educational Records, EER) містять інформацію про результати навчання, академічну успішність, індивідуальні освітні траєкторії, сертифікати, відомості про проходження курсів та інші персоналізовані освітні дані. Зростання обсягів таких даних створює додаткові вимоги до забезпечення

конфіденційності, цілісності та доступності інформації [2–3].

Традиційні централізовані освітні інформаційні системи мають низку обмежень, серед яких ризик єдиної точки відмови, складність міжорганізаційного обміну даними між навчальними закладами та недостатній рівень аудиту змін записів [4]. В роботі [5] пропонувалось використання хмарної архітектури із застосуванням приватного блокчейну для реєстрації транзакцій доступу до даних, управління правами доступу та забезпечення незмінності журналу операцій

Запропонована в статті система EER включає чотири основні сутності: студента, навчальний заклад, хмарний сервер та адміністратора мережі. Студент виступає власником освітніх даних і може надавати дозвіл на доступ до власних записів. Навчальний заклад формує, оновлює та використовує електронні записи в межах навчального процесу. Хмарний сервер забезпечує масштабоване зберігання даних, а блокчейн-мережа фіксує всі операції доступу, змін та перевірок автентичності.

Для реалізації розподіленого механізму довіри доцільно використовувати платформу Hyperledger Fabric, яка дозволяє створювати permissioned blockchain-середовище з розмежуванням доступу між учасниками системи. У такій архітектурі кожен університет або освітня установа виступає окремим вузлом мережі, а всі транзакції підтверджуються через алгоритм консенсусу Practical Byzantine Fault Tolerance, що забезпечує високу продуктивність та відсутність необхідності у використанні криптовалютних механізмів

Особливу роль у системі відіграють смарт-контракти, які автоматизують процеси авторизації, перевірки прав доступу та ведення журналів змін. Наприклад, при передачі академічної довідки між університетами система автоматично перевіряє права доступу сторін, реєструє транзакцію в блокчейні та формує незмінний запис про факт обміну інформацією.

Запропонований підхід дозволяє забезпечити:

- захист персональних освітніх даних від несанкціонованого доступу;
- неможливість підробки результатів навчання;

- прозорість історії змін електронних записів;
- масштабованість при зростанні кількості користувачів;
- можливість міжуніверситетського обміну даними.

На відміну від традиційних централізованих систем, блокчейн-архітектура усуває проблему єдиної точки відмови та підвищує довіру між учасниками освітнього процесу. Крім того, використання хмарної інфраструктури дозволяє ефективно працювати з великими обсягами освітніх даних без перевантаження локальних серверів.

Для оцінювання ефективності запропонованої системи управління електронними навчальними записами було виконано моделювання основних операцій доступу до даних у приватному блокчейн-середовищі. У межах експерименту аналізувалися операції створення навчального запису, оновлення академічної інформації, передача запису між навчальними закладами та перевірка історії змін.

Результати показали, що використання permissioned blockchain-архітектури дозволяє забезпечити стабільний час підтвердження транзакцій навіть при збільшенні кількості учасників мережі. За умов моделювання з декількома вузлами освітніх установ середній час обробки транзакції залишався на низькому рівні завдяки використанню алгоритму консенсусу PBFT, який орієнтований на корпоративні приватні мережі.

При порівнянні з централізованою моделлю зберігання даних було встановлено, що блокчейн-підхід значно підвищує надійність журналу подій: усі зміни навчальних записів фіксуються у незмінному реєстрі, що виключає можливість прихованого редагування академічних даних. Додатково забезпечується прозорий аудит доступу до записів, оскільки кожна операція доступу супроводжується окремою транзакцією.

У подальших дослідженнях перспективним є інтегрування механізмів штучного інтелекту для аналізу освітніх траєкторій студентів, а також використання методів машинного навчання для прогнозування академічної успішності на основі накопичених електронних записів.

Література

1. Терновий І. М. Інформаційна технологія проектування автоматизованої системи забезпечення діяльності студентського містечка : дис. Львів, 2025. URL: <https://lpnu.ua/ivanternovyidissertation.pdf> (дата звернення: 3.12. 2024)..
2. Kosasi S. et al. Blockchain technology-emerging research themes opportunities in higher education. 2022 international conference on science and technology (ICOSTECH). IEEE, 2022. С. 1-8.
3. OGUNMAKIN R. Traditional And Modern System Of Teaching In Higher Education Open Distance Learning (Odl) And Hybrid Format. International Journal of Education, Library and Information Communication Technology. 2024. Т. 2. №. 1.
4. Kyrychenko, O., & Shmatko, O. (2025). CYBERSECURITY TECHNOLOGIES FOR ELECTRONIC EDUCATION RECORD (EER) SYSTEMS BASED ON BLOCKCHAIN AND CLOUD COMPUTING. Матеріали конференцій МЦНД, (31.10.2025; Вінниця, Україна), 398–402. вилучено із <https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1139>
5. Шматко О. В., Кириченко О. В. Розроблення безпечної системи електронних освітніх записів (EER system) на основі технології блокчейн та хмарних обчислень [Електронний ресурс]. Наукові підсумки 2025 року : зб. наук. тез. 14-ї наук. конф., 18 грудня 2025 р. Електрон. текст. дані. Харків : Технологічний центр, 2025. С. 49.

Прогнозування значень деформації металевих заготовок на основі навчання регресійних нейронних мереж TensorFlow на даних моделювання Abaqus CAE

Прідьма І. П., Алтухов О. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасному машинобудуванні і матеріалознавстві високоточне прогнозування деформацій компонентів під впливом навантажень є ключовим фактором для надійності виробничих процесів. Для моделювання традиційно використовуються потужні CAE-системи, такі як QForm 3D, Abaqus CAE, ANSYS. Усі вони базуються на методі скінченних елементів (FEM), який давно зарекомендував себе як один із найнадійніших і найточніших інструментів для аналізу фізичних процесів [1].

Однак упровадження зазначених систем породжує низку проблем і обмежень:

- Вартості ліцензій до 40000\$;
- Значні витрати часу на моделювання — від кількох годин для промислових заготовок.

Складність навчання та високий поріг входу для нових користувачів.

Зменшення витрат на моделювання багатоетапних процесів інтенсивного

пластичного деформування може бути досягнуто за рахунок використання нейронних мереж навчених на попередніх результатах моделювання. Поєднання САЕ-систем та прогнозування результатів моделювання нейронними мережами дозволяє виконувати попереднє оцінювання результату та значно скоротити час моделювання при проведенні типових досліджень.

Для розв'язання проблеми виконано розробку програмного комплексу, який базується на використанні повнозв'язної моделі нейронної мережі, що включає впровадження Dense-шарів для прогнозування еквівалентної пластичної деформації (PEEQ, Equivalent Plastic Strain) металевої заготовки з використанням схеми MDRS [2]. Використано три приховані повнозв'язні Dense-шари по 256, 128, 64 нейрони; між кожним шаром додано BatchNormalization та Dropout(0.1). Функцію активації для кожного шару встановлено SELU, яка забезпечує процес самонормалізації під час навчання, більшу стабільність і плавність прогнозованих значень [3].

Функцію втрат створено на основі функції втрат Хьюбера, доповненої системою штрафування моделі, яке застосовується у випадках, коли прогнозоване значення PEEQ виявляється меншим за попереднє прогнозоване значення - бо величина не може знижуватися:

$$\text{Loss} = \text{Huber}(y_{tr}, y_{pr}) + \lambda_{pty} * \sum \max(0, y_{t-1} - y_t). \quad (1)$$

У процесі навчання моделі застосовували оптимізатор Adam, 200 епох, розмір батчів 1024. Навчання здійснювалося в Google Colab із застосуванням графічного процесора T4.

Для формування датасету навчання моделі дані про еквівалентну деформацію PEEQ для всіх елементів сітки деформованої за MDRS-схемою заготовки експортовані з Abaqus в XLSX-формат. Після очищення формований датасет включав 5401 стовпець: перший – часові мітки з кроком приблизно 0,05 секунди в інтервалі від 0 до 4 секунд; інші 5400 - відомості про зміни PEEQ. Для

прогнозування обиралися 6 елементів PEEQ на основі принципу оцінки величини змін сусідніх реальних значень PEEQ датасету. Таким чином обрано по 2 елементи з мінімальними, середніми та максимальними стрибками. Точність моделі з використанням оптимізатору Adam, параметру `learning_rate` 0.0001, і MAE для обраних PEEQ становить 79-99 %. Метрики для всіх PEEQ при цьому наступні: MSE: 7.86810039, RMSE: 2.80501344, MAE: 2.69390044. Низьку точність можна пояснити можливими аномальними викидами деяких значень PEEQ з датасету. Час розрахунку навчання зайняв близько 12 хвилин.

Результати дослідження підтверджують, що згорткові нейронні мережі (CNN) із трьома та більше шарами, функцією активації `relu` і використанням оптимізатора `adam`, виконують прогнозування напружено-деформованого стану матеріалів на основі попереднього FEM аналізу. Вони забезпечують високу точність прогнозування і дозволяють скоротити час обчислень в десятки разів порівняно з повним моделюванням в CAE-системах.

Література

1. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. *Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник*. Краматорськ: ДДМА, 2008. 380 с. ISBN 978-966-379-224-8.
2. Патент України № 102513, МПК B21J 5/00, B21K 1/12. *Спосіб інтенсивної пластичної деформації заготовки осадженням зі зміною напрямку деформування* / О.Ф. Тарасов, С.О. Тарасов; Донбаська державна машинобудівна академія. № a201505723; заявл. 10.06.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 21.
3. Tarasov, O., Vasylieva, L., Altukhov, O., & Myroshnychenko, D. (2025). Prediction of the Stress-Strain State of a Workpiece Using a CAE System and an Artificial Neural Network. In: 13th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2025). Odessa, Ukraine, September 24–26, 2025, CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). <https://www.scopus.com/pages/publications/105018669977?origin=resultslist>.

Agentic AI on Edge Devices with Small Language Models

Sheremet O.

Donbas State Engineering Academy

The proliferation of IoT devices and latency-sensitive applications has exposed limitations of cloud-centric AI architectures. Round-trip delays, intermittent connectivity in

industrial environments, and data sovereignty concerns render centralized inference impractical for many real-world tasks. Edge computing addresses these constraints by relocating computation closer to data sources, yet traditional edge deployments have been confined to narrow, rule-based automation with limited reasoning capacity [1, 2].

Simultaneously, agentic AI-systems capable of autonomous planning, tool invocation, and multi-step reasoning—has redefined expectations for intelligent software. Large language models (LLMs) power these agents in the cloud, but their parameter counts, often exceeding 70 billion, preclude deployment on resource-constrained hardware.

The aim of this work – to develop a reference architecture for deploying agentic AI systems on edge hardware using small language models and standardized interoperability protocols.

Research objectives:

- review the current landscape of small language models suitable for edge deployment;
- analyze standardized agent interoperability protocols (MCP and A2A);
- propose a three-tier cloud-fog-edge architecture with confidence-based cascade routing.

Small Language Models as Edge Reasoning Engines

The viability of agentic AI at the edge depends on compact yet capable language models. Throughout 2024 – 2025, families such as Phi-3.5 (3.8B parameters), Gemma 2 (2B), Qwen 2.5 (1.5 – 7B), and Llama 3.2 (1 – 3B) demonstrated that sub-4B models can achieve competitive benchmark scores on mathematical reasoning, code generation, and factual retrieval [3, 4]. Quantization techniques—particularly AWQ and GPTQ—compress these models to 4-bit representations, reducing memory requirements fourfold with marginal accuracy loss [5].

Empirical benchmarks confirm practical feasibility: an NVIDIA Jetson Orin Nano achieves 15–25 tokens per second running a quantized Phi-3.5, while ARM-based single-board computers sustain 3–5 tokens/s for sub-2B models via the llama.cpp

engine [6]. These throughput levels suffice for structured decision-making, tool dispatch, and short-form generation—the operational core of an agentic workflow.

A notable trend is the shift toward domain-specialized SLM variants obtained through knowledge distillation from frontier teacher models. For industrial edge scenarios, a base SLM can be distilled on a narrow task corpus—such as fault classification or anomaly detection in SCADA telemetry—yielding an agent that outperforms its general-purpose counterpart while retaining the compact footprint needed for on-device execution [3].

Interoperability Protocols: MCP and A2A

Practical multi-agent systems require standardized mechanisms for tool access and inter-agent coordination. The Model Context Protocol (MCP), introduced by Anthropic in November 2024, standardizes how agents connect to external data sources, APIs, and tools via a JSON-RPC 2.0 client-server architecture. As of December 2025, MCP has been donated to the Agentic AI Foundation under the Linux Foundation, with adoption by OpenAI, Google, and Microsoft [7].

The Agent-to-Agent Protocol (A2A), released by Google in April 2025 with over 50 partners, enables opaque agents on heterogeneous frameworks to discover one another via Agent Cards and collaborate on tasks without exposing internal state [8]. Together, MCP handles vertical integration (agent-to-tools) while A2A handles horizontal integration (agent-to-agent). For edge deployments, an SLM agent can expose a lightweight MCP server wrapping local sensors while acting as an A2A client that escalates complex tasks to cloud-based agents—preserving low latency for routine decisions [9].

Security remains a critical concern when these protocols operate on edge nodes. A 2025 analysis identified attack vectors specific to MCP, including prompt injection through tool descriptions and “shadow tool” substitution where a malicious server mimics a trusted one. A2A inherits similar risks at the agent-discovery layer. The November 2025 MCP specification introduced signed server identities, and A2A version 0.3 added gRPC transport with signed security cards, though both await broader production validation [7, 8].

Proposed Reference Architecture

Figure 1 presents a three-tier reference architecture for agentic edge AI. The edge tier hosts SLM-based agents with local tool registries exposed via MCP. These agents handle perception (sensor ingestion), planning (task decomposition), and action (actuator control) within millisecond latency budgets. A lightweight orchestrator manages agent lifecycles and routes inter-agent messages via A2A. A cascade routing mechanism evaluates each request at the edge first; if the agent's confidence falls below a calibrated threshold, the request is forwarded upward. Recent work on hybrid SLM – LLM inference shows such cascading reduces cloud API costs by 60–80% while maintaining quality within 2–3 % of cloud-only baselines [10].

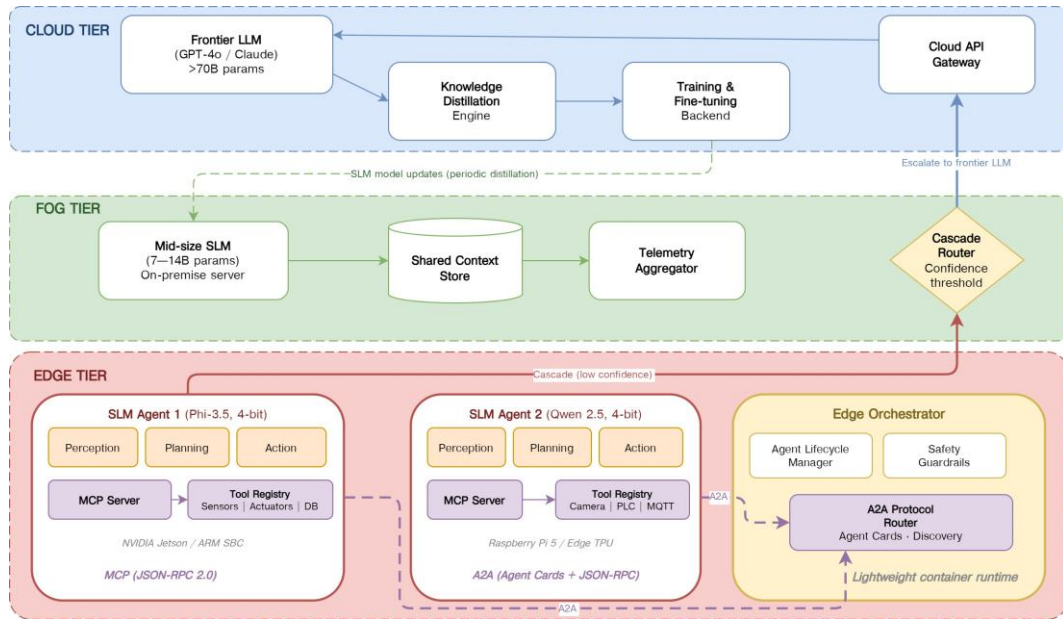


Figure 1 – Reference architecture for agentic edge AI with MCP/A2A protocol integration

The fog tier, deployed on on-premise servers, runs mid-sized models (7 – 14B) for tasks exceeding edge SLM capacity. The cloud tier provides frontier LLM access for rare, high-complexity queries and serves as the knowledge distillation backend for periodic SLM updates. A cascade routing mechanism evaluates each request at the edge first; if the agent's confidence falls below a calibrated threshold, the request is forwarded upward. Recent work on hybrid SLM – LLM inference shows such cascading reduces cloud API costs by 60–80% while maintaining quality within 2–3 % of cloud-only baselines [10].

Conclusions

The convergence of capable SLMs, standardized interoperability protocols (MCP, A2A), and mature edge infrastructure creates a credible pathway toward

autonomous AI outside the data center. The patterns outlined—edge-resident agentic reasoning, protocol-mediated tool access, peer coordination, and confidence-based cascade routing—address the principal barriers of latency, privacy, and cost. Open challenges include hardening security models against prompt injection at the edge, energy-aware inference scheduling on embedded platforms, and federated adaptation of SLMs across distributed edge nodes.

References

1. Cai G., Tian R., Yang L. et al. *Efficient Inference for Edge Large Language Models: A Survey*. *Tsinghua Science and Technology*, 2026, 31(3): 1365–1380.
2. Dell Technologies. *The Power of Small: Edge AI Predictions for 2026*. Dell Blog, January 2026.
3. Lu Z., Li X., Cai D. et al. *Small Language Models: Survey, Measurements, and Insights*. *arXiv:2409.15790*, 2024.
4. Team G. *Gemma 2: Improving Open Language Models at a Practical Size*. *Ar Xiv:2408.00118*, 2024.
5. Lin J., Tang J., Tang H. et al. *AWQ: Activation-Aware Weight Quantization for On-Device LLM Compression and Acceleration*. *Proc. of Machine Learning and Systems*, vol. 6, pp. 87–100, 2024.
6. Laskaridis S., Kateveas K., Minto L., Haddadi H. *Melting Point: Mobile Evaluation of Language Transformers*. *arXiv:2403.12844*, 2024.
7. Linux Foundation. *Announces the Formation of the Agentic AI Foundation (AAIF)*. Press Release, December 9, 2025.
8. Google Cloud. *Announcing the Agent2Agent Protocol (A2A)*. Google Developers Blog, April 9, 2025.
9. Chen F., Li P., Luan T.H. et al. *SPIN: Accelerating Large Language Model Inference with Heterogeneous Speculative Models*. *IEEE INFOCOM 2025*, pp. 1–10.
10. Ding D. et al. *HybridLLM: Cost-Efficient LLM Serving with Quality-Aware Routing*. *Proc. of the 62nd Annual Meeting of the ACL*, 2024.

Оцінка даних в процесі сумісного використання САЕ-системи та штучних нейронних мереж

Васильєва Л. В.,

Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана,

Тарасов О. Ф.

Донбаська державна машинобудівна академія

Вплив різних технологічних умов на результат обробки заготовки можна детально вивчати завдяки числовим розрахунковим моделям. Використання САЕ-систем у багатьох випадках замінило фізичні методи дослідження завдяки застосуванню МСЕ [1, 2].

Нейронні мережі, зокрема моделі глибокого навчання, такі як CNN, можуть бути альтернативою, або доповненням традиційним числовим методам прогнозування напружено-деформованого стану в матеріалах. Ці моделі пропонують високу обчислювальну ефективність і точність, що робить їх придатними для високопродуктивного проектування та аналізу пластичної деформації деталей з різних матеріалів. Програмний комплекс для прогнозування зміни значень НДС у заданих точках заготовки на основі штучної нейронної мережі, може базуватися на результатах моделювання в системі CAE та працювати паралельно з нею [3].

Зважаючи на великі датасети, які подаються на обробку, важливим є питання попередньої оцінки даних. Для аналізу (дослідження) роботи алгоритму прогнозування з використанням нейронної мережі було вирішено вибрати набори з різним характером зміни: рівномірне зростання, нерівномірне зростання, наявність плато.

На початковому етапі аналізу даних застосовувалися засоби візуалізації (графік даних, графік приростів, гістограма приростів), які дозволяють швидко побачити плато чи стрибки. Візуальний аналіз дає можливість висунути попередні припущення щодо характеру зміни даних. Для більш точного аналізу існує кілька математичних підходів. Для перевірки рівномірності зростання обчислюються різниці між сусідніми значеннями: $d_i = x_{i+1} - x_i$. Якщо всі d_i приблизно однакові, то наявне рівномірне зростання, якщо різниці змінюються, то є нерівномірність, якщо прирости d_i близькі до нуля на певному інтервалі, то це плато. Також обчислюється коефіцієнт варіації приростів: $\frac{\sigma(d)}{\mu(d)}$. Якщо він малий, то це свідчить про рівномірність. Для часових рядів можна застосувати рухоме середнє для згладжування й пошуку ділянок із низьким приростом.

Для попереднього аналізу даних було обрано оптимізаційний алгоритм пошуку точок зміни PELT (Pruned Exact Linear Time), який продемонстрував практичну застосовність та ефективність для автоматичної сегментації [4]. Алгоритм PELT служить для виявлення кількох точок змін у даних часових рядів. Він добре спрямований на розділення даних на сегменти, де статистичні

властивості є однорідними в межах кожного сегмента, але відрізняються між сегментами (рис. 1).

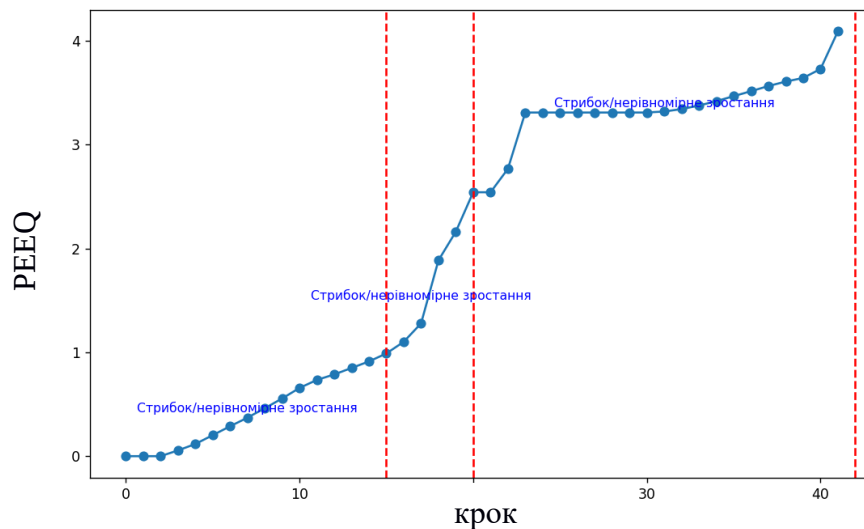


Рисунок 1 – Автоматизоване розділення даних на сегменти

Таким чином, спільне використання чисельних методів розрахунку напружено-деформованого стану заготовок, методів штучного інтелекту та математичних методів для обробки результатів розрахунків дозволяє створювати інструменти для автоматизованого вивчення процесів в різних предметних галузях, у даному випадку, в галузі обробки металів тиском.

Література

1. O. Tarasov, L. Vasylieva, O. Altuhov, D. Pavlenko, D. Tkach, *Development of Integrated CAD/CAE Systems Based on Parameterization of the Simulated Process. International Scientific and Technical Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering, ICTM 2022, T. 657 LNNS, 2023, pp. 679-691. doi:10.1007/978-3-031-36201-9_56.*
2. O. F. Tarasov, O. V. Altukhov, L. V. Vasylieva, *Development of the modeling system core for severe plastic deformation processes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1415(1), (2024) 012072. doi:10.1088/1755-1315/1415/1/012072.*
3. Tarasov, O., Vasylieva, L., Altukhov, O., & Myroshnychenko, D. (2025). *Prediction of the Stress-Strain State of a Workpiece Using a CAE System and an Artificial Neural Network. In: 13th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2025). Odessa, Ukraine, September 24–26, 2025, CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). <https://ceur-ws.org/Vol-4048/paper27.pdf>*
4. Kaçar, S., Balli, T., & Yetkin, E. F. (2024, October). *Automatic segmentation of time series data with PELT algorithm for predictive maintenance in the flat steel industry. In 2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/UBMK63289.2024.10773396.*

Інформаційні технології та моделі розпізнавання образів на медичних зображеннях

Солод К. А., Гетьман І. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Своєчасна діагностика захворювань легень (зокрема пневмонії, туберкульозу або новоутворень) залишається важливим завданням медицини. Використання інтелектуальних систем аналізу рентгенологічних знімків дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, підвищити точність інтерпретації зображень та прискорити процес прийняття клінічних рішень.

Складність візуальної структури рентгенограм та низька контрастність патологічних вогнищ на ранніх стадіях створюють суттєві перешкоди для однозначного трактування знімків. Використання автоматизованих систем дозволяє об'єктивізувати аналіз, виявляючи малопомітні ознаки хвороби, що недоступні для звичайного зорового сприйняття [1].

Для обробки рентгенограм, комп'ютерної томографії, магнітно-резонансних та інших медичних знімків сьогодні застосовується широкий спектр методів, що охоплює як класичні алгоритми комп'ютерного зору та машинного навчання, так і сучасні підходи глибокого навчання. До традиційних методів належать алгоритми виділення ознак і подальшої класифікації з використанням таких моделей, як метод опорних векторів, дерева рішень, k-найближчих сусідів або випадковий ліс [2]. Водночас найбільш перспективними в задачах аналізу рентгенологічних знімків вважаються нейромережеві підходи, зокрема згорткові нейронні мережі, які здатні автоматично виявляти інформативні ознаки без необхідності ручного проєктування характеристик зображення. Поєднання переваг класичних методів класифікації та сучасних нейромережевих засобів обробки зображень створює ефективну основу для побудови інтелектуальних систем медичної діагностики [3].

У роботі пропонується підхід до аналізу медичних зображень легень із використанням згорткової нейронної мережі (Convolutional Neural Network, CNN) та методу опорних векторів (Support Vector Machine, SVM). Згорткові

нейронні мережі ефективно використовуються для автоматичного виділення ознак із зображень, оскільки вони здатні виявляти текстурні, контурні та структурні особливості патологічних ділянок. У свою чергу, метод опорних векторів може бути застосований як ефективний класифікатор для розділення зображень на класи «наявна патологія» та «патологія відсутня».

Для медицини важливо не просто сказати «хворий», а показати «де саме», тому основна ідея дослідження полягає у створенні моделі, яка дозволить виконувати два ключові завдання. По-перше класифікацію медичних зображень на нормальні та патологічні. По-друге локалізацію ураженої області, тобто визначення місця розташування можливого захворювання на знімку.

Отримана система зможе не лише класифікувати зображення, а й надавати лікарю «теплову карту» уражених ділянок, що значно підвищує інтерпретованість результатів роботи ШІ. Така візуалізація слугує додатковим підтвердженням і дозволяє спеціалісту зосередити увагу на конкретних сегментах легені.

Отже, аналіз медичних зображень із використанням сучасних інформаційних технологій є одним із напрямів розвитку інтелектуальних систем у медицині. Застосування методів комп'ютерного зору, машинного навчання та глибокого навчання створює умови для підвищення точності діагностики, скорочення часу обробки рентгенологічних даних та зменшення ймовірності помилок під час виявлення патологій. Використання таких підходів сприяє не лише вдосконаленню процесу інтерпретації медичних знімків, а й підвищенню ефективності підтримки лікарських рішень, що є важливим кроком у розвитку сучасної цифрової медицини.

Література

1. Розпізнавання образів у медичній діагностиці URL: <https://cpashka.biz/blog/rozpiznavannia-obraziv-u> (дата звернення 30.03.2026)
2. Image Classification using Machine Learning and Deep Learning URL: <https://medium.com/swlh/image-classification-using-machine-learning-and-deep-learning-2b18bfe4693f> (дата звернення 02.04.2026)
3. Review of Image Classification Algorithms Based on Convolutional Neural Networks DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13224712> (дата звернення 03.04.2026)

Використання машинного навчання для прогнозування на прикладі формування цін залізничних квитків

Краснолуцький В. І.

Донбаська Державна Машинобудівна Академія

Дослідження формування цін залізничних квитків стає все більш актуальним у сучасній економічній науці. Це зумовлено необхідністю ефективного управління процесом ціноутворення в умовах змінного попиту, економічної ситуації та інших факторів. Для досягнення ефективності, економії часу і зменшення витрат на транспортні послуги, вивчаються різноманітні підходи до встановлення тарифів.

Аналіз джерел показує, що темою дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для формування цін залізничних квитків займалися як вітчизняні, так і іноземні дослідники. Серед видатних закордонних дослідників можна виділити праці таких авторів як A. M. Anderson, R. S. Williams [1], K. S. Pendergast, S. D. Franklin, T. M. Roberts [2], J. P. Harrison, R. J. E, David F. Shmoys, David B. Morton, F. Dube, P. Choi, L. Chen, A. C. McGill, L. D. Roberts. В дослідженнях проводився порівняльний аналіз моделей машинного навчання з метою визначення найбільш ефективного підходу до формування цін у режимі реального часу. Реалізація такого підходу здатна підвищити економічну ефективність перевізників, а також покращити рівень задоволеності пасажирів за рахунок впровадження гнучкої та обґрунтованої тарифної політики.

Gradient Boosting є ансамблевим методом, який інтегрує переваги множини слабких моделей (переважно дерев рішень), забезпечуючи високу точність навіть при роботі зі складними наборами даних. Random Forest мінімізує ризик перенавчання шляхом використання великої кількості дерев, що сприяє підвищенню стабільності результатів. Linear Regression, попри обмежену ефективність у складних нелінійних випадках, залишається базовим інструментом для оцінювання впливу окремих змінних на результат та характеризується високою інтерпретованістю.

Метою роботи є зіставлення моделей машинного навчання для

прогнозування вартості квитків на основі історичних даних щодо попиту, часу відправлення та інших релевантних факторів. Передбачається, що отримані результати сприятимуть зменшенню втрат доходів і уникненню перевантаження поїздів завдяки більш точному ціноутворенню. Практична цінність дослідження полягає у можливості його застосування як у державному, так і в приватному секторі пасажирських перевезень із потенціалом подальшого масштабування на інші види транспорту.

Для оцінювання якості моделей машинного навчання доцільно застосовувати низку стандартних метрик, зокрема середню абсолютну похибку MAE для вимірювання точності прогнозу, корінь середньої квадратичної похибки RMSE, що відображає величину помилки в тих самих одиницях, що й вихідні дані, а також коефіцієнт детермінації R^2 , який характеризує ступінь пояснення варіації даних моделлю.

Література

1. A. M. Anderson, R. S. Williams . *Cost-Based Pricing in Transportation: Theories and Applications*. DOI: 10.1287/trsc.2017.0701
2. S. D. Franklin, T. M. Roberts. *Market-Based Pricing in the Rail Transport Sector: Application of Demand-Supply Models*. DOI: 10.1287/ijoc.2020.0673

Комп'ютерний аналіз мікроструктури сплавів на основі методів обробки зображень

Касьянов І. О.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасне машинобудування та матеріалознавство висувають жорсткі вимоги до якості металевих сплавів, фізико-механічні властивості яких (міцність, твердість, пластичність) безпосередньо залежать від їхньої внутрішньої будови. Класичний металографічний аналіз мікроструктури зазвичай виконується експертом вручну за допомогою оптичних мікроскопів. Цей процес є вкрай трудомістким, суб'єктивним та схильним до людських помилок при розрахунку кількості та площі зерен [1].

З розвитком інформаційних технологій та систем штучного інтелекту виникла потреба в автоматизації цього процесу. Створення програмних комплексів на основі методів комп'ютерного зору дозволяє не лише пришвидшити обробку цифрових мікрофотографій, а й підвищити точність кількісних вимірювань відповідно до міжнародних нормативних документів, таких як стандарт ASTM E112 [3].

Основна мета роботи — розробити автоматизовану систему для розпізнавання образів та аналізу мікроструктури сплавів, яка об'єднує класичні математичні методи обробки зображень у єдиний ітераційний конвеєр для мінімізації похибки сегментації.

Для реалізації програмного продукту обрано мову програмування Python у поєднанні зі спеціалізованою бібліотекою комп'ютерного зору OpenCV та бібліотекою для наукових обчислень SciPy [2, 4]. Цей інструментарій забезпечує високу швидкодію при обробці матриць пікселів та дозволяє гнучко налаштовувати параметри дослідження.

Алгоритмічний конвеєр автоматизованого аналізу складається з декількох послідовних етапів. Першим кроком є попередня обробка завантаженої цифрової мікрофотографії. Оскільки реальні зображення мікрошліфів часто мають нерівномірне освітлення та цифрові шуми, застосовується фільтрація Гаусса для згладжування артефактів. Після цього використовується метод адаптивного вирівнювання гістограми (CLAHE), який значно підвищує локальний контраст та робить ледь помітні межі зерен більш вираженими для подальшого аналізу [4].

Центральною операцією системи є математична сегментація. Залежно від типу сплаву та якості шліфа, дослідник може варіювати алгоритми: глобальну бінаризацію методом Оцу або використання класичного градієнтного детектора меж Кенні [2]. Для складних полікристалічних структур ефективним є застосування алгоритму Вододілу (Watershed). Цей метод розглядає рівні яскравості пікселів як топографічну поверхню, що дозволяє з високою точністю знаходити лінії розділу та відокремлювати зерна, які візуально злиплися на початковій фотографії.

Після етапу сегментації утворюється чорнова бінарна маска, яка представляє собою двоколірне чорно-біле зображення виділених об'єктів та фону. Оскільки математичні алгоритми можуть генерувати розриви у контурах або помилково приймати мікроподряпини шліфа за межі зерен, обов'язковим кроком є морфологічна постобробка. Застосування таких математичних операцій, як ерозія, дилатація, морфологічне відкриття та закриття, дозволяє повністю усунути шумові пікселі та замкнути розриви контурів, формуючи фінальну очищену карту зерен [4].

Останнім етапом роботи алгоритму є розрахунок векторів геометричних ознак. На основі очищеної бінарної маски система автоматично обчислює площу перерізу кожного зерна, його еквівалентний діаметр та фактор форми (циркулярність). Отримані дані програмно порівнюються з еталонними табличними значеннями для визначення середнього розміру зерна (номера зерна) за стандартом ASTM E112 [3]. Для наочності результатів система автоматично генерує статистичні гістограми розподілу розмірів зерен у досліджуваному зразку.

Можна зробити висновок, що розроблена математична модель та алгоритмічний конвеєр дозволяють повністю автоматизувати рутинний процес аналізу мікроструктури. Гнучке налаштування керуючих параметрів (стандартного відхилення, розміру вікна CLAHE, порогів гістерезису) забезпечує адаптивність системи до різних типів сплавів, гарантуючи об'єктивність, високу точність та відтворюваність результатів наукових та виробничих досліджень.

Література

1. Callister W. D., Rethwisch D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 10th ed. John Wiley & Sons, 2018. – 992 p.
2. Bradski G., Kaehler A. *Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*. O'Reilly Media, 2017. – 1018 p.
3. Документація до стандарту ASTM E112-13. *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. URL: <https://www.astm.org/e0112-13.html> (дата звернення: 06.04.2026).
4. Офіційна документація бібліотеки OpenCV (Python). URL: <https://docs.opencv.org/> (дата звернення: 06.04.2026).

Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій розпізнання обличчя у комп'ютерному зорі на основі глибоких нейронних мереж

Красніков Є. Д.

Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасному цифровому просторі та системах безпеки технології біометричної ідентифікації особи є критичним елементом, що забезпечує захист даних, контроль доступу та громадську безпеку. Ключову роль у цій сфері відіграють системи комп'ютерного зору, здатні автоматично аналізувати візуальну інформацію. На основі проведеного аналізу стану питання встановлено, що традиційні методи, які базуються на ручному виділенні ознак або простих геометричних дескрипторах, вичерпали свій потенціал і не забезпечують необхідної точності в неконтрольованих умовах зйомки [1]. На відміну від них, глибокі нейронні мережі дозволяють формувати високорівневі інваріантні ознаки, що є стійкими до змін освітлення, ракурсу та наявності оклюзій. Проте розробка таких систем стикається з фундаментальною суперечністю між необхідністю забезпечення максимальної точності розпізнавання та обмеженими обчислювальними ресурсами цільових пристроїв, що зумовлює актуальність дослідження методів оптимізації архітектур нейромереж.

Об'єктом даного дослідження є процеси автоматизованої обробки та аналізу цифрових зображень обличчя за допомогою методів глибокого навчання, тоді як предметом виступають методи формування біометричних ембедінгів та інформаційні технології побудови гнучких програмно-методичних комплексів (ПМК). У межах роботи пропонується розробка ПМК, який на відміну від існуючих монолітних рішень, будується за модульним принципом з використанням мови Python та фреймворку PyTorch [4]. Архітектура системи орієнтована на обробку статичних зображень у десктопному середовищі та включає послідовний конвеєр обробки даних: від детекції та геометричного вирівнювання до метричного порівняння векторних ознак.

Важливим аспектом реалізації системи є використання патерну проектування «Стратегія», що дозволяє динамічно змінювати обчислювальні моделі (екстрактори ознак) під час проведення експериментів без модифікації основного коду програми. Зокрема, у роботі розглядається застосування архітектури ResNet-50 як еталона точності для серверних рішень, та MobileFaceNet як оптимізованого рішення для Edge-пристроїв [3]. Модель MobileFaceNet використовує механізм глибинно-роздільних згорток (depthwise separable convolutions), що дозволяє радикально скоротити кількість параметрів та час інференсу при збереженні високої розрізняювальної здатності. Для підвищення сепарабельності класів у просторі ознак застосовуються сучасні функції втрат з адитивним кутовим відступом, такі як ArcFace [2] та AdaFace. Ці математичні моделі дозволяють максимізувати кутову відстань між ембедінгами різних осіб, що безпосередньо впливає на зниження показників FAR (False Acceptance Rate) та FRR (False Rejection Rate).

Процес попередньої обробки зображень у системі базується на стандартах ISO/IEC 19794-5, що гарантує сумісність біометричних даних [5]. Використання бібліотеки OpenCV дозволяє реалізувати етап вирівнювання (alignment) за ключовими антропометричними точками, що є критичним для коректної роботи згорткових нейронних мереж. Експериментальна частина дослідження базується на методології автоматизованого бенчмаркінгу, де оцінка ефективності моделей проводиться за декількома критеріями одночасно: точністю ідентифікації (Accuracy) та швидкодією (Latency). Для візуалізації ефективної межі компромісу між цими показниками у роботі пропонується побудова діаграм Парето, що дозволяє науково обґрунтувати вибір конкретної архітектури під задані апаратні обмеження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні методики порівняльного аналізу нейромережових моделей через впровадження гнучкого архітектурного механізму управління стратегіями обробки. Практичне значення роботи визначається створенням готового програмного інструментарію, який може бути інтегрований у системи контролю доступу або використаний як база

для подальших наукових досліджень у галузі штучного інтелекту. Застосування підходу дострокової зупинки (Early Stopping) під час навчання моделей дозволяє додатково оптимізувати витрати обчислювальних ресурсів та уникнути ефекту перенавчання, що підтверджує системність та цілісність запропонованого підходу. Таким чином, поєднання глибоких нейронних мереж із модульною архітектурою програмного забезпечення забезпечує створення адаптивних та високонадійних систем біометричної ідентифікації, що відповідають сучасним вимогам ринку інформаційних технологій.

Література

1. Han H., et al. 50 Years of Automated Face Recognition. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2505.24247>
2. Deng J., et al. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. CVPR, 2019.
3. Trinh M. V. Lightweight Face Recognition: An Improved MobileFaceNet Model. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2311.15326>
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
5. ISO/IEC 19794-5:2011. Information technology. Biometric data interchange formats. Part 5: Face image data.

Проектування інтелектуальних систем на основі машинного навчання для оцінювання ризику фінансових транзакцій

Сосунович Б. С.

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

У сучасних умовах розвитку цифрових платіжних систем проблема виявлення шахрайських транзакцій набуває критичного значення, зокрема через стрімке зростання обсягів фінансових операцій та ускладнення поведінкових патернів зловмисників. Традиційні rule-based підходи демонструють обмежену ефективність через статичність правил, високу частоту хибнопозитивних спрацьовувань та нездатність адаптуватися до нових сценаріїв шахрайства [1]. З огляду на зазначені обмеження rule-based систем, актуальним напрямом є перехід до інтелектуальних систем, побудованих на основі методів машинного навчання. Такі системи здатні автоматично виявляти складні нелінійні

залежності у даних, адаптуватися до змін поведінкових характеристик користувачів та еволюції шахрайських схем без необхідності ручного оновлення правил.

Запропонована архітектура інтелектуальної системи оцінювання ризику фінансових транзакцій, представлена на рис. 1, ілюструє повний цикл обробки транзакції – від її ініціації до прийняття рішення. Зокрема, вхідні дані передаються через платіжний шлюз до модуля формування ознак, де здійснюється попередня обробка та побудова вектора ознак. Далі модель машинного навчання виконує оцінювання ризику шляхом обчислення відповідного скору, на основі якого модуль прийняття рішень застосовує визначені порогові значення для класифікації транзакції як безпечної, підозрілої або шахрайської. Така організація системи забезпечує автоматизацію більшості операцій та мінімізує необхідність ручного втручання, залишаючи експертну перевірку лише для невизначених випадків, що підвищує ефективність та масштабованість процесу виявлення шахрайства.

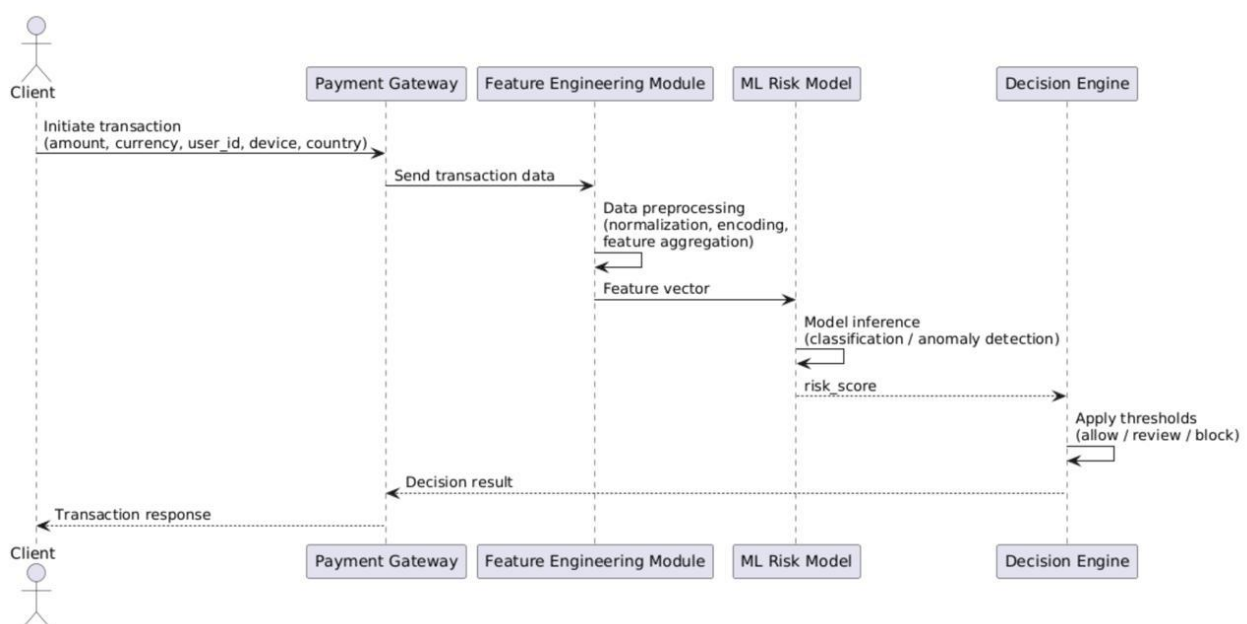


Рисунок 1 – Архітектура інтелектуальної системи оцінювання ризику фінансових транзакцій

Література

1. M. Sundararamaiah, S. K. S. Nagarajan, K. R. Mudunuru, R. Remala, *Int. J. Comput. Trends Technol.* 2024, 72, 61–68.

Data Mining and Organisational Resilience During Crises: Evidence from Pandemic, Financial, and Economic Shocks

Reznikov R. B.

Institute of Industrial Economics, NAS of Ukraine

Modern organizations face crises that are periodic, severe, and diverse in origin. The COVID- 19 pandemic disrupted global supply chains and demand patterns simultaneously. The 2008 financial crisis collapsed credit markets and asset values within months. Recessions, energy price shocks, and geopolitical conflicts force rapid operational adjustment. In each of these events, the speed and quality of information available to decision- makers affects outcomes. Organizations that can quickly process reliable data are better positioned to reallocate resources, adjust pricing, reconfigure suppliers, and preserve employment. This paper makes two contributions. First, it reviews the most credible quantitative evidence on the relationship between analytics capability and organizational resilience across four crisis types. Second, it proposes the Crisis Readiness Analytics Score (CRAS) - a simple scoring framework that practitioners can use to benchmark and improve their own analytics readiness before the next crisis arrives.

Comin, Cruz, Cirera, Lee, and Torres [1] analysed firm performance during the early COVID- 19 period using World Bank Enterprise Survey data from Brazil, Senegal, and Vietnam. At the industry level, Copestake, Estefania- Flores, and Furceri [2] used balance- sheet data from approximately 24,000 firms in 75 countries covering the period 2001–2021. At the level of developing economies, Calza, Lavopa, and Zagato [3] used UNIDO firm- level survey data collected from approximately 4,000 manufacturers across 26 developing and emerging industrial economies in Africa, Asia, and Latin America. Pierri and Timmer [4] constructed a bank- level index of pre-crisis IT adoption using novel data on hardware equipment installed in US commercial bank branches, mapped to parent banks. In a more granular study, Bag, Rahman, Srivastava, Chan, and Bryde [5] applied structural equation modelling (PLS- SEM) to the South African mining sector, where extreme weather events and infrastructure disruptions create recurring supply chain shocks. Big data and predictive analytics

(BDPA) capability improved supply chain visibility with a path coefficient of 0.2948 ($p < 0.05$). Supply chain visibility in turn improved community resilience (path coefficient 0.4021) and resource resilience (0.3221). Critically, alignment between analytics strategy and analytics initiatives materially strengthened the BDPA- to-visibility relationship (interaction coefficient 0.157, $p = 0.014$). This finding is important because it quantifies what many crisis studies note qualitatively: analytics creates resilience by enabling better coordination and faster sensing, and governance alignment amplifies the technical effect.

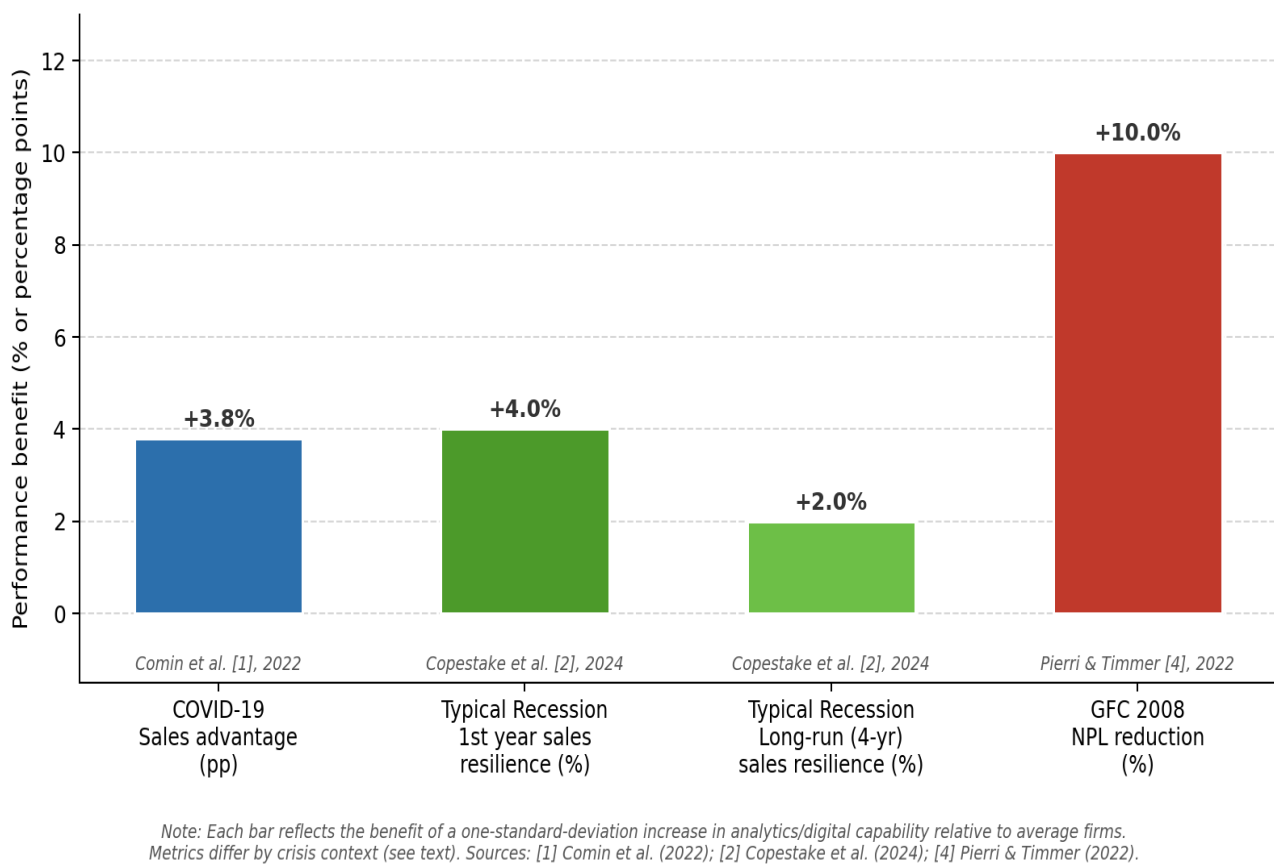


Figure 1 – Effect of one standard deviation higher analytics/digital capability on organizational performance during different types of crises. [Created by author]

The empirical findings reviewed share a common set of mechanisms: analytics-capable organizations perform better because they process information faster, forecast disruptions earlier, and integrate data into operational decisions before and during a crisis. These mechanisms are consistent whether the crisis is a pandemic, a financial

shock, a recession, or an extreme weather event. This consistency suggests that it is possible to define a generalizable pre- crisis readiness indicator based on the dimensions that matter most across settings. It is proposed to introduce the Crisis Readiness Analytics Score (CRAS), a composite indicator defined as:

$$\text{CRAS} = (w_1 \times D_q + w_2 \times D_i + w_3 \times D_p + w_4 \times D_g) / 4 \quad (1)$$

where D_q is the Data Quality Index (0–1: completeness, accuracy, and timeliness of internal operational data); D_i is the Infrastructure Maturity Index (0–1: computing capacity, database systems, and real- time data feeds); D_p is the Process Integration Score (0–1: degree to which analytics outputs are embedded in operational and financial decisions); and D_g is the Governance and Skills Score (0–1: data literacy of staff, assigned analytics roles, and documented decision protocols). Default weights are $w_i = 1$ for all dimensions; sector- specific calibration is possible where historical performance data are available. The four dimensions map directly to the mechanisms identified in the literature. D_q and D_i correspond to pre- crisis technology sophistication emphasized by Comin et al. [1] and to IT adoption measured by Pierri and Timmer [4]. D_p corresponds to the integration of analytics into actual lending and screening processes that drove the NPL advantage in banking. D_g corresponds to the strategic alignment variable found significant by Bag et al. [5] (interaction $\beta = 0.157$, $p = 0.014$), which amplified the technical analytics effect on supply chain visibility. A CRAS above 0.70 suggests strong pre- crisis readiness. A score between 0.40 and 0.70 indicates moderate readiness requiring targeted investment. Below 0.40, the organization is at material risk of slow and uninformed decision- making during a disruption. The CRAS can be computed annually and tracked over time. Its value lies not in the absolute number but in the process: identifying which dimension is the binding constraint and directing investment accordingly. An organization with strong data infrastructure (high D_i) but weak process integration (low D_p) should invest in decision frameworks and training rather than new hardware. This targeted logic follows

from the empirical finding that analytics capability only translates into resilience when it is integrated into actual decision processes [5].

Conclusion

The empirical evidence reviewed is consistent across the 2008 global financial crisis, the COVID- 19 pandemic, general economic recessions, and sector- level operational shocks: organizations with stronger pre- crisis analytics and data mining capabilities outperform comparable peers during disruption. The measured effects are economically significant - ranging from 2–4 percentage- point higher sales during the COVID- 19 period to 10% fewer non- performing loans in banking during the GFC. The mechanisms are well- specified: better data capability improves information processing speed and quality, enabling faster and more accurate decisions on pricing, staffing, credit allocation, and supply chain reconfiguration. This is not an automatic effect. It requires analytics to be integrated into operational processes, data quality to be maintained, and organizational governance to align strategy with analytical practice. The proposed CRAS framework operationalizes these conditions into a simple, actionable diagnostic. By computing the score annually and resolving the weakest dimension, organizations can systematically improve their readiness before the next crisis arrives.

References

1. Comin D.A., Cruz M., Cirera X., Lee K.M., Torres J. *Technology and Resilience*. NBER Working Paper No. 29644. National Bureau of Economic Research, 2022. URL: <https://www.nber.org/papers/w29644>.
2. Copestake A., Estefania- Flores J., Furceri D. *Digitalization and Resilience*. *Research Policy*. 2024. Vol. 53, No. 3. P. 104948. (Original IMF Working Paper WP/22/210, 2022).
3. Calza E., Lavopa A., Zagato L. *Advanced Digital Technologies and Industrial Resilience During the COVID- 19 Pandemic: A Firm- Level Perspective*. UNU- MERIT Working Paper 2022-008. Maastricht: United Nations University, 2022.
4. Pierri N., Timmer Y. *The Importance of Technology in Banking during a Crisis*. *Journal of Monetary Economics*. 2022. Vol. 128. P. 88–104. (Also: *Finance and Economics Discussion Series* 2022- 020, Board of Governors of the Federal Reserve System).
5. Bag S., Rahman M.S., Srivastava G., Chan H.- L., Bryde D.J. *The Role of Big Data and Predictive Analytics in Developing a Resilient Supply Chain Network in the South African Mining Industry Against Extreme Weather Events*. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 251.

Проект програмного комплексу для реалізації системи автоматичного рефакторингу коду з використанням технологій Graph Neural Networks

Меренянін М. А., Добряк С. К.

Донбаська державна машинобудівна академія

Розробки програмного забезпечення вимагають більше, ніж просто написання інструкцій; необхідним є безперервне вдосконалення цих скриптів. Одним із фундаментальних процесів є рефакторинг – це процес оптимізації внутрішньої будови коду без зміни його зовнішньої поведінки. Проте, виконання рефакторингу вручну є надзвичайно трудомістким і значною мірою залежить від рівня майстерності розробника. У зв'язку з цим, створення програмного забезпечення, здатного автоматизувати цей процес, використовуючи передові методи штучного інтелекту, зокрема Графові нейронні мережі (GNN), набуває особливої актуальності.

Статичні аналізатори, засновані на правилах, такі як SonarQube, застосовують зумовлені порогові значення та зіставлення з шаблонами, але не розуміють контексту чи намірів, що стоять за кодом.

Традиційні підходи до машинного навчання, що використовують дерева рішень або SVM, перевершують системи, засновані на правилах, але, як і раніше, зазнають труднощів через структурну природу коду.

Нещодавні застосування графових нейронних мереж показали багатообіцяючі результати у задачах, пов'язаних з кодом, таких як виявлення помилок та автодоповнення коду, проте комплексна рефакторизація вивчена недостатньо.

Дане дослідження заповнює суттєві прогалини у попередніх роботах, безпосередньо порівнюючи графові нейронні мережі (GNN) як із заснованими на правилах, так і з традиційними підходами машинного навчання за багатьма показниками підтримуваності. Крім того, в ньому використовується значно більший і різноманітніший набір даних, ніж у попередніх дослідженнях, що дозволяє зробити більш узагальнювані висновки.

Запропонований підхід розширює нещодавні роботи, такі як GNN-Coder: Boosting Semantic Code Retrieval, в яких було продемонстровано, як нейронні

мережі можуть вловлювати семантичні зв'язки в коді. Якщо GNN-Coder фокусувався на пошуку, то в даному дослідженні аналогічні принципи застосовуються до складнішого завдання пропозиції конкретних змін у коді для підвищення зручності супроводу [1–6].

Архітектура програмного комплексу може складатися з таких модулів: парсер коду, який створює абстрактне синтаксичне дерево (AST) або інші типи графів; модуль обробки графів, що готує дані для подачі у нейронну мережу; GNN-модель, яка спеціалізується на виявленні патернів неякісного коду; модуль генерації змін для формування оптимізованого коду; а також користувацький інтерфейс, що надає можливість переглядати і затверджувати запропоновані зміни.

Серед очевидних переваг такого інноваційного методу можна відзначити ліквідацію рутинної праці, підвищення загальної якості розроблюваного продукту, зменшення ймовірності виникнення дефектів та підтримку масштабних проєктів. Водночас, існують і серйозні виклики: складність тренування таких моделей, потреба у значних об'ємах навчальних даних, небезпека некоректного застосування механізмів рефакторингу та високі вимоги до обчислювальних ресурсів.

Наразі вже наявні наукові праці, які демонструють успішність використання Графових нейронних мереж у контексті аналізу програмних систем, зокрема у завданнях класифікації, пошуку помилок та програмній генерації. Таким чином, інтеграція GNN у системи автоматичного рефакторингу є надзвичайно багатообіцяючим вектором розвитку, який успішно поєднує принципи програмної інженерії та передові досягнення штучного інтелекту, здатний якісно трансформувати увесь цикл розробки програмного забезпечення.

Література

1. *AI-Driven Code Refactoring: Using Graph Neural Networks to Enhance Software Maintainability* [Електронний ресурс]. URL: https://www.aimodels.fyi/papers/arxiv/ai-driven-code-refactoring-using-graph-neural?utm_source=chatgpt.com
2. HANYU ZHANG Department of Industrial and Management Systems Engineering Waseda University Japan, Tokyo. *A Code Smell Refactoring Approach using GNNs.*
3. Guo D., Ren S., Lu S., Feng Z., Tang D., Liu S., Zhou L., Duan N., Svyatkovskiy A., Fu S., Tufano M., Deng S.K., Clement C., Drain D., Sundaresan N., Yin J., Jiang D., Zhou M. *GraphCodeBERT: Pre-training Code Representations with Data Flow*
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. Cambridge : MIT Press, 2016. 775 p.

5. *Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. 2nd ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2019. 851 p.*
6. *Fowler M. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. 2nd ed. Boston : Addison-Wesley, 2018. 448 p.*

Архітектура та інструментарій інтелектуальної системи моніторингу продуктових метрик з адаптивними порогами

Штонда Є. О.

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

Моніторинг продуктових метрик цифрових продуктів вимагає автоматизованих систем виявлення аномалій поверх корпоративних сховищ даних. Перехід від статичних порогів до адаптивних методів на основі машинного навчання потребує інфраструктури, що забезпечує щоденне оновлення моделей та інтеграцію з наявними ВІ-засобами. Метою роботи є обґрунтування архітектури такої системи на прикладі моніторингу показника успішності API-запитів у мобільному застосунку соціальної взаємодії.

Запропонована архітектура складається з п'яти шарів: (1) шар оркестрації на базі Prefect; (2) шар обчислень та формування алертів на базі Python; (3) шар зберігання на базі аналітичної СУБД Vertica 9.3; (4) шар оперативного алертингу на базі Slack як каналу сповіщень для чергової команди (on-call); (5) шар інформаційної візуалізації на базі Tableau Online для стейкхолдерів. Взаємодія шарів зображена на рис. 1.

Вибір компонентів базується на мінімізації витрат шляхом повторного використання наявної корпоративної інфраструктури та функціональному розділенні шарів оперативного алертингу й інформаційної візуалізації.

Vertica 9.3 обрано як шар зберігання: вона вже використовується підприємством як основне аналітичне сховище (що усуває потребу в додатковому ETL), її колонкова MPP-архітектура забезпечує швидкі агрегації, а вбудовані аналітичні віконні функції дозволяють виконувати попередню обробку метрик в SQL. Альтернативи (PostgreSQL з TimescaleDB, ClickHouse) потребували б реплікації даних і паралельної інфраструктури.

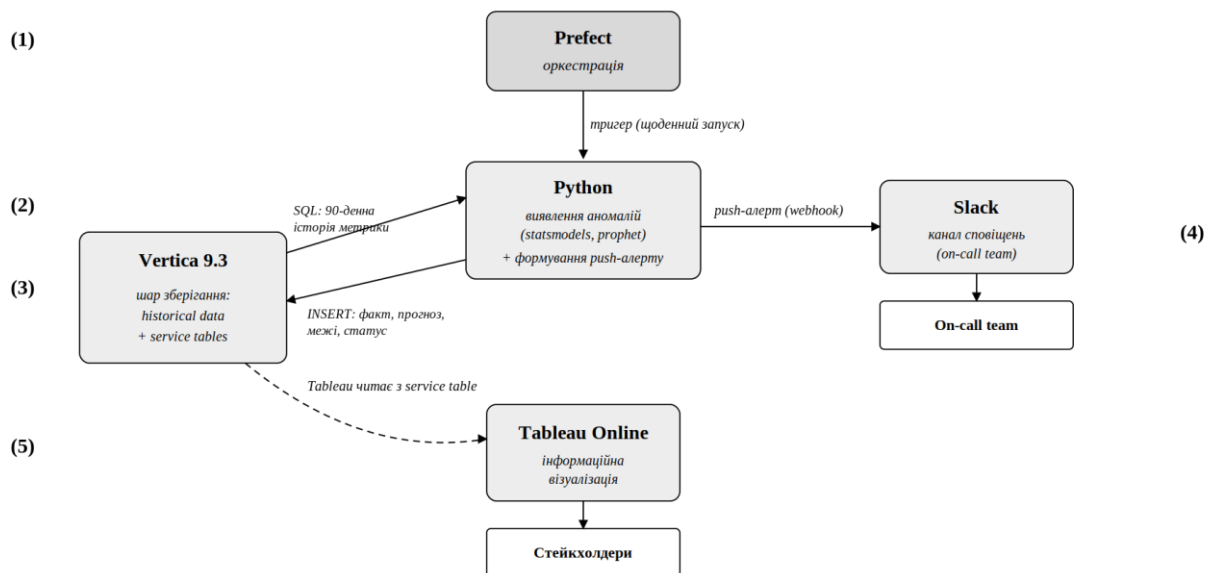


Рисунок 1 – Архітектура інтелектуальної системи моніторингу продуктових метрик

Python обрано як шар обчислень та формування алертів: ML-екосистема (statsmodels, scikit-learn, prophet) дозволяє реалізувати всі розглянуті методи виявлення аномалій у єдиному середовищі. Окрім обчислення прогнозу та меж довірчого інтервалу, Python-скрипт формує структуроване повідомлення про аномалію та безпосередньо надсилає його у шар оперативного алертингу, чим усуває залежність від BI-інструменту в критичному шляху сповіщення.

Prefect обрано як шар оркестрації — Python-орієнтовану альтернативу Airflow з декларативним API на базі функцій Python та вбудованими механізмами retry й моніторингу.

Slack обрано як шар оперативного алертингу через механізм Incoming Webhooks. При виявленні аномалії Python-скрипт надсилає у канал чергування структуроване повідомлення із фактичним та прогнозованим значеннями, межами довірчого інтервалу та ступенем відхилення. Такий підхід забезпечує негайне інформування on-call команди і відповідає індустріальному ChatOps-підходу. Оскільки Slack уже використовується підприємством як корпоративний месенджер, інтеграція не потребує розгортання додаткових сервісів.

Tableau Online обрано як шар інформаційної візуалізації для стейкхолдерів (продуктові менеджери, аналітики, керівництво): він уже є корпоративним BI-

інструментом. На відміну від шару алертингу, Tableau забезпечує ретроспективний аналіз метрик, порівняння прогнозованих і фактичних значень та аудит спрацювань алертів. Наявна інтеграція з Vertica та підписки на дашборди дозволяють надавати стейкхолдерам регулярні зведення без додаткового програмування.

Щоденний робочий процес: Prefect запускає Python-скрипт; скрипт виконує SQL-запит до Vertica (90-денна історія метрики), обчислює прогноз і межі довірчого інтервалу для поточного дня; результат (факт, прогноз, межі, статус) записується у службову таблицю Vertica; у разі аномалії Python надсилає push-сповіщення у Slack через вебхук; Tableau оновлює дашборд для ретроспективного аналізу. Архітектура є stateless — стан моделей реконструюється з даних Vertica, що спрощує масштабування на додаткові метрики.

Запропонована архітектура мінімізує витрати на впровадження шляхом повторного використання наявного корпоративного data stack. Комбінація Prefect, Python, Vertica, Slack і Tableau Online забезпечує функціональне розділення шарів оперативного алертингу та інформаційної візуалізації: критичний шлях сповіщення (Python → Slack) не залежить від BI-інструменту. Подальші дослідження в межах магістерської роботи спрямовані на повну реалізацію цього рішення, оцінку ефективності у промислових умовах та розробку гібридного ансамблевого методу виявлення аномалій.

Література

1. Vertica Analytics Platform : Concepts Guide [Електронний ресурс] / OpenText. Режим доступу: <https://docs.vertica.com>. Назва з екрана.
2. Prefect Documentation [Електронний ресурс] / Prefect Technologies, Inc. Режим доступу: <https://docs.prefect.io>. Назва з екрана.
3. Slack API : Sending messages using Incoming Webhooks [Електронний ресурс] / Slack Technologies, Inc. Режим доступу: <https://api.slack.com/messaging/webhooks>. Назва з екрана.
4. Taylor S. J., Letham B. Forecasting at scale. *The American Statistician*. 2018. Vol. 72, № 1. P. 37–45.
5. Ahmad S., Lavin A., Purdy S., Agha Z. Unsupervised real-time anomaly detection for streaming data . *Neurocomputing*. 2017. Vol. 262. P. 134–147.
6. Цюцюра М. І., Коваленко А. Оцінка алгоритмів виявлення аномалій за допомогою методів машинного навчання. *Управління розвитком складних систем*. 2024. № 58. С. 80–85.

РОЗДІЛ 9. НАДІЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем

Новгородський О. О., Бабаш А. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Проектування сучасних систем діагностики неполадок у механічних передачах електромеханічних систем базується на інтеграції прецизійного апаратного забезпечення та складних алгоритмів цифрової обробки сигналів, що дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях їх виникнення [1,2].

Мета роботи – проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем.

Задачі дослідження:

- літературний огляд;
- проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем у вигляді діаграми класів.

Представлена архітектура системи, яка відображена на діаграмі класів, демонструє комплексний підхід до вирішення задачі технічного моніторингу через створення «цифрового двійника» фізичного об'єкта.

В основі системи лежить клас стенда динамічних навантажень, який виступає центральним вузлом і агрегує в собі асинхронний двигун та інерційну масу, що безпосередньо імітують роботу промислової установки під навантаженням. Механічна передача в такій системі є об'єктом пильної уваги, оскільки будь-які відхилення в її роботі, такі як знос зубчастих коліс, люфти або пошкодження підшипників, неминуче призводять до виникнення специфічних коливань кутової швидкості. Для фіксації цих мікрозмін у системі використовується інкрементальний датчик швидкості, який трансформує механічний рух у послідовність електричних імпульсів. Процес збору діагностичної інформації забезпечується блоком АЦП L-Card, який здійснює

високошвидкісне аналого-цифрове перетворення, що є критично важливим для уловлювання високочастотних складових сигналу, характерних для механічних дефектів. Програмний додаток L-Graph виконує роль первинного реєстратора, формуючи текстовий файл із масивами оцифрованих сигналів, що забезпечує можливість подальшого глибокого аналізу даних без безпосереднього зв'язку з апаратною частиною в режимі реального часу.

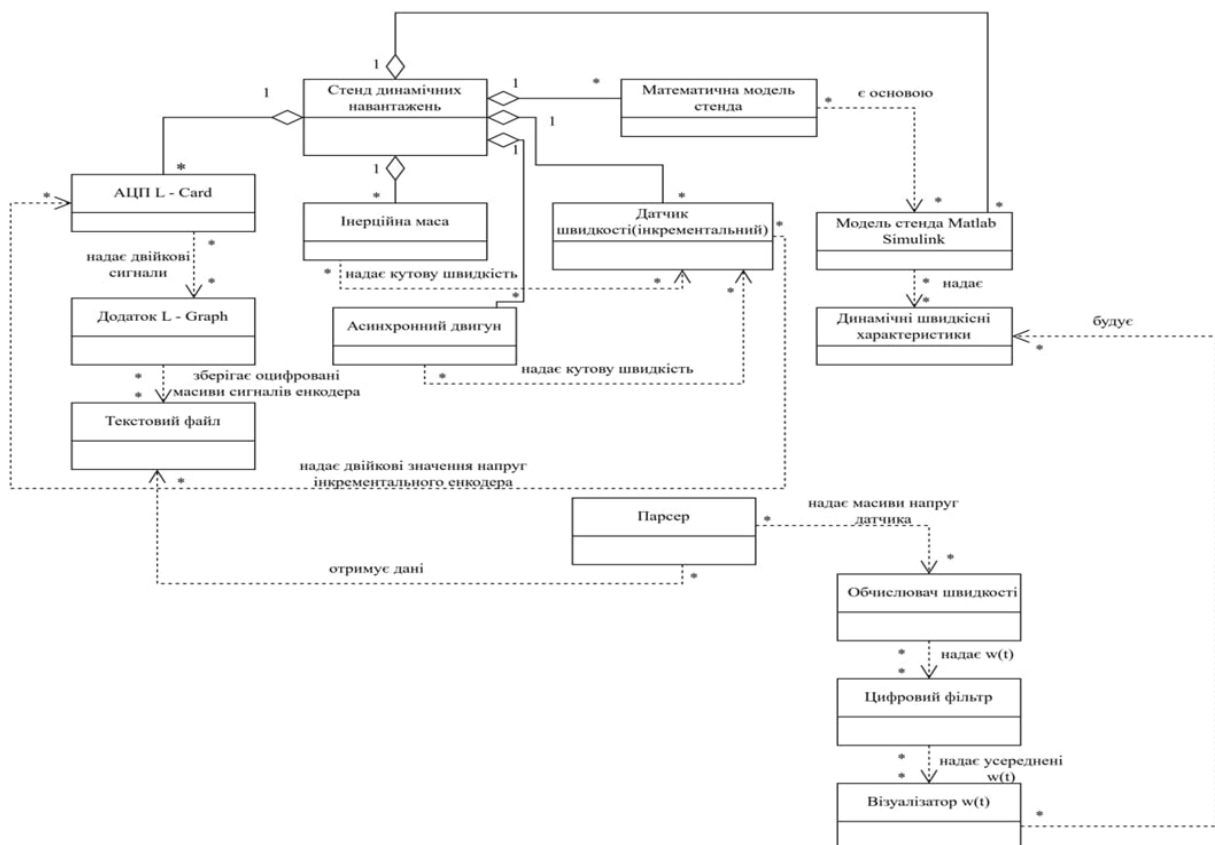


Рисунок 1 – Діаграма класів для проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем

Важливим аспектом проектування такої діагностичної системи є реалізація багатоступеневого конвеєра обробки даних, який починається з роботи парсера. Цей компонент інтерпретує структуровану інформацію з текстового файлу та передає її до обчислювача швидкості, де на основі часових інтервалів між імпульсами енкодера формується функція миттєвої швидкості від часу. Оскільки реальні умови експлуатації супроводжуються значним рівнем електромагнітних завад та

вібраційним шумом, ключову роль у системі відіграє цифровий фільтр. У контексті діагностики неполадок фільтрація не просто очищує сигнал, а дозволяє виділити характерні частотні гармоніки, що відповідають конкретним видам несправностей у механічній передачі. Наприклад, поява періодичної низькочастотної складової може свідчити про ексцентриситет вала, тоді як високочастотні сплески вказують на дефекти зачеплення. Візуалізатор швидкості завершує цей етап, надаючи інженеру-діагносту графічне представлення стану системи, де аномалії в динаміці привода стають очевидними для аналізу.

Теоретичний фундамент системи діагностики закладений у математичній моделі стенда, яка реалізована через програмний комплекс Matlab Simulink. Ця модель функціонує як еталонна система, що описує роботу абсолютно справного обладнання за заданих параметрів. Вона генерує динамічні швидкісні характеристики, які слугують базою для порівняння. Основна діагностична цінність спроектованої системи полягає у верифікації реальних даних шляхом їх зіставлення з теоретично розрахованими параметрами. Будь-яка суттєва розбіжність між графіком, побудованим на основі даних з реального стенда, та еталонною характеристикою з Simulink сигналізує про зміну технічного стану механічної передачі. Така архітектура дозволяє реалізувати інтелектуальну функцію дефектоскопії без необхідності зупинки технологічного процесу або розбирання вузлів. Використання об'єктно-орієнтованого підходу при проектуванні даної системи забезпечує її високу масштабованість, дозволяючи легко адаптувати діагностичні модулі під різні типи механічних передач, змінюючи лише математичне описання моделі або налаштування цифрових фільтрів.

Таким чином, розроблений комплекс є ефективним інструментом для предиктивного обслуговування сучасних електромеханічних систем, забезпечуючи високу точність локалізації несправностей та мінімізацію ризиків раптових аварійних відмов. Діаграма класів для проектування системи діагностики неполадок в механічних передачах сучасних електромеханічних систем представлена на рисунку 1 [1, 2].

Література

1. Квашин В.О. Методика визначення динамічної швидкісної та токової характеристики асинхронного електроприводу. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. № 19 (95). 2015. С. 28–32.

2. Нестюркіна Є. В., Косенко В. А., Толканов А. С., Квашин В. О. Порівняння динамічних моделей асинхронного двигуна з використанням розрахункових та каталожних даних. *Вісник кафедри “Електротехніка” за підсумками наукової діяльності студентів*. Донецьк: ДонНТУ, 2014. С. 127-129.

Аналіз ефективності сучасних алгоритмів хешування для захисту автентифікаційних даних у програмних системах

Вовкотруб В. Ю.

Державний торговельно-економічний університет

У зв'язку зі зростанням кількості кіберзагроз, витоків даних та атак на інформаційні ресурси розробка програмного забезпечення більше не обмежується функціональністю та зручністю використання, а передбачає обов'язкове врахування вимог безпеки на рівні архітектури системи. Особливої уваги потребує захист даних на етапі автентифікації, оскільки саме він забезпечує доступ до системи та є основною ціллю атак, зокрема викрадення облікових даних та brute-force.

Одним із ключових механізмів захисту є хешування, яке дозволяє зберігати не самі дані, а їх криптографічні образи. Це знижує ризик компрометації, адже у разі витоку бази даних отримані значення не відображають реальні дані, що значно ускладнює їх відновлення [2].

Серед сучасних алгоритмів хешування можна виділити як класичні криптографічні хеш-функції, так і спеціалізовані алгоритми. До першої групи належать MD5, SHA-1 та SHA-256, які історично широко використовувалися у програмних системах. Проте розвиток криптоаналізу та зростання обчислювальних потужностей призвели до втрати стійкості частини з них. Зокрема, для MD5 та SHA-1 доведено можливість побудови колізій – ситуацій, коли різні вхідні дані дають однаковий хеш, що робить їх непридатними для захисту паролів [4]. Алгоритм SHA-256, який належить до сімейства SHA-2, залишається криптографічно стійким і широко використовується для

забезпечення цілісності даних, цифрових підписів і блокчейн-технологій [9]. Однак його не рекомендується використовувати для зберігання паролів без додаткових механізмів уповільнення, оскільки сучасні GPU та спеціалізовані пристрої можуть виконувати мільярди операцій хешування за секунду, що значно полегшує атаки перебором та словникові атаки.

У відповідь на ці виклики були розроблені спеціалізовані алгоритми: `bcrypt`, `scrypt` та `Argon2`. Їх ключова особливість це адаптивність, тобто можливість налаштування складності обчислень. Алгоритм `bcrypt` базується на шифрі Blowfish і використовує параметр "cost", який визначає кількість ітерацій, дозволяючи масштабувати складність відповідно до розвитку апаратного забезпечення [1]. Алгоритм `scrypt` розвиває ідею захисту паролів за рахунок використання `memory-hard` функцій, які потребують значних обсягів оперативної пам'яті, ускладнюючи застосування спеціалізованого обладнання для масового підбору паролів [6]. Найбільш сучасним є алгоритм `Argon2`. Він має кілька варіантів (`Argon2d`, `Argon2i`, `Argon2id`), оптимізованих під різні сценарії використання. `Argon2` поєднує адаптивність, обчислювальну складність і значне споживання пам'яті, забезпечуючи високий рівень захисту від атак [3].

Порівняльний аналіз показує, що класичні хеш-функції, такі як SHA-256, ефективні для забезпечення цілісності даних, але не відповідають сучасним вимогам безпеки щодо зберігання даних. Їх швидкість у цьому контексті є недоліком, оскільки спрощує атаки перебором. Натомість `bcrypt`, `scrypt` та `Argon2` навмисно спроектовані як повільні та ресурсоємні, що значно підвищує вартість атак.

Незважаючи на це, використання хешування не гарантує абсолютного захисту, оскільки існують методи його обходу. До основних належать brute-force, словникові атаки, rainbow tables та атаки на колізії. Ефективність цих атак залежить від складності даних: короткі або передбачувані паролі можуть бути швидко відновлені, особливо із застосуванням потужних обчислювальних ресурсів. Rainbow tables становлять окрему загрозу, оскільки дозволяють знаходити відповідності між паролями та їх хешами без обчислень у реальному часі. Якщо не використовуються додаткові захисні механізми, зловмисник може ефективно масштабувати атаку та аналізувати однакові хеші в різних облікових записках [8].

Для протидії цим загрозам застосовується використання "солі" (salt) – випадкового унікального значення, що додається до пароля перед хешуванням. Це

забезпечує унікальність хешів і робить використання rainbow tables практично неефективним. Додатково використовується “перець” (pepper) – секретне значення, яке не зберігається у базі даних, а розміщується в захищеному середовищі. Це ускладнює відновлення паролів навіть у разі компрометації бази даних [5]. Важливу роль відіграють також організаційні заходи: обмеження кількості спроб входу, блокування облікових записів, CAPTCHA та моніторинг підозрілої активності. Сучасні системи також зменшують залежність від паролів через впровадження багатофакторної автентифікації, яка поєднує кілька факторів: знання, володіння та біометрію. Додатково розвиваються безпарольні підходи, що базуються на криптографічних ключах і знижують ризики компрометації облікових даних [7].

Отже, ефективний захист автентифікаційних даних забезпечується не окремими методами, а їх поєднанням. Використання застарілих алгоритмів є неприйнятним, тоді як застосування сучасних адаптивних алгоритмів, зокрема Argon2 або bcrypt, у поєднанні з механізмами “солі”, “перцю” та контролю доступу значно підвищує стійкість системи до атак. Перспективними напрямками подальших досліджень є вдосконалення memory-hard алгоритмів, оптимізація їх продуктивності та розвиток безпарольних методів автентифікації у хмарних і розподілених системах.

Література

1. Bcrypt. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Bcrypt> (дата звернення 06.04.2026)
2. Hashing in Cryptography Explained: How It Works, Algorithms, and Real-World Uses. URL: https://www.splunk.com/en_us/blog/learn/hashing-cryptography.html.
3. How to improve user password security with Argon2? URL: <https://www.boldare.com/blog/how-to-improve-user-password-security-with-argon2/>
4. MD5. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MD5> .
5. Salt & Pepper: Spice up your hash! URL: <https://medium.com/@berto168/salt-pepper-spice-up-your-hash-b48328caa2af> .
6. Scrypt. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Scrypt> .
7. What Is Hashing in Cyber Security and Why It Matters. URL: <https://fidelissecurity.com/cybersecurity-101/learn/what-is-hashing/> .
8. What Is Hashing in Cybersecurity? URL: <https://www.coursera.org/articles/hashing> (дата звернення 06.04.2026)
9. SHA-1. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SHA-1> (дата звернення 06.04.2026)

РОЗДІЛ 10.
РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ
НА ОСНОВІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ТОЩО

**Використання векторної моделі асинхронного вентильного каскаду
для побудови механічних характеристик**

Клюєв О. В., Ящук О. О.

Дніпровський державний технічний університет

Відома класична схема асинхронного вентильного каскаду (АВК) з діодним випрямлячем, підключеним до кілець асинхронної машини (АМ) з фазним ротором та інвертором, що ведений мережею, для рекуперації енергії ковзання у мережу. Для моделювання такої системи електропривода (ЕП) з використанням рівнянь узагальненої електричної машини в [1] запропоновано ортогональні обертові осі координат u, v орієнтовані за вектором струму ротора, оскільки при наявності випрямних діодів у роторі АМ вектор додаткової ЕРС, що вводиться в ротор, знаходиться у всіх режимах ЕП строго в протифазі до вектора струму ротора. У такому випадку відпадає необхідність визначати просторове положення вектора додаткової ЕРС, оскільки цей вектор буде розташовуватися уздовж дійсної осі системи координат, орієнтованої за вектором струму ротора. Рівняння динаміки АВК у зазначених осях координат наведені у джерелі [1, стор. 70, формула (2.79)]. Ці рівняння в сталому режимі приймають вигляд:

$$-U_s \cos \delta = R_s I_{su} - \omega_0 L_s I_{sv}; \quad (1)$$

$$-U_s \sin \delta = R_s I_{sv} + \omega_0 L_s I_{su} + \omega_0 L_m I_r; \quad (2)$$

$$-E_y = R_r I_r - (\omega_0 - \omega) L_m I_{sv}; \quad (3)$$

$$0 = (\omega_0 - \omega)(L_r I_r + L_m I_{su}); \quad (4)$$

$$M_e = \frac{3}{2} N L_m I_r I_{sv}. \quad (5)$$

З рівнянь (4) і (5) виразимо проекції вектора струму статора

$$(L_r I_r + L_m I_{su}) = 0 \Rightarrow I_{su} = -\frac{L_r}{L_m} I_r; \quad I_{sv} = \frac{2M_e}{3N L_m I_r}. \quad (6)$$

Значення струму I_{sv} з (6) підставимо в (3) і одержимо

$$\omega = \omega_0 - (R_r I_r + E_y) \frac{3N I_r}{2M_e}. \quad (7)$$

Також значення струмів (6) підставимо в рівняння (1) і (2). Тоді буде

$$U_s \cos \delta = \frac{R_s}{k_r} I_r + \frac{2M_e \omega_0}{3N k_s I_r}; \quad (8)$$

$$U_s \sin \delta = \frac{\omega_0}{L_m} (L_s L_r - L_m^2) I_r - \frac{2R_s M_e}{3N L_m I_r}, \quad (9)$$

де $k_s = L_m / L_s$; $k_r = L_m / L_r$.

З рівняння (8) виразимо косинус кута δ між векторами напруги статора і струму ротора

$$\cos \delta = \frac{1}{U_s} \left(\frac{R_s}{k_r} I_r + \frac{2M_e \omega_0}{3N k_s I_r} \right). \quad (10)$$

З векторної діаграми, наведеної в [1, стор. 69], випливає, що кут δ гострий і тому можна записати

$$\sin \delta = \sqrt{1 - \cos^2 \delta}, \quad (11)$$

з чого випливає

$$U_s \sin \delta = \sqrt{U_s^2 - \left(\frac{R_s}{k_r} I_r + \frac{2M_e \omega_0}{3Nk_s I_r} \right)^2}. \quad (12)$$

Підставляємо вираз (12) у ліву частину рівняння (9) і приходимо до наступного рівняння відносно модуля вектора струму ротора

$$\sqrt{U_s^2 - \left(\frac{R_s}{k_r} I_r + \frac{2M_e \omega_0}{3Nk_s I_r} \right)^2} - \frac{\omega_0}{L_m} (L_s L_r - L_m^2) I_r + \frac{2R_s M_e}{3NL_m I_r} = 0. \quad (13)$$

Вираз (13) є нелінійним рівнянням відносно модуля вектора струму ротора I_r при заданому електромагнітному моменті M_e . З рівняння (13) випливає, що в АВК випрямлений струм ротора I_r в сталому режимі залежить тільки від моменту статичного навантаження $M_e = M_c$ і не залежить від додаткової ЕРС E_y . Механічна характеристика будується в такий спосіб. Задаються значеннями електромагнітного моменту M_e , для кожного з яких знаходять струм ротора I_r в результаті розв'язання рівняння (13). Далі значення струму і моменту (I_r, M_e) підставляють у формулу (7) і при заданій додатковій ЕРС E_y визначають величину кутової швидкості ротора АВК в електричних рад/с. Таким чином, для кожної точки механічної характеристики розв'язується рівняння (13) і проводяться обчислення за формулою (7). Програма, що чисельно вирішує рівняння (13) і розраховує точки механічної характеристики за описаною

методикою, написана в середовищі Mathcad. Результати розв'язання рівняння (13) представлені на рисунку 1 як залежність електромагнітного моменту у відносних одиницях $\mu = M_e / M_n$ від модуля струму ротора I_r . Цей графік незмінний для будь-яких додаткових ЕРС E_y . Розрахунки проводилися для АМ з фазним ротором з наступними паспортними даними: тип 4AK160S4Y3, $P_n = 11 \text{ кВт}$, $U_{\text{сл}} = 380 \text{ В}$, $n_c = 1500 \text{ об/хв}$, $U_2 = 305 \text{ В}$. На рисунку 2 показані механічні характеристики АВК, де по осі абсцис електромагнітний момент відкладається у відносних одиницях, а кутова швидкість ротора АМ по осі ординат представлена в електричних рад/с. Побудовано робочі ділянки механічних характеристик для різних додаткових ЕРС E_y . При малих навантаженнях і, отже, невеликому випрямленому струмі ротора, виникає режим переривчастих струмів, для якого механічні характеристики будуються за іншою методикою, оскільки рівняння (13) в області малих моментів M_e не має розв'язання відносно струму I_r . Те ж саме відбувається і при моментах більше критичного, де механічна характеристика відповідає коливальному режиму роботи АВК. Механічні характеристики побудовані для розімкнутої системи ЕП, тобто без яких-небудь зворотних зв'язків. Значення $E_y = 0$ відповідає закороченому через діодний міст ротору й АМ працює практично на природній механічній характеристиці. При великих проти-ЕРС ($E_y = 300 \text{ В}$) АВК заходить у режим противмикання, коли під дією моменту навантаження ротор АМ змінює напрямок обертання (починає обертатися проти поля статора) і вся електрична енергія статора передається в ротор, випрямляється і через інвертор рекуперується в мережу. Механічна енергія з вала ротора перетворюється в електричну і також через коло випрямленого струму ротора рекуперується у мережу.

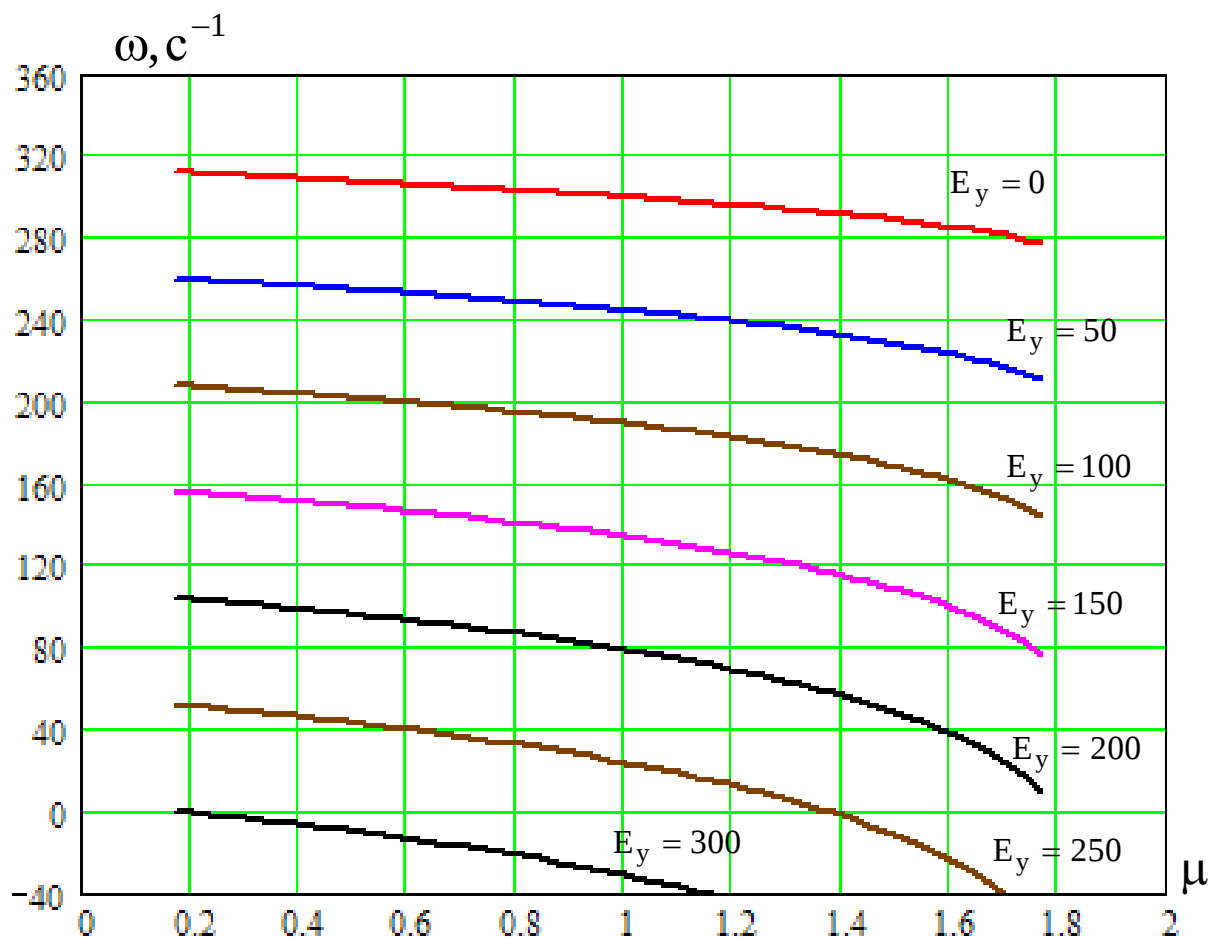


Рисунок 1 – Механічні характеристики АВК

Література

1. Ключев О. В., Садовой О. В., Сохіна Ю. В. Системи керування асинхронними вентилями каскадами. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 294 с.
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16887109>

Особенности выбора датчика давления для системы контроля состояния трубопровода

Суботін О. В., Марков О. Є., Шляхов С. Ю.
Донбаська державна машинобудівна академія

Основним вимогам до системи водопостачання є забезпечення заданого напору для споживачів води при постійних і змінних витратах води. Ці витрати не завжди контролювані. Можуть бути випадки втрати напору через витоки рідини через пошкодження в трубопроводі, знайти й ліквідувати які досить

важко й не так швидко. Крім вирішення питання знаходження і контролю витоків води, необхідно вирішити і питання плавного регулювання тиску в трубі. Адже різкі зміни тиску в трубопроводі є найбільшою і поширеною причиною його пориву та неконтрольованих витоків. Витоки відбуваються також в результаті старіння й погіршення стану трубопроводів або від надвисокого тиску [1].

Традиційні методи виявлення витоків в основному покладаються на періодичні перевірки, що проводяться обслуговуючим персоналом і потребують інтенсивної участі людини, але періодичний контроль не забезпечує моніторинг в режимі реального часу трубопроводу. Відповідно, витоки будуть виявлені з затримкою, яка призведе до великих економічних втрат.

Таким чином, розробка і впровадження організаційної політики контролю витоку є один з можливих шляхів зниження швидкості витоку. Крім політики контролю витоків необхідне регулювання в автоматичному режимі тиску в трубопроводі.

З урахуванням вищезазначених проблем, в даній роботі аналізується можливість реалізації системи з комбінуванням контролю й регулювання тиску в трубопроводі з витоками рідини.

Основною проблемою транспортування води є підтримка тиску, що встановлений нормативними вимогами. Насоси магістрального трубопроводу є складними технічними конструкціями і грають вирішальну роль в транспортуванні води. Одні призначені для підтримки постійного тиску в трубі, а інші використовуються для підвищення показника тиску при його контролі [3].

Як правило, на водонасосній станції встановлено два насосних агрегати, які взаємно резервують один одного. Кожен агрегат складається з двох насосів і двох двигунів: насоси підкачки з приводними асинхронними двигунами і основні насоси з асинхронними приводними двигунами. Тобто використовується 4 насоса і 4 двигуни для забезпечення постійності номінального тиску. Останнім часом з'явилася тенденція регулювання тиску з використанням перетворювачів частоти в складі системи автоматичного регулювання тиску в трубопроводі [1, 3].

Отже, одним з основних параметрів при аналізі поведінки рідких середовищ є тиск. Первинною ланкою, що реєструє і передає інформацію про тиск середовища в систему регулювання тиску, є датчик, що представляє собою конструктивно завершений прилад. На сьогоднішній день широко використовуються системи контролю тиску, які спираються на датчики вимірювання тиску з можливістю автоматичної передачі даних [4].

У сучасних системах водопостачання в основному встановлені електромеханічні датчики тиску. Принцип дії цих датчиків заснований на деформації мембрани, дані про стан якої передаються в систему автоматичного регулювання тиску. Через інерційність механізму, смуга пропускання цих датчиків не перевищує десятків Герц.

Для вимірювання високочастотних динамічних процесів в трубопроводі зазвичай застосовують п'єзоелектричний датчик вимірювання тиску [5].

Високочастотний датчик має можливість вимірювати швидкі зміни тиску, а також квазістатичні перепади тиску. За допомогою такого датчика є можливість отримати швидку частотну характеристику системи трубопроводу, що дає можливість контролювати поточний стан трубопроводу. Теоретично, перехідна характеристика тиску виникає, коли відбувається раптова зміна потоку води шляхом закриття або відкриття клапанів в мережі трубопроводів. Поширення хвилі буде відбуватися по трубопроводі, а її характеристика буде використовуватися в системі для виявлення витоків у трубопроводі вздовж мережі каналів.

Для вимірювання тиску в магістральному міському трубопроводі, що розрахований на номінальний тиск рідини в 15 бар, можна застосовувати п'єзорезистивний перетворювач тиску серії 23/25 фірми KELLER. Вибір перетворювача здійснюється за умовою перевищення вимірюваного датчиком тиску P_d , створюваного тиску насосною станцією $P_{нас} = 15$ бар. Запропонований п'єзорезистивний перетворювач тиску має діапазони вимірювань від 0,2 до 50 бар, що відповідає умові застосування [5].

П'єзоелектричні датчики, встановлені у відводах труб, показали поліпшену чутливість до коливань тиску, що виникають у відводах труб, особливо у вигинах з малими коефіцієнтами кривизни. У порівнянні з реакцією на зміни тиску електромеханічних датчиків, п'єзоелектричні датчики показали чудові характеристики спрацьовування.

Таким чином, вимірювання тиску в трубопроводі за допомогою п'єзоелектричних датчиків тиску дає можливість контролювати «шум» в трубопроводі в режимі реального часу. Це дозволяє підвищити техніко-економічні параметри системи контролю тиску в трубопроводі й реалізувати контроль можливих витоків.

Література

1. Орел В.І. Регулювання напору в гідравлічній системі. Вісник НУ "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація", 2013. С. 281-284.
2. Суботін О.В., Кучеренко С.А. Способи та засоби виявлення витоків води. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції (Краматорськ, 01–04 червня 2021 р.). Краматорськ: ДДМА, 2021. С. 129.
3. Соїч А.В., Бевза О.М. Електронна система керування тиском в мережі водопостачання. Перспективні напрямки сучасної електроніки: матеріали XII-ї науково-практичної конференції (Київ, 19–20 квітня 2018 р.). Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 139-143.
4. Maroua Abdelhafidh. Hybrid mechanism for remote water Pipeline Monitoring System. 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC): conference proceedings (June 26-30, 2017. Valencia, Spain). Valencia, Spain: IEEE, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2017.7986614>.
5. Pressure Transmitters. KELLER. URL: <https://kellerpressure.com/en/products/pressure-transmitters> (дата звернення: 13.03.2026).

Бездротові сенсорні мережі для систем контролю параметрів об'єктів

Петрухін Я. І., Суботін О. В., Сус С. П.
Донбаська державна машинобудівна академія

Бездротові сенсорні мережі (WSN) останнім часом розвиваються швидкими темпами та стали одним з основних напрямків досліджень у галузі бездротових технологій. Цей стрімкий розвиток сприяє розвитку мініатюризації електроніки, зростання продуктивності, енергоефективності. Розвиток нових

технологій бездротового зв'язку та падіння їх цін дозволили використовувати новітні технології для бездротових сенсорних мережевих пристроїв. Локально згруповані взаємозв'язані вузли утворюють мережу, яка через один або кілька шлюзів може передавати дані для подальшої обробки, наприклад, у мережу зв'язку загального користування. Таке поєднання сенсорних мереж із мережами зв'язку загального користування вимагає розрахунку параметрів задіяних шлюзів та загального навантаження, що існує в певній сенсорній мережі [1].

Low Power Wide Area Network (LPWAN) – це сучасна технологія для передачі даних з датчиків від кінцевих вузлів до базових станцій. LPWAN призначені для забезпечення широкосмугового підключення низької потужності при низькій швидкості передачі даних. Ці функції відповідають вимогам Інтернет-речам (IoT), таких як сенсори, які працюють з акумуляторами [2].

Датчики вузлів або кінцевий вузол збирають одне або декілька вимірюваних значень, а потім передають дані на базову станцію. Базова станція передає дані через шлюз зворотного трафіка до деяких хмарних сховищ. Кінцевий користувач або клієнти можуть використовувати зібрані дані з хмарних служб. Протокол зв'язку та системна архітектура LoRaWAN наведені на рис. 1.

Перевага полягає в можливостях технології Longrange (LoRa). Єдина базова станція може охоплювати сотні квадратних кілометрів, але діапазон сильно залежить від навколишнього середовища або перешкод. Вона працює в нижній смузі пропускання.

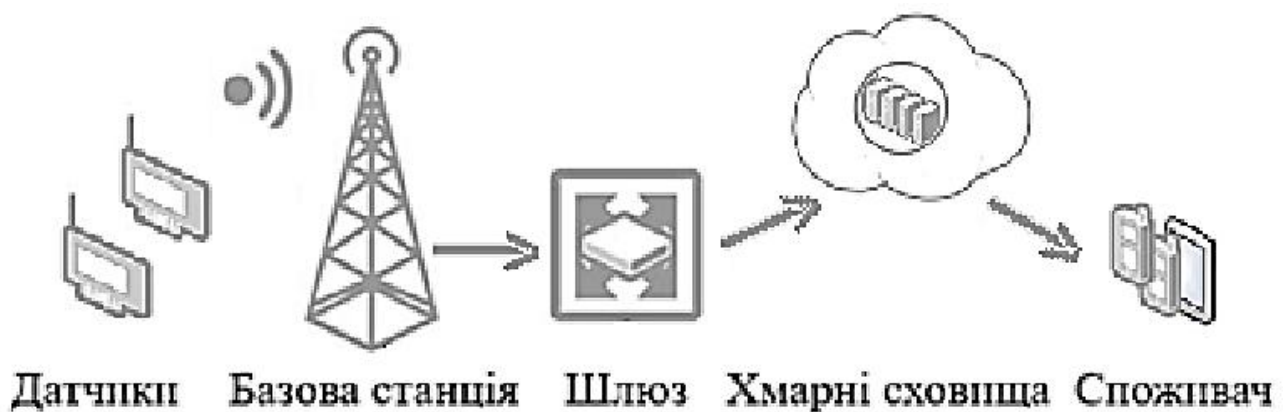


Рисунок 1 – Протокол зв'язку та системна архітектура LoRaWAN

Модуляція LoRa може бути використана багатьма різними протоколами, такими як Star, Mesh та 6LoWPAN. Крім того, LoRa Alliance стандартизував протокол MAC під назвою LoRaWAN, що визначає протокол зв'язку та архітектуру системи для мережі, тоді як фізичний рівень LoRa дає змогу встановити лінії зв'язку дальньої дії. Кінцеві вузли цієї мережі можуть передавати дані на декілька базових станцій, а також мають відкритий стандарт, керований Alliance LoRa.

LoRaWAN забезпечує швидкість передачі даних від 0,3 кбіт / с до 50 кбіт / с, які вважаються прийнятними для передачі даних датчика в режимі реального часу в IoT, Machine-to-Machine (M2M), розумному місті та промислових пристроях. Однак, все, що вимагає високої пропускної здатності, може бути непридатним для мереж LoRa. Низька швидкість передачі даних забезпечує низьке енергоспоживання приладів кінцевих вузлів, тому дозволяє використовувати акумулятор для безперебійного живлення.

LoRaWAN визначає три класи пристроїв. Ці класи розрізняються такими факторами як: швидкість передачі даних, дальність передачі сигналів та тип споживання електроенергії [3].

Акумуляторні пристрої в класі "A" призначені для пристроїв з низьким рівнем живлення, таких як датчики. Це найбільш енергоефективний клас, але має найбільший час затримки. Вона також включає в себе пристрої, яким не потрібно постійно передавати дані. Усі пристрої, що підтримують LoRaWAN, повинні підтримувати функціональні можливості цього класу.

В-клас зосереджений на пристроях, які живляться від батареї, таких як приводи і датчики. Вони є енергоефективними, але мають невелику затримку передачі даних. Сигнал, що передається, синхронізується з базовою станцією, а це дозволяє серверу знати, коли зчитувалися дані з кінцевого пристрою.

Клас С використовується двонаправленими кінцевими пристроями з максимальною кількістю прийомних слотів. Кінцеві пристрої класу С мають практично безперервні відкриті вікна прийому, які закриваються під час

передачі. Ці пристрої повинні використовуватися з зовнішнім джерелом живлення.

Для даного технологічного процесу потрібна велика швидкість передачі даних. Вирішено обрати датчик тиску класу А. Захист мережевого протоколу LoRaWAN базується на IEEE 802.15.4, а також за допомогою двох сеансових ключів: сеансового ключа мережі та ключ звернення. У кожного з вузлів LoRaWAN є власний 128-розрядний ключ AES, відомий як AppKey [4].

Алгоритми AES використовуються для забезпечення аутентифікації і цілісності пакетів на мережевому сервері і наскрізного шифрування на сервері програм. Забезпечуючи ці два рівня, стає можливим реалізувати багатокористувацькі спільно використовувані мережі, при цьому оператор мережі може бачити дані користувачів [5].

Таким чином, використання бездротових сенсорних мереж для систем контролю технологічних параметрів об'єктів дозволяє реалізувати віддалений контроль в реальному часі й підвищити техніко-економічні параметри систем контролю й обліку.

Література

1. Власенко В. О. Методи побудови безпроводових сенсорних мереж. Зв'язок, № 2, 2017. С. 42-46.
2. Kitchenham, B. A., Charters S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Version 2.3. EBSE Technical Report EBSE-2007-01, Keele University, Keele, Staffordshire, United Kingdom, 2007.
3. LoRa Alliance (2025) LoRaWAN® transforms businesses by connecting wireless IoT sensors simply and affordably. Available: <https://www.lora-alliance.org>. Accessed 20 Nov2025.
4. IEEE 802.15 Working Group for WPAN URL: <http://www.ieee802.org/15/> (дата звернення: 13.03.2026).
5. Dressler, F. A Study of Self-Organization Mechanisms in Ad Hoc and Sensor Networks. Computer Communications. 2008. V. 31, N 13. P. 3018–3029.

Renewable Energy Development in Ukraine Under Wartime Conditions: Current State and Prospects

Sheremet O., Kiriiienko T.
Donbas State Engineering Academy

Russia's full-scale invasion has inflicted severe damage on Ukraine's energy infrastructure. Before 2022, the country's available dispatchable generation capacity was approximately 38 GW; by spring 2024 it had fallen to about 12 GW due to occupation, destruction, and targeted strikes on thermal and hydroelectric facilities [1, 2]. Paradoxically, the devastation has accelerated the transition toward decentralized renewable energy sources (RES), which are inherently more resilient against concentrated attacks on large power plants. By end of 2025, the share of RES in Ukraine's electricity generation stood at 10.7%; a mid-2025 government estimate of 17.3 % reflected in part the destruction of conventional capacity rather than solely RES growth [3, 5].

The aim of this work – to review the current state of renewable energy development in Ukraine, analyze sectoral dynamics under wartime conditions, and assess the prospects for achieving national energy targets by 2030.

Research objectives:

- analyze the installed capacity and generation statistics for solar, wind, and bioenergy sectors;
- evaluate the role of distributed generation and energy storage in wartime energy resilience;
- assess the alignment of current progress with the National Energy and Climate Plan (NECP) 2030 targets.

Solar Energy. Solar power remains the dominant RES technology in Ukraine. Before 2022, the country had over 8 GW of installed solar capacity with cumulative investments exceeding €8 billion. Although approximately 30 % of this capacity is located in war-affected or occupied territories, the sector has demonstrated remarkable resilience [4]. In 2024, 800 MW of new solar capacity was commissioned, and in 2025 this figure exceeded 1,000 MW, driven primarily by residential rooftop systems

(5–30 kW) that serve as a critical lifeline during grid blackouts [3, 4]. By early 2024, consumer-installed solar PV had reached nearly 1,500 MW [2]. The NECP targets 12.2 GW of installed solar capacity by 2030, with an estimated total potential exceeding 80 GW [4].

Wind Energy. Ukraine's total installed wind capacity reached 2.2 GW by end of 2025, of which 1.3 GW remains in temporarily occupied territories [5, 6]. In 2025, 324 MW of new wind capacity was installed—exceeding the total 248 MW built from 2022 through early 2025 during the full-scale war [6]. New development has shifted to western (44 %), central (34 %), and southern (22 %) regions. Wind projects totaling 4.5 GW are under active development, and DTEK's 400 MW Tyligulska expansion on the Black Sea coast is scheduled for 2026 [1, 5]. The NECP sets a target of 6.1 GW onshore and 0.1 GW offshore wind capacity by 2030 [4, 5].

Energy Storage and Distributed Generation. The rapid growth of energy storage systems (ESS) has been a defining trend of 2025. Total installed ESS capacity surpassed 500 MW, marking the emergence of a new flexible grid architecture [5, 6]. DTEK launched Ukraine's first large-scale storage complex in September 2025—200 MW / 400 MWh across six facilities, capable of powering 600,000 homes for two hours [1]. The shift toward distributed generation is driven by the vulnerability of centralized power plants to missile and drone strikes. Law No. 9381 (January 2025) simplified grid connection procedures and introduced transparent capacity booking for projects above 20 MW, with municipal incentives for RES deployment [7].

NECP 2030 Targets and International Support. Ukraine's NECP for 2025–2030 aims to achieve 27 % renewable energy in final consumption and add approximately 10 GW of new RES capacity, with total investment needs estimated at \$41.5–50 billion; the government has announced a \$20 billion plan specifically targeting the renewable energy sector [7, 8]. The EU has mobilized approximately €2 billion through the Ukraine Investment Framework, with EBRD, IFC, and KfW de-risking green investments. Canada has signed a memorandum on wind energy financing; partnerships with Germany, Norway, Denmark, and the Netherlands are driving projects exceeding 1 GW with €1 billion in committed investments [4, 8].

In 2025, Ukraine strengthened its external energy position: electricity exports increased sixfold to 2.1 TWh, while imports declined by 24 % [6].

Conclusions. Despite the ongoing war, Ukraine's renewable energy sector demonstrates sustained growth driven by decentralization imperatives and strong international support. Solar additions exceeded 1,000 MW in 2025; wind capacity installation outpaced the cumulative wartime total; and ESS deployment surpassed 500 MW. The main challenges remain grid connection constraints, regulatory uncertainty, and the concentration of 30–69 % of pre-war RES capacity in occupied territories. Achieving the NECP target of 27 % RES by 2030 will require sustained annual investment of \$4–5 billion, auction reform, and continued EU integration alignment.

References

1. IEA. *Ukraine's Energy Security – A Pre-Winter Assessment*. IEA Report, October 2025.
2. Brookings Institution. *Ukraine's Energy Sector Is a Key Battleground in the War with Russia*. Brookings Analysis, October 2025.
3. EcoPolitic. *Renewable Energy in Ukraine: Growth Despite the War and the Industry's Potential*. EcoPolitic, January 2026.
4. Energy Partnership Ukraine. *Ukraine's 2025 Solar Market Outlook / Ukraine's 2025 Wind Market Outlook*. October 2025.
5. UWEA. *Ukrainian Wind Power Sector 2025: Market Overview*. Ukrainian Wind Energy Association, February 2026.
6. Interfax-Ukraine. *Ukraine Adds 324 MW of New Wind Power Capacity in 2025*. Interfax-Ukraine, December 2025.
7. CSIS. *Striving for Access, Security, and Sustainability: Ukraine's Transition to a Modern and Decentralized Energy System*. CSIS Analysis, February 2026.
8. CSIS. *Developing Renewable Energy in Ukraine*. CSIS Analysis, December 2025.

РОЗДІЛ 11. РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, МЕТОДИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

Extended Kalman Filter-Based Rotor Flux Linkage Observer for Sensorless Vector Control of Induction Motor Drives

Sadovoi O., Sokhina Yu.
Dniprovsky State Technical University

Modern industrial automation demands high-performance sensorless control of induction motor (IM) drives. Elimination of mechanical sensors reduces cost, improves reliability in harsh environments, and simplifies the mechanical design. The core of any sensorless vector control scheme is an observer that reconstructs the rotor flux linkage vector and angular velocity from measurable stator voltages and currents [1]. The Extended Kalman Filter (EKF) provides statistically optimal state estimates under measurement noise and parametric uncertainty, making it a benchmark solution for sensorless drives [2]. Unlike open-loop voltage-model observers, the EKF adaptively tunes its gain matrix at each sampling instant, which is especially valuable during low-speed operation where classical observers suffer from integrator drift and stator resistance sensitivity [3].

The aim of this work is to develop and verify an EKF-based observer of rotor flux linkage and angular velocity for sensorless field-oriented control (FOC) of an induction motor drive, with emphasis on robustness against rotor resistance variation and low-speed performance.

Research objectives:

- formulate the nonlinear state-space model of the IM in the stationary reference frame;
- derive the discrete-time EKF algorithm with Jacobian matrices for the prediction–correction cycle;
- evaluate observer accuracy through MATLAB/Simulink simulation under transient conditions;
- analyse sensitivity to rotor time-constant mismatch and propose an adaptive compensation strategy.

Mathematical Model of the Induction Motor. The IM dynamics in the stationary (α – β) frame are described by five state equations [4]:

$$\begin{aligned}
\frac{di_{s\alpha}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\alpha} + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r T_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \psi_{r\beta} + \frac{u_{s\alpha}}{\sigma L_s}, \\
\frac{di_{s\beta}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\beta} - \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r T_r} \psi_{r\beta} + \frac{u_{s\beta}}{\sigma L_s}, \\
\frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\alpha} - \omega_r \psi_{r\beta}, \\
\frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} + \omega_r \psi_{r\alpha} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\beta}, \\
\frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{3pL_m}{2JL_r} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}) - \frac{T_l}{J},
\end{aligned}$$

where $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ are stator current components; $\psi_{r\alpha}$, $\psi_{r\beta}$ are rotor flux linkage components; ω_r is electrical angular velocity; R_s is stator resistance; L_s , L_r , L_m are stator, rotor and mutual inductances; $T_r = L_r/R_r$ is the rotor time constant; $\sigma = 1 - L_m^2/(L_s L_r)$ is the leakage factor; p is the number of pole pairs; J is inertia; T_l is load torque. The state vector is $x = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}, \psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}, \omega_r]^\top$ and the measurement vector is $y = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}]^\top$.

EKF Algorithm and Structure of the Sensorless Drive. The continuous model is discretized via first-order Euler method with sampling period T_s . At each k -th step the EKF executes a prediction–correction cycle [2, 5].

Prediction step:

$$\begin{aligned}
\hat{x}(k | k-1) &= \hat{x}(k-1 | k-1) + T_s \cdot f(\hat{x}(k-1 | k-1), u(k-1)) \\
P(k | k-1) &= F(k-1) \cdot P(k-1 | k-1) \cdot F^\top(k-1) + Q
\end{aligned}$$

Correction step:

$$\begin{aligned}
K(k) &= P(k | k-1) \cdot H^\top \cdot [H \cdot P(k | k-1) \cdot H^\top + R]^{-1} \\
\hat{x}(k | k) &= \hat{x}(k | k-1) + K(k) \cdot [y(k) - H \cdot \hat{x}(k | k-1)] \\
P(k | k) &= [I - K(k) \cdot H] \cdot P(k | k-1)
\end{aligned}$$

where $F(k) = I + T_s \cdot (\partial f / \partial x)$ is the 5×5 Jacobian, $H = [I_2 \mid 0_{2 \times 3}]$ extracts the stator currents, and Q and R are the process and measurement noise covariance matrices. The structural diagram of the sensorless FOC drive with EKF observer is presented in Figure 1.

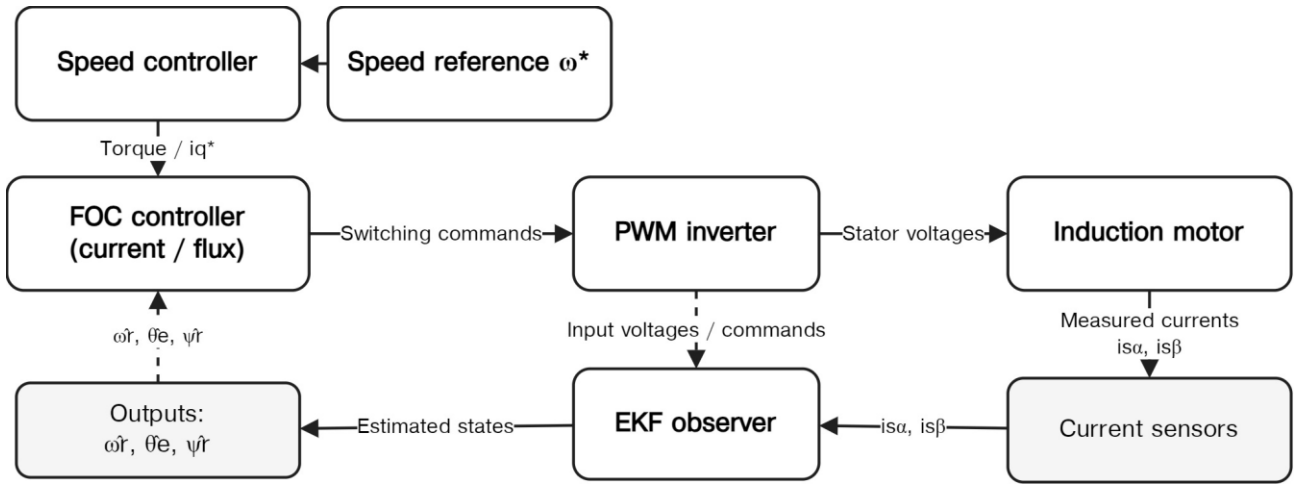


Figure 1 – Structural diagram of sensorless FOC drive with EKF observer

Simulation Results. The EKF observer was verified in MATLAB/Simulink for a 2.2 kW, 380 V, 50 Hz, 4-pole IM. The FOC structure used cascaded speed–current controllers with a PWM inverter at 10 kHz. The EKF sampling period was $T_s = 100 \mu s$.

Three scenarios were tested: (1) no-load start-up with rated load at $t = 0.5 s$; (2) speed reversal from $+100$ to $-100 rad/s$ at 50 % load; (3) low-speed operation at $5 rad/s$ with step load. In scenario (1), the flux estimate converged within 80 ms; steady-state speed error was below $0.3 rad/s$ (0.2 %). In scenario (2), the flux angle error stayed below 5° through zero speed, with torque pulsations under 8 %. In scenario (3), proper Q -matrix tuning reduced the speed error from 1.8 to $0.6 rad/s$.

Robustness was tested by mismatching T_r by $\pm 50 \%$. Under $+50 \%$ mismatch the flux error was 6.2 % and speed error $2.1 rad/s$; under -50% the values were 8.7 % and $3.4 rad/s$ respectively. To address this, the state vector was augmented with R_r as a sixth variable. The adaptive 6th-order EKF reduced errors to below 2 % (flux) and $0.8 rad/s$ (speed) across the full $\pm 50 \%$ variation range, at approximately 35 % additional computational cost.

Conclusions. The simulation study confirms the EKF effectiveness as a rotor flux linkage and speed observer for sensorless FOC of IM drives. The 5th-order EKF achieves speed accuracy better than 0.5 % in steady state and flux angle error below 5° during reversals. Sensitivity to rotor resistance mismatch is addressed by augmenting the state vector with R_r , yielding a 6th-order adaptive EKF with errors below 2 % across $\pm 50 \%$ parameter variation. Future work will focus on experimental validation on a DSP platform and extension to starting regimes.

References

1. Holtz J. *Sensorless Control of Induction Motor Drives*. *Proceedings of the IEEE*, 2002, vol. 90, no. 8, pp. 1359–1394. DOI: 10.1109/JPROC.2002.800726.
2. Barut M., Bogosyan S., Gokasan M. *Speed-Sensorless Estimation for Induction Motors Using Extended Kalman Filters*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, vol. 54, no. 1, pp. 272–280. DOI: 10.1109/TIE.2006.885123.
3. Shi K. L., Chan T. F., Wong Y. K., Ho S. L. *Speed Estimation of an Induction Motor Drive Using an Optimized Extended Kalman Filter*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002, vol. 49, no. 1, pp. 124–133.
4. Kliuiev O., Sadovoi O., Sokhina Y., Serhiienko S. *Kalman Filter as Part of a Relay-Vector System Control of Asynchronous Electric Drive*. In: *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 27–30 Sept. 2023. DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402448.
5. Texas Instruments. *TMS320F2837xD Dual-Core Real-Time Microcontrollers: Technical Reference Manual*. Literature No. SPRUHM8K. Revised May 2024.

Computer-Aided Analysis of Vibration Damping in Two-Mass Electric Drives Based on Resonant Electromechanical Interaction

Zadorozhnia I., Sheremet O.
Donbas State Engineering Academy

Industrial electric drives of rolling mills, CNC machine tools, and robotic manipulators exhibit two-mass dynamic behavior where elastic coupling between the motor and the load introduces resonant oscillations that degrade trajectory tracking and product quality [1, 2]. Conventional vibration suppression methods rely on state observers, notch filters, or model-based compensators requiring precise knowledge of mechanical parameters subject to operational variation [3].

An alternative approach based on the resonant electromechanical interaction (REMI) effect synthesizes controller parameters that exploit the natural resonant properties of the electromechanical system, enabling energy exchange between the motor and the elastic element for effective damping [4, 5]. Additional feedback loops from the elastic torque and angular velocity difference further expand the stability region [5, 6].

The aim of this work – to develop a computer-aided simulation environment for analyzing vibration damping in two-mass electric drives employing the REMI effect with additional feedback loops.

Research objectives:

- formulate the mathematical model of a two-mass drive with the REMI effect and additional feedback channels;
- develop a MATLAB/Simulink simulation framework for parametric analysis of transient process quality;
- investigate the influence of feedback parameters on oscillation damping and energy conversion efficiency.

Mathematical Model and Simulation Framework. The two-mass system consists of motor inertia J_1 connected to load inertia J_2 via a shaft with stiffness c_{12} and damping β_{12} . Under the REMI approach, the current loop bandwidth is tuned relative to the anti-resonance frequency so that the drive absorbs oscillation energy rather than exciting it [4]. The elastic moment feedback coefficient k_{el} and velocity difference feedback coefficient $k_{\Delta\omega}$ provide two supplementary damping channels modifying the characteristic equation [5, 6]. The functional diagram of the control system is shown in Figure 1.

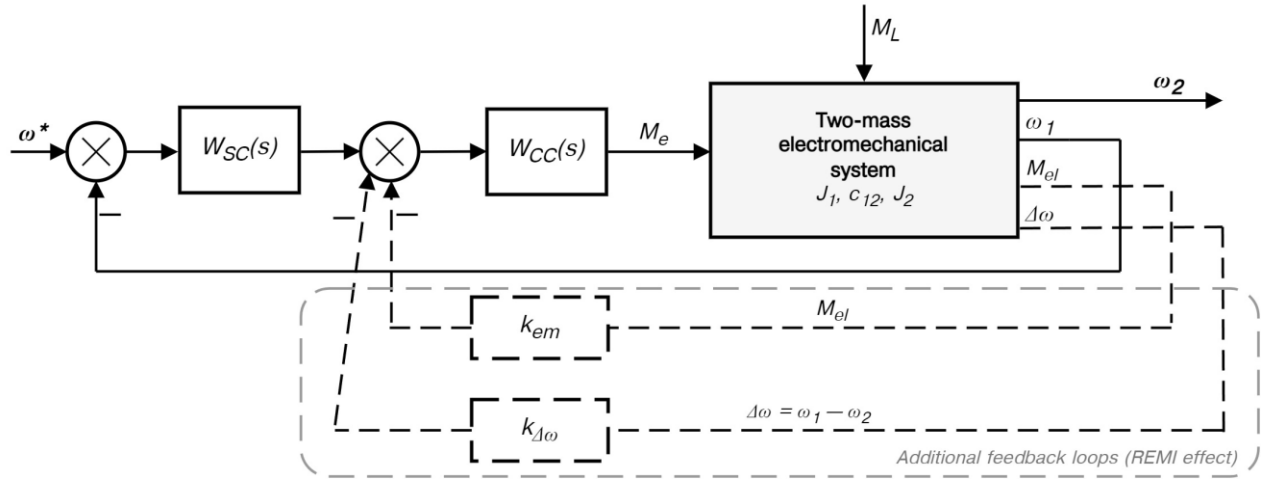


Figure 1 – Functional diagram of the two-mass electric drive with REMI-based additional feedback loops

In the diagram, the speed controller $W_sC(s)$ generates the torque reference from the speed error signal. The current controller $W_{CC}(s)$ with the power converter produces the electromagnetic torque M_e applied to J_1 . The summing junction before c_{12}/s computes the velocity difference $(\omega_1 - \omega_2)$, which is integrated to yield the elastic

moment M_{el} . Two additional feedback loops (dashed) return M_{el} through gain k_{el} and $\Delta\omega$ through gain $k\Delta\omega$ to the torque summing junction with negative sign, providing supplementary damping [5, 6].

A parametric simulation environment was implemented in MATLAB/Simulink for a 5.5 kW servo drive ($J_1 = 0.025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, $J_2 = 0.075 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, $c_{12} = 1200 \text{ N}\cdot\text{m/rad}$). The framework performs automated sweeps across k_{el} and $k\Delta\omega$, computing quality indicators: overshoot σ , settling time t_s , oscillation count, and integral energy losses in the elastic element. Results are visualized as 3D response surfaces [2, 6].

Simulation Results. Parametric simulation identified three regions: at low gains, overshoot exceeds 25% with settling times above 0.8 s; at moderate gains the REMI effect yields overshoot below 8% and settling time of 0.3–0.4 s; excessive gains degrade performance through noise amplification. Optimal REMI configurations reduce elastic element energy dissipation by 12–18 % compared to cascade control via regenerative redirection of oscillation energy. A 20 % variation in shaft stiffness shifts the optimal region by ≈ 15 %, confirming the need for adaptive tuning [5, 6].

The environment also enables visualization of power flows between the motor, shaft, and load, allowing quantitative comparison of feedback configurations by the ratio of useful load-side work to total energy consumed. This replaces time-consuming physical experiments with numerical sweeps completing within minutes [2, 4].

Conclusions. The developed environment enables comprehensive parametric analysis of vibration damping in two-mass drives utilizing the REMI effect. The approach with properly tuned elastic moment and velocity difference feedback achieves superior damping with 12–18% improvement in transient energy efficiency. The automated parameter sweep provides a practical commissioning tool. Future work will extend the model to three-mass systems and incorporate adaptive REMI tuning.

References

1. Szabat K., Orłowska-Kowalska T. *Vibration Suppression in a Two-Mass Drive System Using PI Speed Controller and Additional Feedbacks – Comparative Study*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, 54(2): 1193–1206.
2. Zadorozhnia I. M., Zadorozhnii M. O. *Aspects of Transient Process Quality Assessment in Electric Drives of Technological Machines with Electromechanical Interaction*. *Herald of Kherson National Technical University*, 2021, No. 2: 11–19.

3. Orlowska-Kowalska T., Szabat K. Control of the Drive System with Stiff and Elastic Couplings Using Adaptive Neuro-Fuzzy Approach. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, 54(1): 228–240.

4. Zadorozhnia I. M., Zadorozhnii M. O. Synthesis of Two-Mass Electric Drive Parameters Based on the Resonant Electromechanical Interaction Effect. *Herald of Kherson National Technical University*, 2023, No. 1: 18–24.

5. Zadorozhnia I. M., Zadorozhnii M. O. Analysis of Vibration Damping Conditions in a Two-Mass Electric Drive Based on the Resonant Electromechanical Interaction Effect with Additional Feedback Loops. *Herald of Kherson National Technical University*, 2024, No. 2(89): 20–26.

6. Zadorozhnia I. M., Zadorozhnii M. O. Improvement of Dynamics in Electric Drives under Additional Feedback Conditions in Realization of the Resonant Electromechanical Interaction Effect. *Herald of Kherson National Technical University*, 2025, No. 3(94), Vol. 1: 104–109.

Аналіз базової системи електроприводу насосної станції з метою підвищення економічної ефективності

Шеремет О. І., Жигулін А. М., Сирота М. В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Насосні станції належать до найбільш поширених і водночас найбільш енергоємних об'єктів інженерної інфраструктури. Вони забезпечують подачу та транспортування рідини у системах водопостачання, водовідведення, теплопостачання, а також у технологічних контурах промислових підприємств. За різними оцінками, на привод насосних агрегатів припадає від 20 до 25 % загального обсягу споживання електричної енергії в промислово розвинених країнах, що робить питання ефективності їхнього електроприводу надзвичайно актуальним [1, 2].

Мета роботи – огляд існуючих підходів до побудови системи електроприводу насосної станції та аналіз шляхів підвищення її економічної ефективності.

Задачі дослідження:

- аналіз базової схеми електроприводу насосної станції та виявлення її недоліків;
- огляд сучасних способів регулювання подачі насосних агрегатів;
- аналіз можливостей підвищення економічної ефективності шляхом впровадження частотно-регульованого електроприводу.

У переважній більшості діючих насосних станцій використовується базова схема електроприводу, що включає нерегульований асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, який працює безпосередньо від мережі змінного

струму на фіксованій швидкості обертання. Регулювання подачі рідини здійснюється механічним способом – зміною положення засувки або дросельних клапанів на напірному трубопроводі. Такий підхід має суттєвий недолік: частина енергії, яку розвиває насос, витрачається на подолання штучно створеного гідравлічного опору, тобто фактично перетворюється на тепло без виконання корисної роботи [3].

Проблема посилюється тим, що реальне навантаження насосних станцій має виражений змінний характер. Добовий графік водоспоживання типової міської мережі або промислового підприємства містить періоди пікового навантаження (ранкові та вечірні години), помірного споживання та нічні години зі зниженою витратою. В умовах нерегульованого приводу двигун працює на повній потужності протягом усієї зміни, а надлишкова подача гаситься дроселюванням, що призводить до значних перевитрат електроенергії [4].

Сучасна практика пропонує кілька альтернативних підходів до підвищення ефективності електроприводу насосних станцій, серед яких можна виділити три основних напрямки.

Частотне регулювання швидкості обертання. Найбільш поширеним рішенням є застосування перетворювачів частоти (ПЧ), які дозволяють плавно змінювати частоту живлення асинхронного двигуна і, відповідно, швидкість обертання робочого колеса насоса. Для відцентрових насосів, робочі характеристики яких підпорядковуються законам подібності [5], зниження швидкості обертання призводить до суттєвого зменшення споживаної потужності. Для насосних станцій зі змінним графіком навантаження економія електроенергії при переході на частотно-регульований електропривод (ЧРП) може становити від 30 до 50 % [3, 6]. Додатковими перевагами ЧРП є забезпечення плавного пуску двигуна, зниження пускових струмів, зменшення гідравлічних ударів у трубопроводній системі та продовження терміну служби механічного обладнання.

Каскадне керування групою насосних агрегатів. На великих насосних станціях, обладнаних кількома паралельно працюючими насосами, ефективним підходом є автоматичне вмикання та вимикання окремих агрегатів залежно від поточної потреби. Сучасні контролери дозволяють реалізувати каскадне керування, за якого кількість працюючих насосів відповідає фактичному навантаженню, а рівномірне напруження забезпечується ротацією ведучого агрегату. У поєднанні з частотним регулюванням одного або кількох насосів

каскадна схема дозволяє досягти високої точності підтримання заданого тиску в мережі при мінімальних енерговитратах [3].

Застосування інтелектуальних систем керування. PID-регулятори, вбудовані у сучасні перетворювачі частоти, забезпечують автоматичне підтримання заданого тиску або витрати. Перспективним напрямком є використання нечіткої логіки та нейромережевих алгоритмів для адаптивного керування, що враховує нелінійний характер гідравлічних процесів та дозволяє оптимізувати роботу системи за кількома критеріями одночасно – мінімізація енергоспоживання, забезпечення необхідного тиску та продовження ресурсу обладнання [7].

Окремо слід відзначити роль правильного вибору типу та потужності електродвигуна. На практиці поширеною є ситуація, коли встановлений двигун має надмірний запас потужності відносно фактичних умов експлуатації. Робота двигуна із завантаженням нижче 50–60 % від номінальної потужності призводить до зниження коефіцієнта потужності та ККД, що негативно впливає на загальну ефективність системи. Застосування двигунів підвищеного класу енергоефективності (IE3, IE4 за стандартом IEC 60034-30-1 [8]), а також оптимізація параметрів двигуна для роботи у складі регульованого приводу [4] є дієвими заходами енергозбереження.

Таким чином, базова система електроприводу насосної станції з нерегульованим асинхронним двигуном та дросельним регулюванням подачі є енергетично неефективною, особливо при змінному графіку навантаження. Перехід до частотно-регульованого електроприводу є найбільш доступним та економічно обґрунтованим рішенням, що забезпечує зниження енергоспоживання на 30–50 %, покращення якості регулювання та продовження терміну експлуатації обладнання. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із використанням інтелектуальних алгоритмів керування та інтеграцією насосних станцій у єдину систему диспетчеризації підприємства.

Література

1. Браславский И. Я., Ишиматов З. Ш., Поляков В. Н. *Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб. пособие для вузов; под ред. И. Я. Браславского. М. : Академия, 2004. 256 с.*
2. Онищенко Г. Б. *Электрический привод : учебник для вузов. М. : РАСХН, 2003. 320 с.*
3. Лезнов Б. С. *Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках. Энергоатомиздат, 2006. 360 с.*
4. Петрушин В. С. *Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе : учеб. пособие. Одесса : Наука и техника, 2006. 303 с.*
5. Зимницкий В. А., Каплун А. В., Папир А. Н., Умов В. А. *Лопастные насосы : справочник. Л. : Машиностроение, 1986. 334 с.*

6. Гльїнський М. Ф., Москаленко В. В. Електропривод: енерго- та ресурсозбереження : навч. Посібник. М. : Академія, 2008. 208 с.

7. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. Посібник. К. : Либідь, 2005. 680 с.

8. IEC 60034-30-1:2014. Rotating electrical machines. Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors. Geneva : IEC, 2014. 50 p.

Дослідження статичних властивостей релейної системи керування електроприводом

Дерець О. Л., Садовой О. В., Карачковський П. П.
Дніпровський державний технічний університет

Системи розв'язного керування допускають параметричну оптимізацію за швидкодією при одночасному структурному розв'язанні проблеми забезпечення астатизму. Це робить актуальним розвиток і впровадження новітніх методологій алгоритмічного синтезу [1] і структурної реалізації релейних систем. Імплементация астатичних алгоритмів керування потребує спостерегачів похідних, ефективність яких підтверджується окремими дослідженнями.

Розглянемо електромеханічну систему без редуктора, у якій керована координата ω є кутовою швидкістю валу двигуна, рівняння якої мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} p\omega &= \frac{c}{J}(i - i_c) \\ pi &= \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega}{L} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де i – струм якоря, $i_c = M_c / c$, $c = k\Phi$, M_c – момент опору, u – напруга якорного кола, ω – кутова швидкість, L, R – індуктивність та опір якорного кола, J – повний момент інерції, $p = d / dt$ – символ диференціювання за часом.

Замикання регуляторів гнучким зворотним зв'язком за прискоренням забезпечує інваріантність релейної системи до координатного збурення M_c . Каскадно-підпорядкована структура релейної системи описується рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} u_{R\omega} &= \varepsilon^* = \varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\varepsilon} &= u^* = u_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $u_{R\omega}, u_{R\varepsilon}$ – вихідні величини регуляторів швидкості та прискорення $R_{\omega}, R_{\varepsilon}$, що мають зміст заданих значень прискорення та напруги двигуна ε^*, u^* .

Рівні обмеження $u_{max}, \varepsilon_{max}$ в (2) призначаються згідно з технічними характеристиками перетворювача, а задача параметричного синтезу полягає у визначенні коефіцієнта $K_{\omega\varepsilon}$ і розв'язується методом N-і перемикачів.

На рис. 1 наведено часові діаграми системи (1), (2) зі спостерігачем прискорення в умовах дії збурення $i_c = i_n \sin 2\pi t$. Спостерігається похибка регулювання $\Delta\omega$ з амплітудою близько 0,005 % від номінальної швидкості ω_n , яка складається з високочастотних флуктуацій відносно нуля. Коливання похибки зумовлені неідеальністю ковзних режимів. За результатом цього експерименту систему можна характеризувати як астатичну за збуренням.

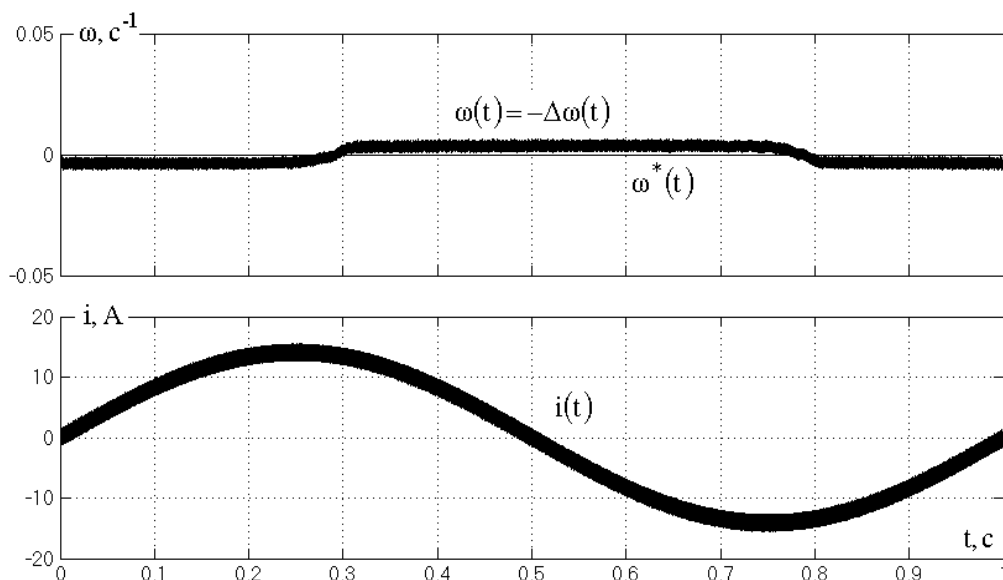


Рисунок 1 – Реакція релейної системи керування електроприводом на момент опору, що змінюється в часі за гармонічним законом

Але для стеження за довільно змінюваною швидкістю система, замкнута за прискоренням, є структурно недостатньою. На рис. 2 наведено часові діаграми цієї системи при відпрацюванні заданої швидкості $\omega^* = 40 \sin 2\pi t$. Після захоплення системою заданої траєкторії при $t > 0,11c$ виникає квазіусталений

режим, у якому спостерігається гармонічна похибка регулювання швидкості з амплітудою близько 1 % від ω_n . Моделювання здійснено без врахування сил опору, тобто підкреслює втрату астатизму саме за задавальним впливом.

Введення в рівняння ковзання регулятора швидкості похідної похибки регулювання є структурним розв'язком описаної вище проблеми (рис. 3). Після захоплення системою заданої траєкторії при $t > 0,11\text{с}$ спостерігається гармонічна похибка регулювання швидкості з амплітудою близько 0,006 % від номінальної швидкості ω_n . У порівнянні з рис. 2 крива $\Delta\omega(t)$ втратила характер гармонічної функції і набула характеру малих флуктуацій відносно нуля, зумовлених неідеальністю ковзних режимів. Відзначимо, що моделювання здійснено з урахуванням реактивного моменту опору, який має амплітуду $0,2M_n$ і змінюється за знаком при переходах швидкості через нуль. Це дозволяє характеризувати останню структуру як астатичну за завданням та збуренням одночасно.

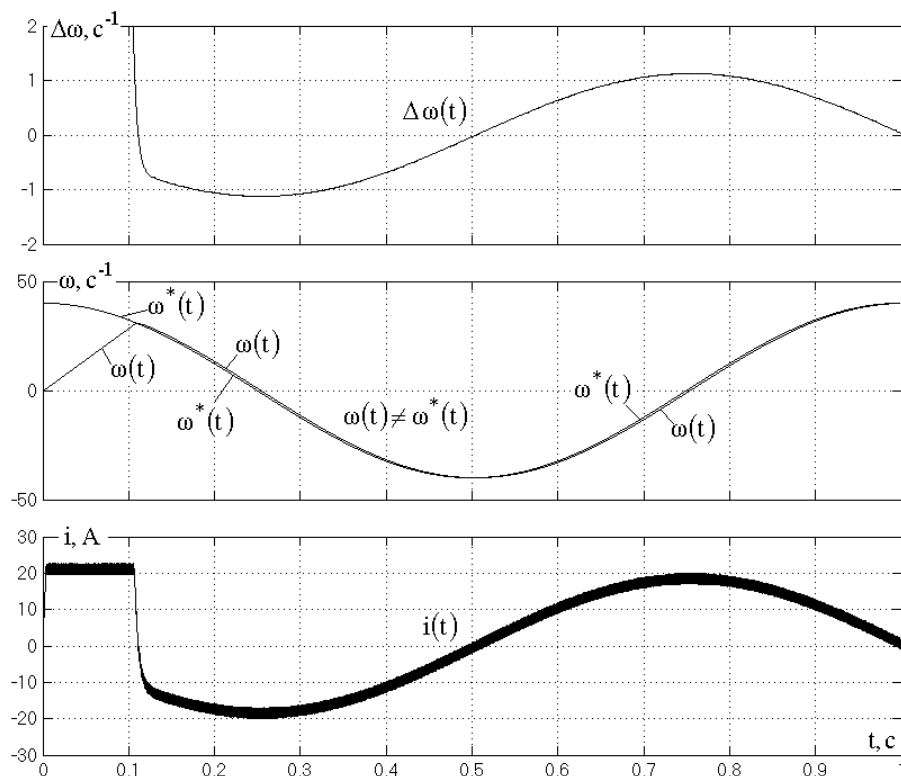


Рисунок 2 – Динаміка електропривода зі зворотним зв'язком за прискоренням

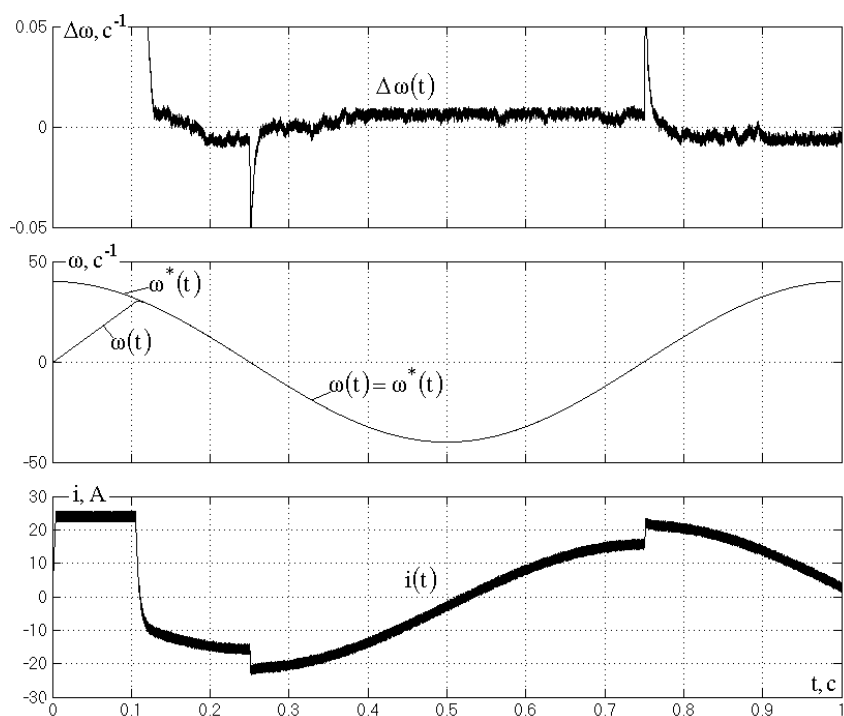


Рисунок 3 – Динаміка електропривода зі зворотним зв'язком за похідною похибки регулювання в умовах дії реактивного моменту опору

Література

1. Дерещ О. Л., Садовой О. В. Метод $N-i$ перемикань у задачах оптимізації за швидкодією : монографія. Кам'янське : ДДТУ. 2021. 252 с.

Спостерігач похідних з релейним керуванням для стежних електроприводів

Дерещ О. Л., Садовой О. В., Костенко В. І.
Дніпровський державний технічний університет

Релейні автоматичні системи керування електроприводом зі зворотними зв'язками за $N-1$ старшими похідними похибки керування забезпечують астатизм при відтворенні задавальних впливів будь-якої форми й інваріантність до координатних і параметричних збурень. Для захищеного від перешкод диференціювання сигналів застосовуються спостерігачі [1], які при використанні релейних регуляторів здатні забезпечити найвищу точність обчислення похідних. Динаміка електропривода описується рівняннями

$$\left. \begin{aligned} p\varphi = \omega, \quad p\omega = \varepsilon = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot (i - i_c) \\ p\varepsilon = a = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega / k_p}{L} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $\varepsilon, \omega, \varphi, a$ – кутові прискорення, швидкість, положення та ривок робочого органу, u, i – напруга та струм якiрного кола, i_c – статичний струм.

Згiдно з методом $N-i$ перемикачiв [1], оптимальне за швидкодiєю керування електроприводом (1) здiйснює каскад релейних регуляторiв:

$$\left. \begin{aligned} u_{R\varphi} = \omega^* &= -\omega_{max} \cdot \text{sign}(\varphi - \varphi^* + K_{\varphi\omega} \cdot \omega + K_{\varphi\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\omega} = \varepsilon^* &= -\varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega - \omega^* + K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\varepsilon} = u^* &= -u_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon - \varepsilon^*) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $K_{\varphi\omega}, K_{\varphi\varepsilon}, K_{\omega\varepsilon}$ — коефiцiєнти зворотних зв'язкiв; заданi значення мають позначку "*"; рiвнi обмеження координат позначено iндексами «max».

Релейнi спостерiгачi похiдних положення повного порядку являють собою стежну релейну систему керування, заданим значенням для якої є поточне положення робочого органу електропривода $\varphi^* = \varphi$. Об'єктом керування є каскад з N iнтегруючих ланок, координати яких позначимо $\phi, \omega, \varepsilon$, де символ "^" вказує на приналежнiсть до спостерiгача. Алгоритм системи керування диференцiатором має вигляд:

$$p\phi = \omega, \quad p\omega = \varepsilon, \quad p\varepsilon = a, \quad \dot{s} = \phi - \phi - K_{\varphi\omega} \omega - K_{\varphi\varepsilon} \varepsilon, \quad a = a_{max} \cdot \text{sign}\left(\frac{\dot{s}}{s}\right), \quad (3)$$

де $\dot{s}$ – функцiя перемикачання регулятора $\dot{R}$, a_{max} – амплiтуда сигналу керування, $K_{\varphi\omega}, K_{\varphi\varepsilon}$ – коефiцiєнти зворотних зв'язкiв.

Релейний регулятор $\dot{R}$ такого спостерiгача в ковзному режимi пiдтримує рiвнiсть реальної й обчисленої координат φ i ϕ . При цьому величини ω, ε дорiвнюють вiдповiдним похiдним $p\varphi, p^2\varphi$ вихiдної координати й можуть бути використанi в системi керування електроприводом (1), (2) як сигнали гнучких

зворотних зв'язків ω , ε . Власні перехідні процеси спостерігачів повинні бути вкрай обмеженими у часі, що неможливо забезпечити збільшенням амплітуди сигналу керування.

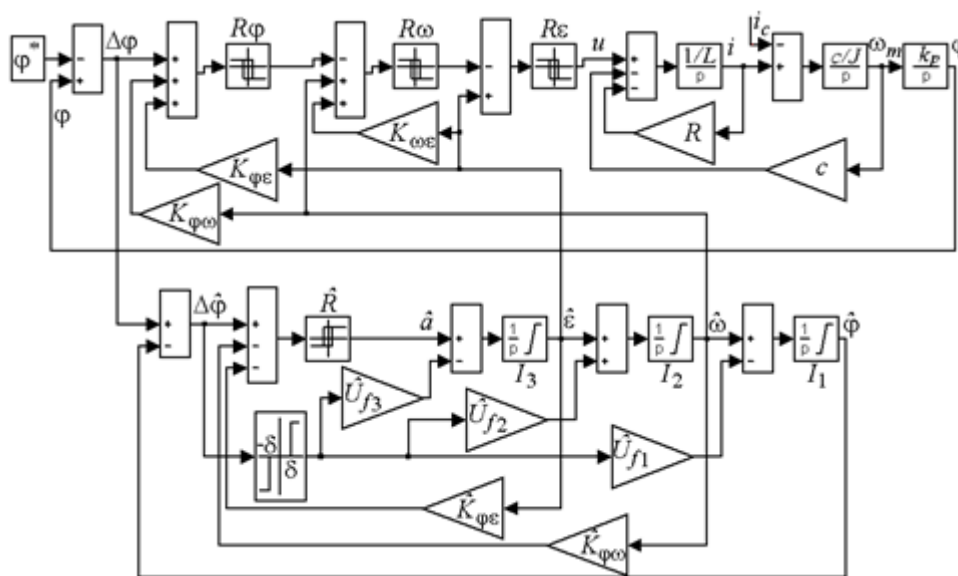


Рисунок 1 – Структура системи керування стежним електроприводом з форсованим обчислювачем похідних

Введення форсувального кола (рис. 1) забезпечує радикальне скорочення тривалості перехідних процесів спостерігача. На входи інтеграторів релейним елементом подаються сигнали $\dot{u}f_i = (-1)^i \cdot \dot{u}f_i$, де i – номер інтегратора починаючи з вихідного. Вони прискорюють протікання перехідних процесів спостерігача (ділянка а-б, рис. 2), а потім повністю відключаються перед входженням регулятора $\dot{R}$ у ковзний режим, коли неузгодженість виміряної похибки регулювання $\Delta\phi$ та її обчисленого еквівалента $\dot{\phi}$ входить в межі $\pm\delta$ (ділянка б-0, рис. 2), тобто коли починається власний перехідний процес спостерігача. При такому підході відпадає необхідність надмірного підвищення амплітуди керування й частоти ковзання спостерігача.

Структурне розв'язання задачі мінімізації часу збіжності перехідних процесів спостерігачів похідних за допомогою форсувального кола забезпечує узгодження динаміки спостережних пристроїв і електропривода шляхом

розділення в часі моментів виникнення ковзних режимів регуляторів основної та допоміжної систем керування. Синтезована методом перемикачів система підпорядкованого керування, структура якої наведена на рис. 1, забезпечує оптимальний за швидкодією процес захоплення траєкторії в умовах обмеження проміжних координат (рис. 3). Результати дослідження форсованих диференціаторів у складі стежних електроприводів [2] підтверджують високу ефективність запропонованого структурного підходу до оптимізації за швидкодією спостережних пристроїв з релейним керуванням.

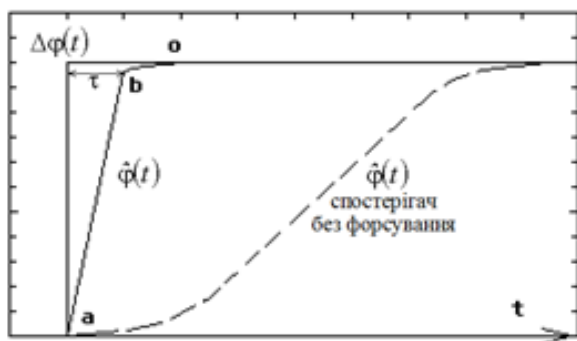


Рисунок 2 – Дія форсувального кола

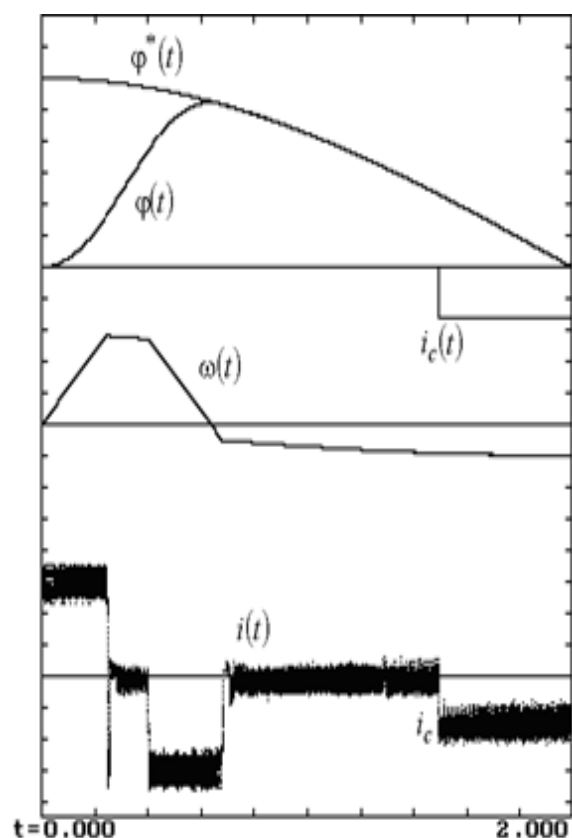


Рисунок 3 – Перехідні процеси системи керування стежним електроприводом

Література

1. Дерезь О. Л., Садовой О. В. Метод N-і перемикачів у задачах оптимізації за швидкодією: монографія. Кам'янське : ДДТУ. 2021. 252 с.
2. Дерезь О. Л., Садовой О. В., Дерезь С. О., Патинка Д. І. Структурна оптимізація за швидкодією спостерігачів похідних з релейним керуванням для стежних електроприводів. Збірник наукових праць ДДТУ. Кам'янське: ДДТУ. 2024. Вип. 1 (44). С. 109–115.

Актуальні питання щодо впливу на властивості електромеханічних систем режимів роботи асинхронного електродвигуна

Кечко А. В., Задорожня І. М.

Донбаська державна машинобудівна академія

Режими роботи асинхронних двигунів (АД) є визначальним фактором, що формує ключові властивості електромеханічних систем (ЕМС). Для забезпечення сучасних вимог до енергоефективності та динаміки необхідним є перехід від традиційних методів до перспективних систем частотного керування, які системи дозволяють реалізувати роздільне, високодинамічне та адаптивне керування моментом і потоком двигуна.

Сталий режим роботи АД у сучасних системах приводу аналізується за допомогою схеми заміщення та векторних діаграм. Ключовою залежністю, що описує стан системи, є векторний зв'язок між струмом статора, його намагнічувальною складовою та наведеним струмом ротора. Параметри схеми заміщення безпосередньо впливають на розподіл цих струмів, що, своєю чергою, визначає енергетичні показники ЕМС [1].

Одним із головних завдань при експлуатації ЕМС є вибір критерію оптимізації роботи двигуна. Розглянемо два базові підходи в цьому контексті:

1. Мінімізація відношення «струм статора/момент».

Режим спрямований на забезпечення заданого моменту при найменшому можливому струмі статора, а умовою його досягнення є оптимальний кут відхилення векторів струму та потокозчеплення, при цьому перевагою виступає зниження струму в ланці постійного струму перетворювача та мінімізація втрат у зовнішніх живильних лініях.

2. Мінімізація втрат в обмотках.

Режим фокусується на забезпеченні мінімальних сумарних змінних втрат у міді статора та ротора за умови сталого моменту та швидкості, при цьому оптимальний кут між векторами становить приблизно 39° .

Порівняльна характеристика впливу режимів на властивості системи свідчить про суттєву різницю у властивостях ЕМС залежно від налаштувань:

– при однакових моментах $M = M_C$ та швидкості двигуна $\omega = \omega_C$ при реалізації режиму I_{1min} жорсткість механічної характеристики менше, а частота струму статора та ротора більше, ніж під час реалізації режиму ΔP_{min} ;

– при однаковій швидкості двигуна та однаковому статичному моменті режим найменшого значення струму статора I_{1min} у порівнянні з режимом найменших втрат в обмотках двигуна – ΔP_{min} , характеризується меншим значенням струму статора, більшою частотою струму статора, більшим ковзанням, великим значенням струму ротора та невеликим зростанням сумарних втрат у двигуні.

У той же час, у випадку другого режиму внаслідок зниження споживаного з мережі струму, зменшуються втрати у зовнішньому ланцюзі, що живить двигун. Це важливо у разі живлення двигуна по довгій кабельній лінії.

Оптимальний режим роботи АД при неповному статичному навантаженні на валу двигуна, коли $M_C < M_H$.

При номінальному струмі статора та оптимальному куті $\varphi_0' = 45^\circ$ магнітна система знаходиться поблизу коліна кривої намагнічування. При пуску АД момент практично завжди більше номінального значення, при цьому струм статора більший за номінальний і двигун знаходиться у насиченні. Підтримка кута $\varphi_0' = 45^\circ$ при $M_{пуск} > M_H$ призведе до перенасичення магнітного ланцюга двигуна, що неприпустимо, тому у пусковому режимі $\varphi_0' > 45^\circ$.

Вибір режиму роботи АД безпосередньо трансформує властивості всієї ЕМС. Перехід до адаптивного частотного керування дозволяє гнучко змінювати пріоритети – від максимального енергозбереження в обмотках двигуна до мінімізації навантаження на перетворювальну техніку та зовнішні мережі, забезпечуючи при цьому стійку роботу ЕМС у всьому діапазоні навантажень.

Література

1. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. навч. посібник. За ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. К. : Либідь, 2005. 680 с.

РОЗДІЛ 12.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТІ

Розробка та впровадження інтелектуальних тьюторських систем для вивчення технічних дисциплін

Подлєсний С. В., Шеремет О. І.
Донбаська державна машинобудівна академія

Технічна освіта вимагає глибокого засвоєння складних абстрактних понять і математичних моделей. Однак традиційні форми навчання часто не враховують індивідуальних особливостей студентів, що призводить до зниження мотивації та нерівномірності успішності. Сучасні технології штучного інтелекту відкривають можливості для створення інтелектуальних систем, які здатні адаптувати навчальний процес до потреб кожного здобувача освіти. Такі системи виконують роль цифрового тьютора, що в реальному часі аналізує дії студента, коригує складність завдань та пропонує рекомендації з урахуванням типових помилок [1], [2]. Проблема полягає у розробці методології та архітектури ІТС, здатної ефективно функціонувати в контексті технічних дисциплін, де домінують формальні знання, алгоритмічні підходи та точність розрахунків. Крім того, існує потреба у подоланні таких викликів, як масштабованість системи, її інтеграція з існуючими LMS (Learning Management Systems), забезпечення коректності генеративного контенту та усунення ризику «навчання» системи на упереджених даних.

Метою дослідження є формування цілісної концепції інтелектуальної тьюторської системи для технічних дисциплін. У рамках дослідження проведено аналіз сучасних підходів до побудови ІТС у галузі технічної освіти [1]. Визначено основні структурні компоненти системи --- модуль предметної області, модель студента та педагогічний стратег, а також встановлено їх взаємозв'язки [3]. Особлива увага приділена проблемі забезпечення формальної точності під час роботи з технічними даними, оскільки навіть незначні похибки у формулюванні або розрахунках можуть привести до спотворення результатів. Крім того, розроблено базові принципи впровадження ІТС у навчальний процес із метою

оптимізації взаємодії між студентом та викладачем. Для досягнення цієї мети було вирішено низку конкретних завдань:

1. Проаналізовано та класифіковано типові труднощі студентів технічних спеціальностей (наприклад, розуміння теореми Перрена-Фробеніуса в теорії матриць або застосування закону Кірхгофа в електротехніці).

2. Розроблено шаблон онтології предметної області для формалізації знань, що дозволяє уніфікувати процес створення контенту для різних дисциплін.

3. Запропоновано модель оцінки ефективності ІТС, що включає як традиційні метрики (успішність, успішність), так і якісні показники (рівень залучення, зростання самостійності).

4. Сформовано рекомендації щодо інтеграції ІТС з симуляторами та віртуальними лабораторіями для формування практичних навичок.

Розроблена концептуальна модель ІТС включає три взаємопов'язані модулі.

Модуль предметної області (Domain Module) є фундаментом системи. Він забезпечує формалізоване подання знань через онтології, що описують ключові поняття дисципліни, їхні атрибути та семантичні взаємозв'язки. Наприклад, в онтології з теорії автоматичного керування поняття "передатна функція" буде пов'язане з "полюсами та нулями", "стійкістю системи" та "частотними характеристиками". Це дозволяє системі не лише відтворювати фрагменти навчального матеріалу, а й будувати логічні зв'язки між темами, генерувати зв'язні пояснення та виявляти прогалини в розумінні студента [2]. Для забезпечення точності цей модуль інтегрується з базами знань, математичними рушіями (на кшталт SymPy або Wolfram Alpha) та базами типових помилок, що дозволяє перевіряти коректність розв'язків на всіх етапах.

Модель студента (Student Model) є динамічним ядром системи, що формує індивідуальний профіль користувача. Цей профіль не обмежується історією правильних/неправильних відповідей. Він включає такі параметри, як:

- Глибина знань: Рівень засвоєння окремих концепцій (від знайомства до автоматизму).

- Стиль навчання: Перевага до візуальних, аудіальних чи кінестетичних пояснень.
- Когнітивні характеристики: Швидкість реакції, схильність до певного типу помилок (наприклад, обчислювальних чи концептуальних).
- Мета-когнітивні навички: Здатність студента планувати свою навчальну діяльність та оцінювати власний прогрес.

Модель постійно оновлюється на основі аналізу всіх взаємодій: часу, витраченого на завдання, послідовності дій у симуляторі, характеру запитів до системи допомоги. На основі цих даних система динамічно змінює складність завдань, формує персоналізовані рекомендації та пропонує коригувальні вправи.

Модуль педагогічного стратега (Pedagogical Module) реалізує інтелект системи. Він використовує алгоритми прийняття рішень (від простих правил «якщо-то» до складних методів машинного навчання, таких як навчання з підкріпленням), щоб визначити оптимальну навчальну траєкторію для кожного студента. Цей модуль вирішує, коли представити нову тему, коли повернутися до пройденого матеріалу, який тип контенту (теоретичне пояснення, відео, інтерактивна вправа) буде найефективнішим у даний момент, та яку форму зворотного зв'язку надати. Зворотний зв'язок від ІТС є адаптивним і конструктивним: замість простої оцінки «правильно/неправильно» система може вказати на конкретний крок у розв'язку задачі, де була допущена помилка, і запропонувати ланцюжок навідних питань для самостійного усвідомлення помилки.

Система підтримує інтерактивну взаємодію через графічні інтерфейси, симулятори та мультимедійні матеріали, що особливо важливо для пояснення складних технічних понять, таких як перехідні процеси в електричних колах або принцип роботи обертових машин. Використання генеративного штучного інтелекту (на основі великих мовних моделей, адаптованих для технічних дисциплін) дозволяє створювати варіативні, унікальні завдання, уникаючи шаблонності й сприяючи розвитку критичного мислення [4]. Наприклад, для перевірки розуміння закону Ома система може згенерувати сотні контекстно-базованих задач з різними параметрами елементів кола.

Важливим аспектом є забезпечення об'єктивності оцінювання, яке ґрунтується на автоматичному аналізі рішень і послідовності дій студента, а не лише на кінцевих відповідях. Таким чином, ІТС виступає не заміною викладача, а його інтелектуальним помічником, що забезпечує персоналізований навчальний досвід і стимулює самостійність здобувачів освіти, звільняючи викладача для творчої роботи та індивідуальних консультацій з найскладнішими питаннями.

Впровадження ІТС у реальний освітній процес супроводжується низкою практичних та етичних питань. З технічного боку, постає завдання інтеграції з існуючою інфраструктурою ВНЗ (електронні журнали, системи плагіату). Критично важливою є проблема якості даних для навчання моделей: онтології повинні бути побудовані експертами-предметниками, а історичні дані про успішність студентів мають бути ретельно очищені від упереджень.

З етичної точки зору, необхідно вирішити питання прозорості алгоритмів («чорний ящик»). Студент і викладач повинні розуміти, на підставі чого система приймає ті чи інші педагогічні рішення. Також гостро постає проблема конфіденційності даних. Індивідуальні профілі студентів, що містять детальну інформацію про їхні сильні та слабкі сторони, мають бути надійно захищені. Не менш важливим є забезпечення справедливості системи – алгоритми не повинні упереджено ставитися до студентів через їхню стать, культурне походження чи інші демографічні ознаки, що вимагає ретельного тестування та аудиту моделей.

Інтелектуальні тьюторські системи є перспективним напрямом розвитку технічної освіти. Їх застосування дозволяє створити адаптивне освітнє середовище, у якому навчання здійснюється відповідно до індивідуальних потреб кожного студента. Запропонована архітектура ІТС поєднує формальну точність технічних дисциплін із гнучкістю сучасних технологій штучного інтелекту, що робить можливим ефективне засвоєння знань і розвиток практичних навичок. Реалізація таких систем дозволяє перейти від пасивного сприйняття інформації до активного, дієвого навчання, де студент постійно взаємодіє з інтелектуальним середовищем.

Разом із тим, подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення механізмів розпізнавання відкритих відповідей та природномовних пояснень студентів, інтеграцію VR/AR технологій для створення імерсивних навчальних симуляцій та створення гібридних систем, здатних до емоційно-чутливої взаємодії з користувачем [1], [4]. Крім того, актуальним залишається питання розробки стандартів та протоколів для обміну даними між різними ІТС, що сприятиме створенню відкритого освітнього простору. Таким чином, розвиток інтелектуальних тьюторських систем відкриває нові можливості для індивідуалізації навчання та підвищення ефективності підготовки майбутніх інженерів, роблячи технічну освіту більш доступною, гнучкою та результативною.

Література

1. Chen, L., & Chen, P. (2023). *Artificial Intelligence in Education: A Review of Intelligent Tutoring Systems*. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(2), 345-362. DOI: 10.1109/TLT.2022.3215678.
2. Wang, H., & Li, T. (2022). *Generative AI for Personalized Learning Paths in Engineering Education*. *Computers & Education*, 189, 104602. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104602.
3. Kumar, A., & Singh, P. (2023). *Challenges in Implementing AI-Based Tutoring Systems for STEM Education*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(4), 891-915. DOI: 10.1007/s40593-023-00356-1.
4. *European Journal of Engineering Education* (2024). *Special Issue: Digital Transformation in Technical Education*, 49(1), 1-150. DOI: 10.1080/03043797.2024.1834567.

Application of artificial intelligence for automation of student performance assessment and analysis

Podliesnyi S. V., Sheremet O. I.
Donbas State Engineering Academy

The contemporary educational landscape is undergoing a profound digital transformation, characterized by an exponential growth in data generated from student activities. This includes digital assignments, online test results, forum discussions, and intricate behavioral patterns captured within Learning Management Systems (LMS). Concurrently, the field of artificial intelligence is witnessing unprecedented

advancements, particularly in machine learning, deep learning, and the emergence of sophisticated large language models (LLMs). This technological synergy presents a compelling opportunity to automate one of the most labor-intensive aspects of education: the assessment and nuanced analysis of student learning achievements. The potential benefits are substantial, promising scalability, immediate feedback, personalized learning paths, and predictive analytics to identify at-risk students early on. However, the integration of these AI-driven systems is not a panacea and introduces a complex array of formidable challenges. As critically analyzed by Bulut et al. (2024) [1], the rapid adoption of AI in educational measurement brings to the forefront significant ethical challenges and risks undermining the foundational principles of validity and reliability, particularly when algorithmic decisions lack transparency. A central problem lies in the potential compromise of assessment validity and reliability, where automated systems may prioritize superficial textual features over deep conceptual understanding, critical thinking, and originality. Furthermore, the "black-box" nature of many advanced AI models creates a crisis of interpretability, undermining trust and making it difficult for educators and students to understand the rationale behind an assigned grade or feedback. This is compounded by the pervasive risk of algorithmic bias, where models trained on non-representative data can perpetuate or even amplify existing disparities, unfairly disadvantaging students based on demographic or socio-economic factors. The emergence of Generative AI further complicates this landscape. Stokkink et al. (2025) [6] argue that traditional assessment methods must be fundamentally re-evaluated in light of LLMs, prompting a necessary alignment between learning objectives and revised assessment strategies that either leverage or control for AI use. Additional concerns encompass the erosion of academic integrity in the age of generative AI, significant ethical and legal questions regarding data privacy and accountability for erroneous assessments, and the practical difficulties of integrating complex AI tools into existing educational infrastructures and pedagogical practices. Therefore, the core problem is the critical need to bridge the gap between the demonstrable potential of AI in educational assessment and the mitigation

of its significant risks, requiring the development of robust, fair, transparent, and pedagogically sound frameworks for its implementation.

To systematically address the outlined problem, this research undertook a multifaceted investigation, solving a series of interconnected tasks. The primary task involved conducting a comprehensive and systematic review of contemporary scientific literature (2020-2025) to identify and analyze the most prominent AI approaches and technologies being deployed for automating assessment. This effort aligns with and builds upon prior large-scale reviews in the field, such as the work of Crompton & Burke (2023) [5], who mapped the state of AI in higher education, and the more recent synthesis by Luo et al. (2025) [4], which specifically focused on the design and assessment of AI-based learning tools. This included a detailed examination of Automated Essay Scoring (AES) systems, predictive modeling for student performance and dropout risk, and innovative methods for generating adaptive, personalized feedback. The second major task was to systematize the critical methodological aspects underpinning the design of these AI systems. This involved a thorough investigation into best practices for data collection and feature engineering from diverse educational sources, the selection and training of appropriate algorithmic models, and the establishment of rigorous evaluation metrics and validation protocols to ensure quality, fairness, and generalizability. The third task focused on moving from theory to practice by collecting and analyzing empirical evidence from real-world case studies and pilot implementations, such as the AI Assessment Scale (AIAS) by Furze et al. (2024) [3] and the multi-agent AutoFeedback system by Guo et al. (2024) [2], to critically assess their tangible outcomes, benefits, and limitations. The fourth task was to identify, categorize, and analyze the full spectrum of risks and ethical challenges, from data limitations and model opacity to issues of academic misconduct and legal liability. The final and synthesizing task was to translate the findings from the previous tasks into actionable intelligence: formulating a set of concrete, practical recommendations for educational practitioners, instructional designers, and software developers, and delineating a clear roadmap for future scientific inquiry in this rapidly evolving field.

This research provides a holistic and in-depth examination of the application of artificial intelligence to automate and enhance the assessment and analysis of student learning achievements. At its core, the study delves into the operational mechanics and pedagogical implications of key AI-driven domains. In the realm of predictive analytics, the study incorporates findings from systematic reviews, such as the one by Rahman et al. (2025) [7], which analyzed machine learning trends for predicting student performance, and empirical works like that of Borna et al. (2024) [8], who demonstrated the efficacy of using clickstream data with models like Random Forest and XGBoost for early risk identification. Regarding automated feedback, a critical component of modern assessment, the research highlights innovative architectures like the multi-agent system AutoFeedback by Guo et al. (2024) [2], designed to enhance the quality and reduce hallucinations in AI-generated feedback, while also considering the broader challenges in feedback delivery explored by Venter et al. (2025) [9]. The investigation meticulously dissects the architectural frameworks of these systems, exploring the entire pipeline from multimodal data acquisition and preprocessing to the deployment and continuous monitoring of machine learning models. The essence of the research is further solidified by a critical analysis of concrete empirical evidence, illustrating how structured frameworks like the AI Assessment Scale (AIAS) by Furze et al. (2024) [3] can successfully regulate GenAI use to bolster honesty and performance. A substantial portion of the research is dedicated to a candid and critical discussion of the inherent limitations and multifaceted risks. It highlights the persistent challenge of ensuring that AI assessments truly measure intended learning competencies rather than learnable superficial patterns, the ethical imperative to conduct regular bias audits to protect vulnerable student populations, and the operational hurdles related to computational costs, system integration, and faculty training. Synthesizing these insights, the research posits that the most viable path forward is the adoption of a human-centric, hybrid intelligence paradigm.

The findings of this research lead to several definitive conclusions. Firstly, artificial intelligence possesses a transformative potential to revolutionize educational assessment by introducing unprecedented levels of efficiency, scalability, and

personalization, thereby alleviating the administrative burden on educators and providing students with more immediate and granular insights into their learning progress. Technologies ranging from classic machine learning algorithms to advanced generative models are already demonstrating tangible successes in automating routine grading, predicting student outcomes, and powering interactive feedback systems. However, and crucially, the successful and responsible integration of these technologies is entirely contingent upon the proactive and systematic addressing of their associated challenges. The journey toward trustworthy AI in education necessitates a steadfast commitment to developing interpretable and explainable models, implementing robust and continuous fairness checks to mitigate algorithmic bias, ensuring strict adherence to data protection regulations, and, above all, aligning AI tools with sound pedagogical principles and intended learning outcomes. The cornerstone of effective implementation is a hybrid approach that strategically blends automated efficiency with irreplaceable human expertise and oversight. For the future, the research underscores the critical importance of sustained interdisciplinary collaboration among educators, data scientists, ethicists, and policymakers. Promising research trajectories include the development of sophisticated multimodal assessment systems capable of evaluating diverse artifacts like code and multimedia projects, advancing few-shot and transfer learning techniques to adapt models across disciplines with minimal data, and conducting longitudinal studies to understand the long-term impact of AI-assisted assessment on the development of deep cognitive skills, creativity, and student motivation. Ultimately, AI should be conceptualized not as an autonomous assessor, but as a powerful augmentative tool that, when carefully designed and ethically deployed, can empower educators and enhance educational outcomes for all students.

References

1. Bulut O. et al. *The Rise of Artificial Intelligence in Educational Measurement*. arXiv preprint, 2024.
2. Stokkink P. et al. *The Impact of AI on Educational Assessment*. arXiv, 2025.
3. Crompton H., Burke D. *Artificial intelligence in higher education*. IJETHE, 2023.
4. Luo J. et al. *Design and assessment of AI-based learning tools in higher education*. IJETHE, 2025.

5. Furze L. et al. *The AI Assessment Scale (AIAS)*. arXiv, 2024.
6. Guo S. et al. *Using Generative AI and Multi-Agents to Provide Automatic Feedback*. arXiv, 2024.
7. Rahman N.F.A. et al. *Machine Learning for Predicting Student Performance*. JARASET, 2025.
8. Borna M.R. et al. *Analyzing click data with AI: implications for student performance*. *Frontiers in Education*, 2024.
9. Venter J. et al. *Exploring the use of artificial intelligence in the delivery of feedback*. *Studies in Higher Education*, 2025.

**Методичні підходи до викладання дисципліни
«Системотехніка та архітектура комп'ютерів» з використанням
моделювання комп'ютерних систем**

Міхєєнко Д. Ю.

Донбаська державна машинобудівна академія

Дисципліна «Системотехніка та архітектура комп'ютерів» є фундаментальною для підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій, комп'ютерної інженерії та програмної інженерії. Вона охоплює принципи побудови цифрових схем, організацію процесорів, пам'яті, шин, вводу/виводу та сучасні архітектурні рішення (конвеєризація, паралелізм, багатоядерність тощо). Традиційне теоретичне викладання часто виявляється недостатнім, оскільки абстрактні поняття (логічні елементи, суматори, тригери, datapath, control unit) важко уявити без візуалізації. Саме тому моделювання комп'ютерних систем стає ключовим методичним підходом, що поєднує теорію з практикою [1, 2].

Ефективне викладання дисципліни базується на комплексі сучасних підходів. Центральне місце посідає поєднання теорії та практики у форматі blended learning: лекції присвячені математичним основам (булева алгебра, мінімізація логічних функцій, двійкова арифметика), а лабораторні роботи закріплюють їх через моделювання [3]. Важливу роль відіграє проблемно-орієнтоване навчання (PBL), активне та інтерактивне навчання за допомогою візуального моделювання, принцип прогресивної складності (від логічних елементів AND, OR, NOT до ALU, регістрів і конвеєрного процесора), а також інтеграція з іншими дисциплінами (цифрова логіка, організація даних,

операційні системи, низькорівневе програмування). Загальна мета - сформувати у студентів не лише теоретичні знання, а й компетентності: аналізувати, синтезувати, тестувати та оптимізувати комп'ютерні системи [4].

Моделювання комп'ютерних систем відіграє ключову роль у навчальному процесі, оскільки дозволяє уникнути витрат на фізичне обладнання, забезпечує безпеку експериментів і дає студентам можливість швидко змінювати параметри, спостерігати помилки та ітерувати дизайн. Серед найпопулярніших інструментів використовуються Electronics Workbench (Multisim) – для моделювання базових цифрових схем (суматори, лічильники, тригери) [5], Logisim / Logisim-Evolution – для побудови datapath і control unit, симуляції виконання інструкцій та створення простих і конвеєрних процесорів (у тому числі RISC-V-подібних) завдяки зручній візуальній анімації сигналів [6, 7], а також HDL-моделювання (VHDL/Verilog) у середовищах Quartus II / Vivado з подальшим синтезом на FPGA – для просунутих курсів. Робота зі студентами організовується за принципом прогресивної складності: на базовому рівні моделюються комбінаційні та послідовні схеми, на середньому – функціональні вузли процесора (АЛП, регістровий файл, блок керування), а на просунутому – повноцінний CPU з симуляцією програм, порівнянням архітектур (CISC/RISC, single-cycle/pipelined) та аналізом продуктивності [8]. Такі проекти часто виконуються в командах з peer-review та презентаціями, що сприяє розвитку критичного мислення.

Використання моделювання комп'ютерних систем забезпечує низку суттєвих переваг. Воно дає змогу досягти високої візуалізації та інтуїтивного розуміння матеріалу: студенти в реальному часі спостерігають зміну сигналів, роботу конвеєра та виникнення hazards. Значно знижується бар'єр входу, оскільки для роботи не потрібні дорогі лабораторні стенди – достатньо звичайного персонального комп'ютера. Hands-on підхід суттєво підвищує мотивацію та залученість студентів, особливо коли вони створюють «власний» процесор [9]. Крім того, моделювання сприяє глибокому засвоєнню матеріалу, допомагаючи зрозуміти обґрунтованість архітектурних рішень (кеш-пам'ять, предиктори гілок тощо), а також забезпечує підготовку до реальної інженерної

діяльності, оскільки навички роботи з симуляторами близькі до промислових EDA-інструментів. Дослідження підтверджують, що студенти, які активно використовують симулятори (зокрема Logisim), демонструють кращі результати в розумінні концепцій комп'ютерної архітектури порівняно з традиційним лекційним викладанням [6, 10].

При організації курсу рекомендується така структура: 30–40 % – лекції, 40–50 % - лабораторні роботи в симуляторах та 10–20 % – проєктна діяльність (розробка та моделювання CPU як курсової роботи). Контроль знань доцільно здійснювати через поточне оцінювання (звіти з лабораторних робіт, тести) та підсумковий контроль (екзамен і захист проєкту), використовуючи рейтингову систему. Самостійна робота студентів повинна включати завдання на мінімізацію логічних функцій, моделювання схем удома та підготовку до лабораторних занять. Важливо адаптувати складність завдань під рівень студентів: початківцям надавати готові шаблони в Logisim, а просунутим - пропонувати повну розробку з нуля з використанням HDL. Серед сучасних тенденцій варто впроваджувати інтеграцію з відкритою архітектурою RISC-V, вивчення багатоядерних систем, питань енергоспоживання та безпеки [7].

Використання моделювання комп'ютерних систем перетворює викладання «Системотехніки та архітектури комп'ютерів» з абстрактної теорії на захопливий практичний процес. Воно розвиває критичне мислення, технічні навички та розуміння того, як «працює» комп'ютер «зсередини». У поєднанні з класичними методами цей підхід забезпечує якісну підготовку сучасних фахівців, готових до викликів цифрової інженерії.

Література

1. Подчащинський Ю. А. *Архітектура комп'ютерних систем : навчальний посібник*. Житомир : ЖДТУ, 2018. 383 с.
2. Задерейко О. В. та ін. *Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів : навчально-методичний посібник*. Одеса : Фенікс, 2020. 109 с.
3. Строкань О. В., Прийма С. М., Литвин Ю. О. *Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів : лабораторний практикум*. Мелітополь, 2019. 186 с.
4. Матвієнко М. П., Розен В. П. *Комп'ютерна схемотехніка : навчальний посібник*. К. : Ліра-К, 2020. 192 с.
5. Строкань О. В. та ін. *Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів : лабораторний практикум*. Мелітополь, 2019. 186 с.

6. Ichsan M. H. H., Kurniawan W. CPU implementation using only Logisim simulator to achieve computer architecture learning outcome. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2020. Vol. 9, No. 2. P. 747–754.
7. Doğan M. Teaching computer architecture by designing and simulating processors from their bits and bytes. *PeerJ Computer Science*. 2024. Vol. 10. e1818.
8. Kayaalp M. et al. Using Logisim-evolution for Teaching Datapath and Control. *Workshop on Computer Architecture Education (WCAE)*. 2021.
9. Shine V. J., Sathish P. K. Teaching Computer Architecture Using Simulation Tools. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*. 2014. Vol. 5, No. 2. P. 1411–1413.
10. Burch C. *Logisim: A graphical system for logic circuit design and simulation*.

Підвищення ефективності вивчення математичних дисциплін шляхом інтеграції СКМ Maple

Грудкіна Н. С.,

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Сагай О. В.

Відокремлений структурний підрозділ «Краматорський фаховий коледж промисловості, інформаційних технологій та бізнесу Донбаської державної машинобудівної академії»

Упровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій навчання під час викладання дисциплін з математичною складовою є надзвичайно актуальною навчально-методичною задачею в умовах цифровізації вищої освіти. Потужним інструментом для вирішення цієї проблеми є система комп'ютерної математики (СКМ) Maple, яка створює багатофункціональне інтелектуальне середовище для проведення математичних досліджень різного спектра та рівня складності [4]. Під час викладання математичних дисциплін доцільним є спиратися на вже існуючі навчально-методичні розробки та успішне впровадження СКМ Maple як дієвого інструменту вивчення традиційних розділів інженерної математики, таких як векторна алгебра та аналітична геометрія, математичний аналіз, диференціальні рівняння, теорія ймовірностей та математична статистика [1-4]. При чому застосування графічного пакету та пакету математичного аналізу відкриває нові можливості для суттєвого покращення наочності та спрощення складних розрахунків у задачах, що вимагають точного обчислення площі або об'єму геометричних фігур. Розроблені фрагменти програмного коду в середовищі Maple дозволяють

в автоматизованому режимі продемонструвати основні етапи побудови відповідної математичної моделі процесу або явища, яке досліджується, що є надважливою задачею з точки зору формування дослідницької компетентності здобувачів вищої освіти (рис. 1) [2, 3]. Завдяки алгоритмізації, уніфікації та залученню елементів програмування студенти набувають реального науково-дослідницького досвіду, вчать обґрунтовано обирати методи розв'язання та самостійно проектувати задачі нового типу на сучасному професійному рівні.

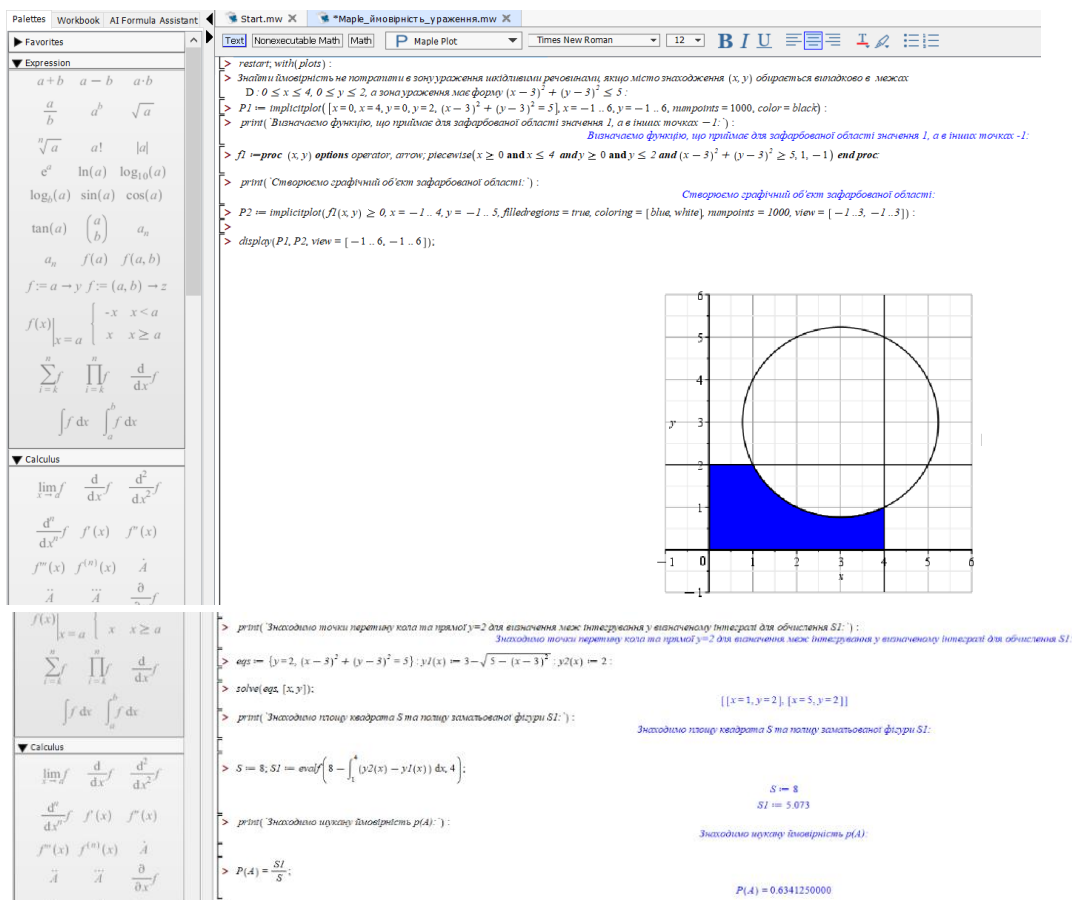


Рисунок 1 – Фрагменти програмного коду в СКМ Maple

Таким чином, розробка та впровадження матеріалів прикладного характеру із застосуванням систем комп'ютерної математики у навчанні дисциплін з математичною складовою сприяє комплексному інтелектуальному розвитку студентів. Наведені методичні підходи сприятимуть набуттю здобувачами реального науково-дослідницького досвіду, що, у свою чергу, стане надійним фундаментом їхньої спроможності вирішувати складні професійні завдання в рамках обраної спеціалізації.

Література

1. Грудкіна, Н. С., Кайдан, Н. В., Колесников, С. О., & Дмитришин, І. С. (2024). Використання СКМ Maple при розв'язанні задач з обчислення геометричної ймовірності. Педагогічна Академія: наукові записки, (9). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13326522>.
2. Грудкіна, Н. С., Костіков, О. А., & Ровенська, О. Г. (2024). До питання формування дослідницької компетентності здобувачів вищої освіти в процесі розв'язання задач з теорії ймовірності. Педагогічна Академія: наукові записки, (10). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13891974>.
3. Михалевич В.М. Використання систем комп'ютерної математики у процесі навчання студентів ВНЗ : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 279 с.
4. Parlar M. Model Development with Maple in PhD-Level Management Science Courses: A Personal Account. Oper. Res. Forum 4, 17 (2023). doi:10.1007/s43069-023-00202-x.

Використання інформаційних технологій в розвитку просторового мислення технічних спеціалістів

Кабацький О. В., Хорошайло В. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні методики розвитку просторового мислення виявляють чіткий перехід від викладачо-центрованого, пасивного викладання до студенто-центрованого, активного та досвідного навчання. Цей перехід забезпечується синтезом традиційних методів та втіленням новітніх інформаційних технологій.

Використання штучного інтелекту (ШІ) для виконання рутинних завдань у інженерії дозволяє студентам працювати швидше, але може негативно вплинути на розвиток фундаментальних навичок. У дослідженні, проведеному серед студентів-інженерів, було відзначено, що навички просторової візуалізації розвиваються ефективніше під час виконання креслеників вручну та роботи з фізичними моделями, ніж при використанні комп'ютера [1].

Ризики надмірної залежності від ШІ:

- Зниження критичного мислення. Студенти можуть пасивно приймати рішення ШІ без перевірки їх технічної спроможності [2].
- Когнітивна гомогенізація. Використання стандартних алгоритмів ШІ може призводити до однакових, шаблонованих дизайнерських рішень, обмежуючи креативну різноманітність [3].

– Втрата навички активного відтворення. III зменшує потребу в активному згадуванні та вирішенні проблем, ключову у формуванні довготривалої пам'яті [2].

– Ерозія інтроспекції. Перекладання оцінки почуттів та рішень на алгоритми (наприклад, у дизайні інтерфейсів) зменшує здатність до рефлексії [4].

Щоб збалансувати ці ризики, викладачі повинні використовувати III не як заміну мисленню, а як інструмент для його підсилення (augmentation). Наприклад, замість того, щоб просити III створити фінальну 3D-модель, студенти можуть використовувати його для генерації десяти варіантів концепції, які вони потім повинні проаналізувати та вручну доопрацювати [5].

Таким чином, для успішного розвитку просторового мислення вища школа повинна забезпечити баланс між традиційними методами (ручне креслення, макетування) та інноваційними III-технологіями, формуючи у студентів навичку критичного управління інтелектуальними системами. Це дозволить підготувати спеціалістів, здатних пропонувати просторові рішення, що виходять за межі обчислювальної логіки. Разом із цим, дані інструменти досягають максимальної ефективності лише тоді, коли вони інтегровані в активні педагогічні рамки, такі як проєктно-орієнтоване навчання (PBL), що імітує реальну інженерну діяльність.

Література

1. Porat R., Ceobanu C. *The Role of Spatial Ability in Academic Success: The Impact of the Integrated Hybrid Training Program in Architecture and Engineering Higher Education*. *Education Sciences*. 2024. 14. 1237. URL: <https://doi.org/10.3390/educsci14111237>
2. Jose B, Cherian J, Verghis AM, Varghise S.M., Joseph S. *The cognitive paradox of AI in education: between enhancement and erosion*. *Frontiers in Psychology*. 2025. Apr 14. 16:1550621. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1550621>.
3. Wang A., Zhang Y., Wang A., Zheng W. *The impact of AI-based painting technology on children's creative thinking*. *Front. Psychol.* 2025. 16:1598210. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1598210>
4. Chirayath G., Premamalini K., Joseph J. *Cognitive offloading or cognitive overload? How AI alters the mental architecture of coping*. *Front. Psychol.* 2025. 16:1699320. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1699320>
5. Jiang Y., Fan Y., Liu Z. *Generative AI in Art Education: A Systematic Review of Research Trends, Tool Applications, and Outcomes (2019–2025)*. *Education Sciences*. 2026. 16, 47. <https://doi.org/10.3390/educsci16010047>.

Цифрові технології як інструмент підвищення якості інженерної освіти

Колбасинський С. С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Глобальні виклики Четвертої промислової революції (Industry 4.0) висувають нові вимоги до кваліфікації інженерних кадрів. Динамічність технологічного ринку зумовлює необхідність переходу від класичної трансляції знань до формування гнучких компетентностей (soft & hard skills) у високотехнологічному цифровому середовищі. Як зазначає В. Ю. Биков, цифрова трансформація освіти є об'єктивним процесом, що змінює не лише інструментарій, а й саму філософію навчання [1].

Тому, обґрунтування ролі цифрових технологій як стратегічного ресурсу підвищення якості інженерної підготовки та аналіз ефективності їх впровадження на основі актуальних статистичних даних є важливим аспектом переосмислення інструментів та методологій надання освітніх послуг.

Сучасна інженерна освіта базується на інтеграції теорії з інструментами автоматизованого проектування (CAD/CAM/CAE) та управління життєвим циклом виробу (PLM). За даними звіту *OECD Digital Education Outlook 2023*, використання адаптивних платформ на основі штучного інтелекту дозволяє персоналізувати навчання, підвищуючи рівень залученості студентів на 18–22 % [4].

Особливе місце посідають технології цифрових двійників (Digital Twins). Вони дають змогу студентам працювати з віртуальними копіями реальних промислових об'єктів, що мінімізує ризики та витрати на експлуатацію дорогого обладнання. Згідно з дослідженнями *European Society for Engineering Education (SEFI)*, імерсивні технології (AR/VR) сприяють глибшому розумінню просторових конструкцій, що відображається у зростанні середнього балу за спеціальністю на 12–15 % у порівнянні з контрольними групами [5].

Статистика ринку EdTech підтверджує цей тренд:

- За прогнозами *Statista*, обсяг інвестицій у цифрові інструменти STEM-освіти в 2026 року перевищить 250 млрд дол. США.

- У країнах ЄС понад 70 % технічних університетів використовують хмарні сервіси для організації колективної проектної діяльності майбутніх інженерів.

В українському контексті цифровізація виступає також інструментом забезпечення стійкості освіти. Використання систем управління навчанням (LMS Moodle, Google Classroom) у поєднанні з віртуальними симуляторами (наприклад, MATLAB або Labster) дозволяє підтримувати високі стандарти якості навіть за умов дистанційного навчання [2].

Впровадження цифрових технологій у освітній процес технічних закладів вищої освіти (ЗВО) сприяє підвищенню наочності складних фізичних та технологічних процесів, надає доступність до унікального лабораторного обладнання через віртуальні інтерфейси та забезпечує адаптивність навчання до індивідуальних темпів засвоєння матеріалу. Проте, впровадження цифрових технологій в навчальний процес, в свою чергу, має корелювати з отриманим позитивним ефектом, має бути гармонійним та стратегічно вивіреним. Крім того, вимагає постійного вдосконалення та підвищення кваліфікації науково-педагогічного складу ЗВО.

Література

1. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної бази освіти України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Т. 79. № 5. С. 1–21.
2. Гуржій А. М., Карташова Л. А. та ін. *Цифровізація освіти: стан, проблеми, перспективи*. Вісник Житомирського державного університету. 2021. Вип. 1 (104). С. 5–16.
3. Luckin R. *Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education in the 21st Century*. London: UCL Press, 2018. 240 p.
4. *OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem*. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: 10.1787/c74f03de-en.
5. *Engineering Education 4.0: Excellent Teaching and Learning in Engineering Sciences*. Ed. by S. Jeschke et al. Springer, 2020. 645 p.
6. *UNESCO Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education*. Paris: UNESCO, 2023. 432 p.

Використання офісних систем у підготовці студентів технічних спеціальностей

Кайдан Н. В.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

У сучасних умовах цифровізації освіти та інженерної діяльності особливого значення набуває формування у студентів технічних спеціальностей практичних навичок роботи з прикладним програмним забезпеченням. Одним із базових компонентів такої підготовки є офісні системи, які виконують не лише допоміжну, а й інструментальну функцію у процесі навчання.

Офісні пакети, зокрема Microsoft Office та Microsoft 365, забезпечують реалізацію ключових видів навчальної діяльності та створюють основу для подальшого виконання практично орієнтованих завдань. Текстові процесори використовуються для оформлення технічної документації, звітів і наукових робіт, що формує у студентів навички структурованого викладу інформації. Табличні процесори виступають як інструмент для обробки експериментальних даних, виконання інженерних розрахунків, побудови графіків і моделювання залежностей, тоді як засоби створення презентацій забезпечують ефективну візуалізацію результатів досліджень і розвиток навичок професійної комунікації.

Саме на цій основі реалізується особливість використання офісних систем у підготовці студентів технічних спеціальностей, що полягає в орієнтації на виконання комплексних практичних завдань, які моделюють реальні виробничі процеси. Такі завдання передбачають інтеграцію обчислювальних, аналітичних і візуалізаційних дій. Студенти виконують розрахунки техніко-економічних показників, працюють із параметричними моделями та здійснюють обробку даних із використанням табличних процесорів.

У цьому контексті табличні інструменти застосовуються для реалізації повноцінних обчислювальних моделей, включаючи розрахунок амортизаційних відрахувань, аналіз витрат ресурсів, визначення залишків і прогнозування дефіциту. Використання логічних функцій, зведених таблиць і умовного форматування дозволяє формувати навички аналітичної обробки даних, що

є базовими для подальшого опанування методів математичного моделювання та аналізу даних.

Наступним етапом роботи з даними є їх інтерпретація, що реалізується через візуалізацію результатів за допомогою графіків, діаграм і аналітичних панелей. Це забезпечує перехід від виконання обчислень до формування обґрунтованих висновків. Таким чином, офісні системи виступають як інтегроване середовище для реалізації повного циклу роботи з даними: від їх обробки до аналізу та представлення результатів.

Особливу роль у цьому процесі відіграє використання табличних процесорів як універсального середовища для розв'язування прикладних задач. На відміну від спеціалізованих систем, таких як MATLAB, офісні інструменти мають нижчий поріг входження, що дозволяє використовувати їх на початкових етапах підготовки інженерів і забезпечує поступовий перехід від базових обчислювальних навичок до складніших методів моделювання.

Додаткові можливості відкривають хмарні сервіси офісних систем, які забезпечують організацію спільної роботи студентів, автоматизацію контролю знань і інтеграцію з навчальними платформами. Використання таких інструментів сприяє розвитку цифрових компетентностей, умінню працювати в команді та адаптації до сучасних умов професійної діяльності.

Важливу роль у підготовці студентів технічних спеціальностей відіграє також використання кейсових завдань, які відтворюють типові ситуації професійної діяльності та логічно поєднуються з можливостями офісних систем. На відміну від ізольованих вправ, кейси передбачають роботу з комплексними даними, необхідність вибору методів обробки інформації та прийняття обґрунтованих рішень в умовах, наближених до реальних.

Застосування кейсового підходу забезпечує формування причинно-наслідкового мислення, оскільки студент не просто виконує обчислення, а аналізує взаємозв'язки між параметрами системи. Наприклад, зміна вхідних даних (вартості обладнання, обсягів ресурсів, інтенсивності використання) безпосередньо впливає на результати розрахунків і потребує їх інтерпретації.

Крім того, кейсові завдання інтегрують різні інструменти офісних систем у межах одного процесу: від структурованого введення даних і їх обробки до побудови моделей, візуалізації результатів і формування висновків, що формує цілісне розуміння роботи з інформацією як єдиного технологічного циклу.

Таким чином, використання кейсових завдань підвищує практичну спрямованість навчання, забезпечує перенесення знань у професійну діяльність і формує готовність студентів до розв'язування реальних інженерних задач. У підсумку, офісні системи доцільно розглядати не як допоміжний засіб, а як базову складову підготовки студентів технічних спеціальностей, оскільки їх цілеспрямоване використання дозволяє підвищити ефективність навчального процесу та сформувати практично орієнтовані компетентності майбутніх фахівців.

Література

1. Кайдан Н. В., Кайдан В. П., Грудкіна Н. С., Величко В. Є., Федоренко О. Г. Інтеграція симуляцій та математичного моделювання у підготовці фахівців гірничих спеціальностей: досвід і перспективи. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2025. № 4. С. 307-315. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-42>
2. Кайдан Н. В., Пофалім А. В. Моделювання даних в математичних дисциплінах за допомогою Microsoft Excel. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education" : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia)*. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2024. Vol. 2. С. 263-265. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/2241>
3. *Продуктивність використання офісних систем : методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань / уклад. Н. В. Кайдан, О. В. Щенсевич. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2025. 22 с*

Застосування PhET Interactive Simulations для вивчення електромагнітних явищ у підготовці фахівців з кібербезпеки

Кайдан В. П.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Використання PhET Interactive Simulations у процесі викладання фізики відкриває можливості для поєднання фундаментальних знань з електромагнетизму з професійною підготовкою фахівців у сфері кібербезпеки. Особливого значення це набуває під час вивчення електромагнітних явищ, які

безпосередньо лежать в основі функціонування комп'ютерних систем, мережевого обладнання та засобів захисту інформації. Застосування інтерактивних симуляцій дозволяє не лише візуалізувати складні фізичні процеси, але й змодельовати ситуації, що мають прямий зв'язок із сучасними кіберзагрозами.

Одним із прикладів є використання симуляцій Circuit Construction Kit (DC/AC), у яких студенти збирають електричні кола, змінюють параметри напруги, сили струму та обравши який сам струм використовувати, постійний або змінний. У процесі дослідження вони спостерігають, як зміна струму призводить до формування змінного електромагнітного поля. Візуалізація руху зарядів та енергетичних потоків дозволяє встановити причинно-наслідковий зв'язок між електричним сигналом і його випромінюванням у навколишній простір. Це створює фізичну основу для розуміння побічних каналів витоку інформації, коли пристрої фактично виступають джерелами електромагнітного випромінювання, що може бути перехоплене.

Іншим важливим прикладом є застосування симуляції Wave Interference, яка використовується для дослідження хвильових процесів. У цій моделі студенти змінюють частоту, амплітуду та фазу хвиль і спостерігають результати їх накладання. Візуальне представлення інтерференційної картини дозволяє зрозуміти механізми підсилення або ослаблення сигналів. Практична робота з цією симуляцією демонструє, як зовнішні завади можуть спотворювати або повністю нівелювати корисний сигнал, що безпосередньо пов'язано з явищами глушіння та порушення роботи каналів зв'язку. Таким чином формується розуміння фізичних основ атак на доступність інформації.

Для дослідження явищ екранування доцільно використовувати симуляцію Charges and Fields, яка дозволяє моделювати розподіл електричних зарядів і відповідних електричних полів. Студенти можуть розміщувати заряди, додавати провідні структури та спостерігати зміну конфігурації поля. У процесі експерименту демонструється ефект перерозподілу зарядів у провіднику, що призводить до компенсації електричного поля всередині замкненої області. Це

дає можливість пояснити принцип дії клітки Фарадея та фізичні основи екранування, які використовуються для захисту інформаційних систем від витоку даних і впливу електромагнітних перешкод.

Таким чином, використання конкретних симуляцій PhET дозволяє реалізувати повноцінний віртуальний лабораторний практикум, у якому студенти не лише спостерігають фізичні явища, але й активно керують параметрами системи, аналізують результати та встановлюють зв'язок між фізичними процесами і їх застосуванням у сфері кібербезпеки. Це сприяє формуванню глибокого розуміння того, що інформаційні процеси мають фізичну природу, а отже можуть бути як вразливими до впливів, так і захищеними за допомогою відповідних інженерних рішень.

Література

1. Wieman C., Adams W., Perkins K. PhET: simulations that enhance learning. *Science*. 2008. Vol. 322, No. 5902. P. 682–683.
2. Kaidan, V., Velychko, V., Fedorenko, E. & Kaidan, N. (2024). The use of computer modeling in the educational process based on the example of studying Coulomb's law. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 2871, XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (Icon-MaSTEd 2024)*
3. Кайдан, В. (2024). Використання інтернет-симуляцій в процесі навчання фізики на прикладі завдань до лабораторних робіт. *Технології електронного навчання*, 8, 44–50

Інтелектуальна модель персоналізації інклюзивних освітніх траєкторій у цифровому середовищі

Голинський А. М.

Державний торговельно-економічний університет

У сучасних умовах цифровізації освіти важливого значення набуває забезпечення інклюзивності та персоналізації навчального процесу. Традиційні освітні підходи не враховують у повній мірі індивідуальні особливості здобувачів освіти, що знижує ефективність навчання та рівень залученості.

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є використання інтелектуальних інформаційних технологій, зокрема методів навчальної аналітики та інтелектуального аналізу даних, які дозволяють формувати

персоналізовані освітні траєкторії [3]. Важливу роль у цьому процесі відіграє концепція Universal Design for Learning (UDL), яка передбачає створення доступного навчального середовища для всіх категорій користувачів [4], [5].

У роботі запропоновано інтелектуальну модель персоналізації інклюзивних освітніх траєкторій, що базується на методах багатокритеріального прийняття рішень. Зокрема, для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв використовується метод аналізу ієрархій (АНР) [1], а для вибору оптимальної освітньої альтернативи — метод TOPSIS [2].

Модель передбачає врахування множини критеріїв, що характеризують як індивідуальні особливості здобувача освіти, так і параметри навчального середовища.

На основі зазначених критеріїв формується матриця рішень, яка використовується у методі TOPSIS для ранжування альтернатив навчальних траєкторій. Використання АНР дозволяє обґрунтовано визначити ваги критеріїв та забезпечити узгодженість прийняття рішень [1].

Запропонована модель дозволяє враховувати невизначеність освітнього середовища та індивідуальні характеристики здобувачів освіти, що сприяє підвищенню ефективності навчання та забезпеченню інклюзивності.

Таблиця 1 – Основні критерії персоналізації освітньої траєкторії

№	Критерій	Опис
1	Рівень знань	Поточний рівень підготовки студента
2	Стиль навчання	Візуальний, аудіальний, кінестетичний
3	Темп навчання	Швидкість засвоєння матеріалу
4	Доступність	Наявність спеціальних потреб (інклюзія)
5	Мотивація	Рівень зацікавленості у навчанні

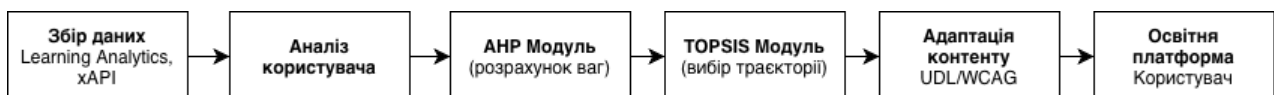


Рисунок 1 – Архітектура інтелектуальної системи персоналізації

Використання методів багатокритеріального прийняття рішень у поєднанні з навчальною аналітикою дозволяє створювати гнучкі адаптивні освітні системи, що відповідають сучасним вимогам цифрової освіти. Запропонований підхід може бути використаний при розробці інтелектуальних освітніх платформ та систем дистанційного навчання.

Таким чином, інтеграція методів АНР, TOPSIS та концепції UDL забезпечує формування ефективних персоналізованих інклюзивних освітніх траєкторій у цифровому середовищі.

Література

1. Saaty T. L. *Decision making with the analytic hierarchy process*. International Journal of Services Sciences. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590
2. Hwang C. L., Yoon K. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Berlin: Springer, 1981. 259 p.
3. Siemens G., Baker R. *Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration*. Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge. 2012. P. 252–254. DOI: 10.1145/2330601.2330661
4. Rose D. H., Meyer A. *Teaching every student in the digital age: Universal Design for Learning*. Alexandria: ASCD, 2002. 220 p.
5. Al-Azawei A., Serenelli F., Lundqvist K. *Universal Design for Learning (UDL): A content analysis of peer-reviewed journal papers from 2012 to 2015*. Journal of the Scholarship of Teaching and Learning. 2016. Vol. 16, No. 3. P. 39–56. DOI: 10.14434/josotl.v16i3.19295

Імплементація навчальної кросплатформної гри з підтримкою блочного програмування в Unity

Татаркулов Р. А., Малигіна С. В.

Донбаська державна машинобудівна академія

Цифровізація освіти вимагає створення інструментів, що поєднують розважальний контент із когнітивним розвитком. Імплементація ігрових механік у процес навчання програмуванню дозволяє знизити когнітивне навантаження на початкових етапах. Актуальність роботи полягає у створенні універсального (кросплатформного) рішення, яке працює на ПК та мобільних пристроях, забезпечуючи рівний доступ до STEM-освіти. Аналіз сучасного ринку освітніх ігор дозволяє виділити кілька ключових гравців, кожен з яких має свої обмеження, що стали передумовою для розробки нашого проєкту [1]. Популярна

платформа Scratch забезпечує низький поріг входження, але вона повністю ізолює користувача від синтаксису професійних мов програмування, створюючи хибне враження про легкість написання коду [2]. Ігри, подібні до `while True: learn()`, зосереджуються на високорівневих схемах і концепціях машинного навчання, але вони не вчать безпосередньо кодуванню, а *The Farmer Was Replaced* вимагає від гравця вже наявних знань синтаксису, що відлякує новачків. На відміну від згаданих аналогів, наш проєкт виступає інтерактивним містком між візуальним конструюванням та текстовим програмуванням на C# та Python [3]. Головна перевага нашої розробки полягає в тому, що гравець не просто з'єднує блоки, а в реальному часі бачить їхню текстову інтерпретацію, що дозволяє вивчати синтаксис паралельно з логікою. Окрім того, буде впроваджено унікальний для цього жанру елемент — систему оцінки складності алгоритму за принципом Big O, яка привчає користувача до професійної оптимізації коду вже на етапі навчання [4].

Сюжетна та ігрова концепція проєкту побудована навколо образу лінивої капібари, яка через прагнення до саморозвитку та автоматизації рутини вирішує програмувати робота-виконавця для проходження головоломок. Цей підхід дозволяє гейміфікувати процес навчання, де гравець виступає в ролі архітектора рішень, а робот — у ролі виконавця, що наочно демонструє роботу алгоритмів. Основна освітня мета полягає у послідовному засвоєнні понять синтаксису, циклів та умовних операторів [5]. На відміну від класичних посібників, гра використовує систему динамічного зворотного зв'язку: кожна дія робота на сцені підсвічується у відповідному рядку коду, що дозволяє візуально асоціювати логічну дію з програмною командою. Важливим елементом методології є впровадження мотиваційної системи оцінок у стилі Devil May Cry (S, A, B, C), де ранг гравця залежить не від швидкості натискання клавіш, а від інтелектуальної складової — здатності знайти найбільш оптимальне рішення з мінімальною алгоритмічною складністю, що робить процес навчання глибшим та професійно орієнтованим [6].

На даному етапі реалізації проєкту в середовищі Unity вже розроблено базовий функціонал системи візуального програмування, що включає інтерфейс Drag-and-Drop для маніпуляції блоками та механізм динамічного оновлення списку команд. Поточна архітектура дозволяє користувачеві додавати та видаляти блоки, що безпосередньо впливає на логіку поведінки робота-виконавця, який представлений на сцені у вигляді куба. Реалізована система трансляції дозволяє після натискання кнопки старту перетворювати зібрану послідовність у робочий код, що виконується покроково, а кнопка скидання (Reset) повертає систему до початкового стану для проведення рефакторингу. Головною технічною інновацією проєкту є запланований модуль аналізу складності на основі ваг та вкладеності блоків, який дозволить системі розрізняти лінійні рішення $O(n)$ від неефективних вкладених циклів $O(n^2)$. Хоча на даний момент розробка зосереджена на ПК-версії для забезпечення зручності роботи з кодом, архітектура Unity дозволяє в майбутньому легко адаптувати проєкт під WebGL для використання у браузерях, що значно розширить доступність продукту для кінцевого користувача.

Література

1. Human Resource Machine: [official website]. URL: <https://tomorrowcorporation.com/humanresourcemachine> (дата звернення: 14.04.2026).
2. About Scratch: [official website]. URL: <https://scratch.mit.edu/about> (дата звернення: 14.04.2026).
3. while True: learn : [official website]. URL: <https://luden.io/wtl/> (дата звернення: 14.04.2026).
4. Кормен Т. Г., Лейзерсон Ч. І., Рівест Р. Л., Стайн К. Вступ до алгоритмів : пер. з англ. Київ : К.І.С., 2019. 1280 с.
5. Prensky M. Digital Game-Based Learning. New York : McGraw-Hill, 2001. 464 p. URL: https://archive.org/details/unset0000unse_x5n8 (дата звернення: 14.04.2026).
6. Petri G., Gresse von Wangenheim C. Digital games in computing education : A systematic literature review. Computers & Education. 2022. Vol. 180. P. 104429. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104429. URL: <https://learn.unity.com/course/visual-scripting> (дата звернення: 14.04.2026).

Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для розробки інтелектуальної платформи онлайн-навчання з адаптивним тестуванням та оцінкою ефективності знань

Вітрик М. А.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасні системи дистанційного навчання (LMS) відіграють ключову роль в організації освітнього процесу, забезпечуючи доступ до навчального контенту, проведення тестування та накопичення статистичних даних про результати навчання. Однак більшість існуючих платформ реалізують фіксовані сценарії навчання, у яких усі студенти проходять однакову послідовність матеріалів незалежно від рівня підготовки, темпу засвоєння знань і індивідуальних особливостей. Такий підхід призводить до зниження ефективності навчання, оскільки не враховує різноманітність освітніх потреб користувачів. Додатковою проблемою є семантичний розрив між формальними показниками успішності (бали, відсотки) та реальним рівнем знань студента, що обмежує можливості прийняття обґрунтованих педагогічних рішень [1].

У зв'язку з цим актуальним напрямом розвитку є створення інтелектуальних платформ онлайн-навчання, які поєднують методи аналізу даних, математичне моделювання та алгоритми адаптації навчального процесу. Метою даної роботи є підвищення ефективності онлайн-навчання шляхом розробки підходів до формування персоналізованих навчальних траєкторій на основі інтелектуального оцінювання рівня знань і навчальної активності студентів. Об'єктом дослідження виступає процес онлайн-навчання, а предметом — методи та моделі інтелектуального оцінювання і персоналізації навчального процесу [2].

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- аналіз сучасних систем дистанційного навчання;
- дослідження методів інтелектуального оцінювання знань;
- формалізація процесу навчання;
- розробка математичної моделі студента;

- побудова логічної моделі інтелектуальної платформи.

Ключовим елементом запропонованого підходу є математична модель студента, яка дозволяє формалізувати процес навчання як динамічну систему вимірювань і прийняття рішень.

Таблиця 1 – Порівняння традиційних та адаптивних LMS:

Характеристика	Контент-орієнтовані LMS (Традиційні)	Інтелектуальні LMS (Адаптивні)
Сценарій навчання	Фіксований (лінійний для всіх)	Персоналізований (динамічна траєкторія)
Ключова проблема	Відсутність адаптивності	Необхідність складних алгоритмів
Роль студента	Пасивний споживач контенту	Активний учасник, що формує темп
Аналіз даних	Статичний (пройшов/не пройшов)	Прогностичний (аналіз поведінки)

У моделі виділено три типи вимірювань:

- початкові (до початку навчання);
- процесні (під час навчання);
- підсумкові (після завершення курсу).

Це дозволяє розділити процес управління навчанням і оцінювання його ефективності.

Фундаментом нашої моделі є метрика K , яка відображає відносний рівень засвоєння матеріалу. Вона розраховується за формулою:

$$K = B_{\text{отр}} / B_{\text{макс}}, \quad (1)$$

де $B_{\text{отр}}$ – фактично отримані бали, а $B_{\text{макс}}$ – максимально можливий бал. У моделі ця метрика має два критичні стани:

- **K_{start} (Вхідний рівень):** Це діагностичний інструмент. Ми проводимо тест на початку не для того, щоб «покарати» за незнання, а щоб вибрати стартову траєкторію. Якщо бал високий, система пропустить вступні модулі.

- **K_{end} (Підсумковий результат):** Вимірюється після завершення курсу.

Це статистичний показник успіху, який важливий для звітності, але, на жаль, він уже не може змінити процес навчання, що відбувся.

Для глибокого аналізу ми використовуємо метрику приросту знань, яка показує «чистий ефект» освіти:

$$\Delta K_{final} = K_{end} - K_{start}. \quad (2)$$

Цей показник дозволяє переосмислити поняття успішності. Розглянемо приклад:

- Студент А прийшов із базою 80 % ($K_{start} = 0.8$) і закінчив із 90 % ($K_{end} = 0.9$). Його приріст $\Delta K_{final} = 0.1$.
- Студент Б прийшов із нулем ($K_{start} = 0$) і закінчив із 70 % ($K_{end} = 0.7$). Його приріст $\Delta K_{final} = 0.7$.

З точки зору адаптивної моделі, студент Б продемонстрував значно вищу ефективність навчання. Однак важливо розуміти: ΔK_{final} – це показник «постфактум». Він допомагає покращувати курс для наступних груп учнів, але для корекції навчання в реальному часі потрібен інший інструмент — аналіз поточного «пульсу» [3].

Щоб система розуміла, що учень відчуває «тут і зараз», вона вимірює поведінкову активність $A(t)$:

$$A(t) = \alpha \cdot N(t) + \beta \cdot T(t) + \gamma \cdot R(t). \quad (3)$$

Компоненти активності включають:

- **Кількість дій (N):** Перегляди відео, відкриття сторінок, активність на форумах.
- **Витрачений час (T):** Чистий час роботи з навчальним матеріалом.
- **Повторні спроби (R):** Кількість спроб пройти проміжні тести або вправи.

Коефіцієнти α , β , γ – це **вагові коефіцієнти**, які встановлюються викладачем. Вони дозволяють системі «зважити», що є важливішим для

засвоєння: наприклад, у математиці повторні спроби розв'язати задачу (γ) можуть важити більше, ніж просто час читання підручника (β). Активність дозволяє системі вчасно помітити, якщо учень втратив темп [4].

Центральним керуючим механізмом моделі є інтегральна оцінка $I(t)$. Вона об'єднує всі попередні показники в єдиний аналітичний сигнал:

$$I(t) = w_1 \cdot K(t) + w_2 \cdot \Delta K(t) + w_3 \cdot A(t). \quad (4)$$

Тут з'являються нові важливі параметри:

– $K(t)$ – ваші знання в даний момент.

– $\Delta K(t) = K(t) - K(t-1)$ – локальна динаміка, що показує швидкість вашого прогресу.

– w_1, w_2, w_3 – коефіцієнти значущості. Вони визначають пріоритети системи: що сьогодні важливіше – стабільні знання чи висока активність?

На основі $I(t)$ система застосовує формалізовані правила адаптації:

– **Низьке $I(t)$:** Сигнал про те, що матеріал занадто складний. Система спрощує траєкторію або надає допоміжні матеріали.

– **Середнє $I(t)$:** Ідеальний баланс. Учень рухається за поточним планом.

– **Високе $I(t)$:** Учні занадто легко. Система прискорює навчання або пропонує завдання підвищеної складності.

Застосування такої математичної моделі дозволяє нам подолати так званий «семантичний розрив» — критичну проблему освіти, коли високі бали за тести не означають реального розуміння матеріалу. Традиційний тест лише фіксує відповідь, тоді як запропонована модель аналізує шлях, яким учень прийшов до цієї відповіді [5].

Головні переваги такої формалізації:

– **Об'єктивність:** Оцінюється не лише фінальний результат, а й зусилля та динаміка.

– **Гнучкість:** Траєкторія змінюється миттєво, реагуючи на труднощі учня.

– **Ефективність:** Кожна хвилина навчання працює на результат, мінімізуючи перевтому.

У результаті дослідження обґрунтовано доцільність використання інтелектуальних методів оцінювання та персоналізації навчання, розроблено математичну модель студента та визначено принципи побудови інтелектуальної платформи онлайн-навчання. Отримані результати можуть бути використані при розробці сучасних адаптивних освітніх систем, орієнтованих на підвищення якості навчального процесу.

Література

1. Brusilovsky P., Peylo C. Adaptive and intelligent web-based educational systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2003. Vol. 13. P. 159–172. DOI: 10.1023/A:1021497129399.
2. Romero C., Ventura S. Educational data mining: A review of the state of the art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 2010. Vol. 40, No. 6. P. 601–618. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2053532.
3. Siemens G., Baker R.S.J.d. Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration. *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*. 2012. P. 252–254. DOI: 10.1145/2330601.2330661.
4. Drachsler H., Kalz M. The MOOC and learning analytics innovation cycle (MOLAC): a reflective summary of ongoing research and its challenges. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2016. Vol. 32, No. 3. P. 281–290. DOI: 10.1111/jcal.12135.
5. Ferguson R. Learning analytics: drivers, developments and challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012. Vol. 4, No. 5–6. P. 304–317. DOI: 10.1504/IJTEL.2012.051816.

Використання FPGA-технологій у вивченні архітектури комп'ютерів та цифрових схем

Добряк С. К.

Донбаська державна машинобудівна академія

У сучасному світі цифрові технології проникають у всі сфери діяльності людини, що зумовлює необхідність якісної підготовки спеціалістів у галузі комп'ютерної інженерії. Основою такої підготовки є глибоке розуміння принципів побудови цифрових систем та архітектури комп'ютерів. Традиційні методи навчання, які базуються на лекціях та програмному моделюванні, часто не забезпечують достатнього рівня практичного розуміння. Саме тому все більшої актуальності набуває використання FPGA-технологій у навчальному процесі. FPGA (Field-Programmable Gate Array) – це програмовані логічні

інтегральні схеми, які дозволяють реалізовувати цифрові пристрої безпосередньо на апаратному рівні. Основною особливістю FPGA є їхня конфігурованість: користувач може змінювати структуру логічних зв'язків після виготовлення мікросхеми. Це забезпечує високу гнучкість та універсальність у застосуванні. Архітектура FPGA базується на великій кількості однакових логічних елементів, які об'єднані програмованими з'єднаннями. Кожен логічний блок, як правило, містить таблицю істинності (LUT), яка дозволяє реалізувати довільну логічну функцію, а також тригери для зберігання стану. Крім того, сучасні FPGA включають блоки пам'яті, цифрові сигнальні процесори (DSP) та високошвидкісні інтерфейси.

З точки зору навчання, FPGA мають ряд важливих переваг. По-перше, вони дозволяють реалізувати теоретичні знання на практиці. По-друге, вони забезпечують можливість дослідження реальних апаратних характеристик, таких як затримки сигналів, синхронізація та вплив топології схеми на продуктивність. Використання мов опису апаратури, таких як Verilog і VHDL, дозволяє студентам працювати з цифровими системами на різних рівнях абстракції. Це формує системне мислення та розуміння того, як високорівневі алгоритми трансформуються в апаратну реалізацію. Таким чином, FPGA-технології створюють ефективне середовище для навчання, яке поєднує теоретичні знання з практичними навичками.

Практичне використання FPGA у навчальному процесі дозволяє значно підвищити якість освіти, оскільки забезпечує безпосередній контакт студентів із апаратними системами. Це особливо важливо у таких дисциплінах, як цифрова схемотехніка та архітектура комп'ютерів, де абстрактні поняття потребують наочного підтвердження.

На початковому етапі навчання студенти знайомляться з базовими логічними елементами. Використовуючи FPGA, вони можуть реалізовувати прості схеми, такі як логічні вентиля, мультиплексори, дешифратори. Це дозволяє закріпити знання про булеву алгебру та логічні операції. Далі навчання переходить до складніших тем, таких як синхронні схеми. Студенти вивчають

тригери, регістри, лічильники та генератори імпульсів. FPGA дозволяють досліджувати часові діаграми, що є критично важливим для розуміння роботи цифрових систем.

Особливу роль FPGA відіграють у вивченні архітектури комп'ютерів. Завдяки можливості реалізації процесорів студенти можуть створювати власні обчислювальні системи. Це включає розробку арифметико-логічного пристрою, системи керування, регістрового файлу та інтерфейсів пам'яті. Одним із найважливіших аспектів є можливість дослідження виконання інструкцій. Студенти можуть реалізувати простий набір команд і спостерігати, як вони виконуються на апаратному рівні. Це дозволяє зрозуміти принципи роботи сучасних процесорів.

FPGA також використовуються для моделювання складніших систем, таких як конвеєрні процесори, багатоядерні системи та пристрої обробки сигналів. Це відкриває можливості для виконання складних курсових і дипломних проєктів. Важливим аспектом є використання сучасних інструментів розробки. Студенти вчаться працювати з професійними середовищами, що включають синтез, аналіз таймінгу та налагодження. Це формує навички, необхідні для роботи в індустрії. Таким чином, FPGA забезпечують повноцінне практичне середовище для навчання, яке максимально наближене до реальних умов розробки цифрових систем.

Використання FPGA у навчальному процесі має значні переваги, які роблять їх одним із найефективніших інструментів у підготовці інженерів. Однією з головних переваг є можливість поєднання теоретичних знань із практичним досвідом. Це дозволяє студентам не лише вивчати матеріал, але й застосовувати його на практиці. Іншою важливою перевагою є гнучкість FPGA. Студенти можуть швидко змінювати конфігурацію системи, тестувати різні варіанти реалізації та аналізувати їх ефективність. Це сприяє розвитку творчого підходу до розв'язання задач. FPGA також дозволяють працювати з реальними апаратними обмеженнями, такими як затримки сигналів, споживання енергії та використання ресурсів. Це формує інженерне мислення та підготовлює студентів до роботи в реальних умовах.

Однак існують і певні труднощі. Освоєння мов опису апаратури потребує значного часу та зусиль. Крім того, FPGA-виробництво вимагає спеціалізованого обладнання, що може бути обмеженням для деяких навчальних закладів.

Сучасні тенденції розвитку FPGA спрямовані на спрощення процесу навчання. Високорівневий синтез дозволяє описувати апаратні системи за допомогою мов програмування, що значно знижує поріг входження. Хмарні FPGA-платформи забезпечують доступ до апаратних ресурсів через Інтернет, що особливо актуально для дистанційного навчання. Крім того, FPGA активно використовуються у нових галузях, таких як штучний інтелект і машинне навчання. Це робить їх важливим інструментом для підготовки фахівців майбутнього.

Література

1. Brown S., Vranesic Z. *Fundamentals of digital logic with Verilog design*. New York : McGraw-Hill, 2009.
2. Weste N., Harris D. *CMOS VLSI design: a circuits and systems perspective*. Boston : Addison-Wesley, 2011.
3. Mano M. *Digital design*. Boston : Pearson, 2013.
4. Patterson D., Hennessy J. *Computer organization and design*. Burlington : Morgan Kaufmann, 2017.
5. Coussy P., Morawiec A. *High-level synthesis: from algorithm to digital circuit*. Dordrecht : Springer, 2008.

Розробка веб-орієнтованого віртуального лабораторного стенду

Добряк С. К.,

Донбаська державна машинобудівна академія

Гурковська С. С.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Сучасний етап розвитку глобального суспільства характеризується стрімкою цифровою трансформацією всіх сфер людської діяльності, серед яких освіта посідає одне з ключових місць. Впровадження концепції індустрії 4.0 та цифровізація економіки висувають нові вимоги до підготовки інженерних та технічних кадрів. У цьому контексті особливої ваги набуває парадигма STEM-

освіти (Science, Technology, Engineering, Mathematics), яка орієнтована на формування у здобувачів освіти практичних навичок та здатності до вирішення реальних технологічних завдань.

Актуальність розробки веб-орієнтованих віртуальних лабораторних стендів обумовлена необхідністю подолання розриву між теоретичною підготовкою та практичною діяльністю в умовах обмеженого доступу до фізичного обладнання. Віртуалізація навчального середовища стає не просто допоміжним інструментом, а фундаментальною основою для забезпечення рівного доступу до якісної освіти, незалежно від географічного розташування студента чи ресурсних можливостей навчального закладу.

Еволюція дистанційного навчання пройшла довгий шлях: від поштової переписки та телевізійних лекцій до сучасних інтерактивних платформ. Проте тривалий час дистанційна освіта сприймалася як «другосортна» через неможливість повноцінної заміни лабораторної практики. З появою технологій Web 2.0 та пізніше Web 3.0 ситуація кардинально змінилася. Сучасні веб-технології дозволяють створювати високопродуктивні інтерактивні середовища, які забезпечують: когнітивну залученість, миттєвий зворотний зв'язок, гнучкість графіку.

Цифровізація освіти стимулює перехід від моделі «запам'ятовування фактів» до моделі «розуміння процесів», де віртуальний стенд виступає головним полігоном для перевірки гіпотез. Традиційні навчальні лабораторії, попри свою безумовну цінність, стикаються з низкою критичних проблем, які веб-орієнтовані рішення покликані нівелювати: економічні чинники, обмеженість у часі та просторі, проблема паралельного доступу, знос та амортизація.

Важливо розуміти, що віртуальні лабораторні стенди не розглядаються як повна альтернатива реальному залізу, а радше як високоефективне доповнення в межах гібридного навчання. Концепція «пре-лабораторної підготовки» (pre-lab training) полягає в тому, що студент спочатку проходить цикл занять на віртуальному стенді. Це дозволяє: ознайомитися з інтерфейсом та логікою роботи обладнання в безпечному цифровому середовищі, відпрацювати базові алгоритми дій до автоматизму, мінімізувати ризик пошкодження дорогого фізичного обладнання під

час наступної реальної роботи, провести попередні розрахунки та порівняти їх з результатами симуляції. Таким чином, віртуалізація дозволяє змістити фокус з «вивчення кнопок приладу» на «аналіз фізичного чи інженерного явища». Це робить навчальний процес більш інтенсивним та результативним.

Впровадження веб-орієнтованих стендів є логічною відповіддю на виклики сучасності, забезпечуючи мобільність, інклюзивність та високу якість інженерної освіти в умовах глобального дистанційного та змішаного навчання.

Віртуальний лабораторний стенд (ВЛС) – це програмно-модельний комплекс, призначений для імітації роботи реальних технічних пристроїв, приладів або технологічних процесів у цифровому середовищі. На відміну від простих анімацій, сучасний ВЛС базується на логічній відповідності між діями користувача та реакцією системи. Основні завдання, які вирішує веб-орієнтований ВЛС: візуалізація процесів, інтерактивність, контроль знань.

Ключовою перевагою веб-орієнтованого підходу є кросплатформенність. Користувачеві не потрібно встановлювати специфічне програмне забезпечення (драйвери, середовища виконання), що часто є проблемою для фізичних лабораторій. Достатньо сучасного браузера з підтримкою стандартів HTML5 та WebAssembly. Архітектура ВЛС будується за трирівневою моделлю, що забезпечує гнучкість та легкість оновлення системи.

Клієнтська частина реалізує інтерфейс користувача, який відповідає за візуалізацію та обробку подій введення. Основний акцент тут робиться на мінімізації затримок. Логіка первинної обробки даних часто переноситься на сторону клієнта (браузера), щоб забезпечити плавність інтерфейсу навіть при нестабільному інтернет-з'єднанні. Серверна частина виконує роль координатора різних частин системи, як то управління сесіями, логікою симуляції, збереження стану.

Однією з головних проблем веб-лабораторій є пікове навантаження. Коли цілий потік студентів (100+ осіб) одночасно запускає симуляцію, сервер може вийти з ладу. Для вирішення цієї проблеми застосовується контейнеризація (Docker). Кожна сесія користувача запускається в окремому контейнері. Це забезпечує:

Ізоляцію: Помилка одного студента не впливає на роботу інших.

Безпеку: Виконуваний код симуляції обмежений ресурсами контейнера і не має доступу до файлової системи сервера.

Еластичність: Автоматичне розгортання нових екземплярів сервера при зростанні навантаження (Orchestration за допомогою Kubernetes).

Для віртуальних стендів критично важливою є швидкість реакції. Традиційний HTTP-протокол (запит-відповідь) не підходить для динамічних систем, де стан "приладу" змінюється щомілісекунди. Оптимальним рішенням є використання протоколу WebSocket. Він створює постійне двостороннє з'єднання між браузером та сервером, що дозволяє:

Передавати дані від датчиків студенту в реальному часі.

Миттєво реагувати на натискання віртуальних кнопок або поворот регуляторів.

Синхронізувати стан стенда між викладачем та студентом (режим демонстрації).

Вибір стека визначає життєздатність проекту:

Frontend: Використання фреймворків типу React.js або Vue.js дозволяє створювати компонентну структуру (кожна кнопка, дріт чи індикатор — окремий компонент). Для графіки використовується SVG (векторна графіка для схем) або Three.js/WebGL (для складних 3D моделей обладнання).

Backend: Популярним вибором є Node.js завдяки його подієво-орієнтованій моделі, що ідеально працює з WebSockets, або Python (FastAPI) для робіт, що потребують наукових обчислень (бібліотеки NumPy, SciPy).

Бази даних: Для зберігання структурованих даних (користувачі, оцінки) використовуються реляційні БД (PostgreSQL), а для логів симуляцій — NoSQL рішення (MongoDB), що дозволяють зберігати великі масиви неструктурованих даних.

Впровадження розробленого віртуального стенда дозволяє трансформувати освітній процес у кількох напрямках:

Самостійна робота: Студенти отримують можливість готуватися до реальних занять у власному темпі, з будь-якого місця.

Дистанційні курси: Для університетів з великою часткою заочного навчання віртуальний стенд стає єдиним способом забезпечити практичну складову.

Ефективність: Згідно з дослідженнями, студенти, які використовували ВЛС перед роботою з реальним обладнанням, виконують завдання на 30-40 % швидше та роблять менше критичних помилок.

Література

1. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки. Інформаційні технології і засоби навчання. 2019. Т. 70, № 2. С. 1–13.
2. Гуржій А. М., Зайцева Т. В. Дистанційне навчання: теорія і практика. Київ: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2021. 240 с.
3. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V. et al. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*. 2016. Vol. 95. P. 309–327.
4. Flanagan D. *JavaScript: The Definitive Guide: Master the World's Most-Used Programming Language*. 7th ed. O'Reilly Media, 2020. 704 p.
5. Banks J., Carson J. S., Nelson B. L., Nicol D. M. *Discrete-Event System Simulation*. 5th ed. Pearson, 2010. 624 p.
6. Newman S. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. 2nd ed. O'Reilly Media, 2021. 614 p. (Розділи щодо контейнеризації та Docker).
7. Fain Y., Moiseev A. *Angular Development with TypeScript*. 2nd ed. Manning Publications, 2018. 560 p. (Або аналогічне джерело по React/Vue залежно від вашого стека).
8. Standard LTI v1.3. *Learning Tools Interoperability Core Specification*. IMS Global Learning Consortium. URL: <https://www.imsglobal.org/spec/lti/v1p3/>
9. Wokwi Documentation. *Embedded Systems Simulation Architecture in Browser*. URL: <https://docs.wokwi.com/> (Як приклад реалізації сучасних емуляторів).
10. Tidwell J., Brewer C., Valencia-Hardy A. *Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design*. 3rd ed. O'Reilly Media, 2020. 560 p.

Розробка інтерактивної освітньої платформи для вивчення базових концепцій програмування засобами Python у взаємодії з базою даних MAMP PRO

Кунов О. А., Добряк С. К.

Донбаська державна машинобудівна академія

Сучасне навчання програмуванню, особливо на початковому рівні, потребує використання інтерактивних освітніх платформ, що забезпечують ефективне засвоєння базових концепцій. Одним із перспективних напрямів є створення веб-орієнтованих систем, які поєднують теоретичний матеріал із практичними завданнями та дозволяють користувачам активно взаємодіяти з навчальним

середовищем. Використання мови програмування Python у поєднанні з середовищем MAMP PRO для організації бази даних і серверної частини дозволяє створити гнучку, масштабовану та зручну у використанні платформу [1, 2].

Основними задачами розроблюваної платформи є надання структурованого навчального контенту, організація інтерактивних вправ, автоматична перевірка правильності виконання завдань, відстеження прогресу користувачів та формування рекомендацій для подальшого навчання. Платформа повинна забезпечувати вивчення базових тем програмування, таких як змінні, умовні оператори, цикли, функції та основні структури даних, що дозволяє сформувати у користувачів необхідні практичні навички.

Використання Python як основної мови розробки забезпечує простоту реалізації логіки системи, а також можливість інтеграції з різними бібліотеками для обробки даних і виконання програмного коду. Серверна частина може бути реалізована із застосуванням сучасних веб-фреймворків, що забезпечують обробку запитів, управління сесіями користувачів та взаємодію з базою даних. MAMP PRO у даному випадку використовується як середовище для розгортання локального сервера та ефективного збереження даних користувачів, результатів навчання та навчальних матеріалів.

Процес розробки передбачає створення зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача, який забезпечує доступ до теоретичних матеріалів, виконання практичних завдань і отримання миттєвого зворотного зв'язку. Інтерфейс включає редактор коду, навчальні модулі, систему підказок та панель відстеження прогресу. Інтерактивність платформи досягається завдяки можливості виконання програмного коду безпосередньо в браузері з відображенням результатів у реальному часі.

Важливим компонентом системи є модуль автоматичної перевірки завдань, який аналізує правильність виконання коду користувача за допомогою тестових сценаріїв. Система також забезпечує обробку помилок та надання рекомендацій щодо їх виправлення, що сприяє більш ефективному навчанню та зменшенню кількості типових помилок.

Окрему увагу приділено питанням безпеки та стабільності роботи платформи. Виконання користувацького коду здійснюється в ізольованому середовищі, що запобігає несанкціонованому доступу до системних ресурсів. Додатково реалізується механізм аутентифікації та авторизації користувачів для захисту персональних даних.

Для підвищення продуктивності системи доцільно використовувати асинхронне програмування, оптимізацію запитів до бази даних та кешування даних. Це дозволяє зменшити навантаження на сервер і прискорити обробку запитів, що є особливо важливим при одночасній роботі великої кількості користувачів.

Розроблювана інтерактивна освітня платформа дозволяє значно підвищити ефективність навчального процесу, автоматизувати перевірку знань та забезпечити індивідуальний підхід до кожного користувача. Використання Python у поєднанні з MAMP PRO забезпечує гнучкість, зручність розробки та можливість подальшого розширення функціоналу системи, що сприяє формуванню практичних навичок програмування та підготовці користувачів до вирішення реальних задач у сфері інформаційних технологій.

Література

1. Python Documentation. Python Software Foundation. URL: <https://docs.python.org>.
2. Grinberg M. Flask Web Development. O'Reilly Media, 2018.
3. Beazley D. Python Cookbook. O'Reilly Media, 2013.
4. Nixon R. Learning PHP, MySQL & JavaScript. O'Reilly Media, 2018.

Застосування інтерактивних технологій змішаного навчання при підготовці бакалаврів та магістрів в умовах сучасних освітніх викликів

Голуб Д. М.

Донбаська державна машинобудівна академія

Внаслідок бойових дій в Україні, за даними міжнародних організацій, пошкоджено або зруйновано лише в Донецькій області понад 45 % закладів освіти, що обмежує повноцінний доступ до якісного навчання. Студенти змушені

навчатися дистанційно або переїжджати для навчання в інші регіони, або навіть виїжджати з України взагалі, що потребує цифрового забезпечення та фахової підтримки.

Війна розірвала соціальні зв'язки, що негативно впливає на громади та громадянське суспільство в цілому. Внаслідок складної ситуації у студентів спостерігається зниження рівня соціалізації та недостатній рівень доступу до освітніх послуг.

Інтерактивне та змішане навчання дає такі переваги як підвищення залученості студентів що дає можливість персоналізації та гнучкості. Учні стають активними учасниками процесу, адаптація темпу навчання під потреби слухача дозволяє опановувати матеріал у зручний час і темп, поєднуючи онлайн з очними вправами. Це особливо важливо для дорослих, працюючих або тих, хто живе у різних часових поясах.

Змішане навчання дозволяє адаптувати контент під індивідуальні потреби: хтось переглядає матеріал кілька разів, хтось рухається швидше. Викладач стає фасилітатором, а не єдиним джерелом знань. Комбінація онлайн-ресурсів і живої взаємодії сприяє глибшому розумінню. Дослідження показують, що правильно спроектоване змішане навчання підвищує рівень завершення курсів і довготривале запам'ятовування.

У зв'язку з цим застосування сучасних інтерактивних технологій у дистанційному чи змішаному навчанні поєднує очні аудиторні заняття з різними інструментами.

Онлайн-модулі забезпечують пояснення базового матеріалу, а очні заняття зосереджують на практиці, обговореннях і розв'язанні практичних завдань. Це покращує взаємодію між викладачем і студентами.

Існує велика кількість застосунків, сайтів та інструментів які мають різні можливості. Наприклад, навчальні платформи типу Moodle, Google Classroom та Google Meet, Kahoot!, Zoom, MS Teams, Canva та інші, підвищуючи залученість та індивідуалізацію навчання.

Moodle – являє собою віртуальне навчальне середовище, систему управління навчанням (LMS), курсами (CMS), яка має розвинутий набір інструментів для дистанційного навчання. Moodle в базовому варіанті є відкритою та безоплатною системою.

Базові функціональні особливості Moodle включають: оформлення лекцій, семінарів, звітування та здачу завдань в різних формах, тести, можливість користувачів для завантаження власних файлів для подальшого оцінювання; обмін повідомленнями; календар подій; та інше.

Kahoot - умовно-безкоштовна навчальна платформа яка працює в ігровій формі, розрахована на будь-який вік та навчальні предмети. Вона допомагає створити тест, опитування, навчальну гру або влаштувати марафон знань. Додаток працює як в настільній версії, так і на смартфонах.

Правильні відповіді переводяться в бонусні бали, які виводять лідерів після кожного питання. Kahoot має зрозумілий інтерфейс, можливість створювати різні типи тестів, можливість створювати тести в форматі ігрових механік, різноманітність тестів, інтерактивний режим, коли в режимі реального часу учні бачать, як проходить гра і хто перемагає.

Освітня платформа Edmodo забезпечує ефективну комунікацію, співпрацю та підтримку навчального процесу. Дозволяє обмінюватися матеріалами, створювати тести, вікторини й опитування. Функціонує як віртуальне навчальне середовище, спрямоване на покращення взаємодії учасників освітнього процесу, і відзначається безкоштовністю, простотою реєстрації, можливістю роботи з різними групами користувачів та англomовним інтерфейсом.

Google Classroom - це безкоштовний вебсервіс для організації навчального процесу, який дозволяє створювати, поширювати, виконувати та оцінювати завдання. Основна його перевага — зручна організація спільної роботи завдяки інтеграції з Google Диском, Google Документами, Gmail і Google Календарем.

Учасники можуть приєднуватися до класу за спеціальним кодом або автоматично, а всі матеріали та виконані завдання зберігаються в окремих папках на Google Drive. Мобільні додатки для iOS і Android дають змогу працювати з

файлами, прикріплювати фото та мати доступ до матеріалів навіть офлайн. Викладач, своєю чергою, може відстежувати успішність студентів, оцінювати роботи та надавати зворотний зв'язок у вигляді коментарів.

Сервіс також дозволяє публікувати навчальні матеріали, створювати завдання і тести (зокрема через Google Форми), вести журнал оцінок і користуватися календарем, що робить його ефективним інструментом для дистанційного та змішаного навчання.

Сервіс Zoom - одна з найпоширеніших платформ для проведення онлайн-занять, конференцій і зустрічей. У безкоштовній версії сервіс дозволяє підключати до 100 учасників із обмеженням тривалості сесії до 40 хвилин, тоді як платні тарифи відкривають доступ до більшої кількості учасників, триваліших зустрічей, запису в хмару та трансляцій у соціальні мережі.

Додаток працює як на комп'ютері, так і на телефонах чи планшетах. Можна використовувати для проведення різних форматів занять зокрема лекційних, вебінарів та інших. Має функції листування та колективної роботи.

Серед функціональних можливостей платформи — кімнати очікування для контролю доступу учасників, приватні чати для індивідуального спілкування під час сесії, а також інструменти для поділу учасників на групи з окремими кімнатами для командної роботи. Це робить Zoom ефективним інструментом для організації як індивідуальної, так і групової взаємодії в освітньому процесі.

Mentimeter – це інструмент для онлайн-опитування в режимі реального часу, який дозволяє використовувати готові приклади або створювати власні презентації у вигляді інтерактивної дошки з питаннями та інструментами відображення та обробки відповідей.

Padlet – це сервіс для спільної роботи, який дозволяє створювати віртуальні дошки для розміщення та обміну матеріалами. Кожен учасник може додавати власні роботи, є функція коментування та оцінювання. Платформа також підходить для публікації навчально-методичних і контрольних матеріалів. Вона підтримує колективну роботу в режимі реального часу, взаємодію з візуальним контентом, а також завантаження файлів як із пристрою, так і безпосередньо

з інтернету. Крім того, Padlet дає змогу експортувати створені дошки в різні формати та ділитися ними через соціальні мережі, що робить її зручним інструментом для організації інтерактивного навчання.

Сервіс Geogebra надає математичні інструменти для побудови графіків, та геометрії, у 2D та 3D. В колекції сервісу більше 1 мільйона безкоштовних моделей та уроків. Представляє собою програму динамічної математики для різних рівнів освіти в одному пакеті. Є однією з провідних програм динамічної математики для використання в інженерних та наукових розрахунках, STEM освіті. Серед особливостей Geogebra: динамічна геометрія, алгебра та електронні таблиці, простий у використанні інтерфейс, інструмент для створення інтерактивних навчальних ресурсів, наявність українського інтерфейсу, відкритий вихідний код для некомерційного використання.

Сервіс LearningApps призначений для підтримки навчального процесу через створення невеликих інтерактивних модулів. Такі модулі можуть використовуватися як готові навчальні ресурси для самостійної роботи здобувачів освіти. Основна ідея платформи полягає у формуванні відкритої бібліотеки універсальних вправ, які можна багаторазово використовувати та адаптувати під різні освітні потреби. Ці вправи не прив'язані до конкретних курсів чи програм, тому їх легко інтегрувати в будь-який навчальний сценарій.

Сервіс також підходить для організації конкурсів, закріплення й перевірки знань, а також активізації пізнавальної діяльності. Користувачі можуть створювати та редагувати завдання онлайн, використовуючи різноманітні шаблони та типи інтерактивних вправ.

Таким чином, активне використання сучасних цифрових платформ і сервісів — систем управління навчанням (LMS), відеоконференцій, інтерактивних інструментів, віртуальних лабораторій та гейміфікації — дозволяє підвищити залученість студентів, адаптувати навчання до індивідуальних потреб і підтримувати якісну взаємодію між учасниками освітнього процесу.

Змішане навчання допомагає подолати логістичні труднощі та відкриває доступ до освіти для людей із віддалених регіонів, людей з обмеженою

мобільністю або тих, хто перебуває у складних обставинах. А активне впровадження освітніх технологій не лише розширює доступ до навчання, а й допомагає освітнім закладам ефективно використовувати ресурси, масштабувати навчальний процес і зберігати його якість навіть у кризових умовах, забезпечуючи стійкість освітньої системи.

Мікросервісна архітектура .Net для викладання студентам в рамках курсу «Інструменти створення та управління хмарними сервісами»

Касьянюк О. С.

ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка»

Мікросервісна архітектура [1] є актуальним підходом до створення сучасних хмарних сервісів, оскільки дозволяє розділяти складну інформаційну систему на незалежні компоненти, які можна окремо розробляти, тестувати, масштабувати та розгортати. Для студентів вивчення цього підходу є важливим, тому що більшість сучасних корпоративних і хмарних застосунків використовують контейнеризацію, API-взаємодію, окремі сервіси та централізований моніторинг.

Використання Docker, ASP.NET Core, Entity Framework Core, SQL Server та .NET Aspire дає змогу побудувати повний навчальний цикл: від створення окремого Web API до запуску розподіленої системи з кількома сервісами, базами даних і засобами спостереження. Такий підхід формує у студентів практичні навички, необхідні для розробки та супроводу хмарних сервісів у реальних ІТ-проектах.

Мікросервісна архітектура передбачає поділ великої системи на набір невеликих незалежних сервісів. Кожен сервіс відповідає за окрему бізнес-функцію, має власний API, власну логіку та, бажано, власне сховище даних.

Для навчального модуля найкраще починати з ASP.NET Minimal API [2], тому що такий підхід дозволяє швидко створювати HTTP API без надмірної кількості файлів і шаблонного коду. У документації Microsoft Minimal APIs прямо

подаються як рекомендований підхід для швидкого створення HTTP API, а також як зручний варіант для мікросервісів із мінімальною кількістю залежностей.

Docker [3] потрібен, щоб студенти зрозуміли, як застосунок запускається не просто «на комп'ютері», а в ізольованому середовищі.

SQL Server у контейнері [4] зручно використовувати для навчання, тестування й локальної розробки. Microsoft у своїй документації для мікросервісних .NET-застосунків прямо зазначає, що створення SQL Server у контейнері корисне для тестових середовищ, коли потрібно швидко підняти базу «з нуля».



Рисунок 1 – Інфографіка, яка описує складові курсу в рамках вивчення мікросервісної архітектури. Згенеровано за допомогою ChatGPT Images 2.0

.NET Aspire [5] доцільно показувати після того, як студенти вже зрозуміли Docker Compose. Aspire спрощує локальний запуск розподіленого застосунку: API-сервісів, баз даних, кешів, черг, залежностей та dashboard.

У межах вивчення мікросервісної архітектури доцільно розглядати не лише створення окремих Web API-сервісів, а й допоміжні інфраструктурні компоненти, які забезпечують взаємодію, кешування, безпеку, зберігання файлів і обробку повідомлень. Для студентів це важливо, оскільки вони отримують практичне уявлення про те, як працюють сучасні розподілені системи.

Apache Kafka доцільно використовувати для демонстрації подієвої архітектури. Kafka дозволяє організувати обмін подіями між мікросервісами.

Redis варто розглядати як сервіс кешування та швидкого доступу до даних. Він працює в оперативній пам'яті, тому дозволяє швидко отримувати часто використовувану інформацію.

RabbitMQ підходить для пояснення класичних черг повідомлень. Його зручно використовувати для задач, які не потрібно виконувати миттєво: формування звітів, надсилання повідомлень, обробка заявок або фонові операції.

Вивчення мікросервісної архітектури на базі Docker, ASP.NET Core, Entity Framework Core, SQL Server та .NET Aspire є практично значущим для підготовки майбутніх фахівців з розробки хмарних сервісів. Такий підхід дозволяє поєднати теоретичні знання про архітектуру програмних систем із реальними інструментами, які використовуються в сучасній IT-індустрії.

Література

1. *Microservices architecture*. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/microservices-architecture>.
2. *Tutorial: Create a minimal API with ASP.NET Core*. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/min-web-api?view=aspnetcore-10.0&tabs=visual-studio>
3. *What is Docker?* Docker Docs. URL: <https://docs.docker.com/get-started/docker-overview>.
4. *Docker: Run Containers for SQL Server on Linux*. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/linux/quickstart-install-connect-docker?view=sql-server-ver17&tabs=cli&pivots=cs1-bash>
5. *What is the AppHost?* Aspire Documentation. URL: <https://aspire.dev/ru/get-started/app-host/?lang=csharp>

Наукове видання

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД

М А Т Е Р І А Л И
X Всеукраїнської науково-практичної конференції
з міжнародною участю
16–18 квітня 2026 року

За заг. ред. О. Ф. Тарасова

Технічне редагування, комп'ютерне верстання Катюха О. Л.

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 18,37.
Обл.-вид. арк. 14,2. Тираж 100 пр.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003