

**Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій**

**МАТЕРІАЛИ
IX Міжнародної науково-технічної конференції
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

**MATERIALS
IX-th International scientific-technical conference
COMPUTER MODELING AND OPTIMIZATION OF
COMPLEX SYSTEMS**



**УКРАЇНСЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**



**КАФЕДРА
ІНФОРМАЦІЙНИХ
СИСТЕМ**

**5-7 листопада 2025 року
м. Дніпро, Україна**

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Сухий К.М.,	член-кор. НАНУ, д.т.н., проф.
Радкевич А.В.,	д.т.н., проф.,
Пройдак Ю.С.,	д.т.н., проф.
Зайчук О.В.,	д.т.н., проф.
Зеленцов Д.Г.,	д.т.н., проф.
Палагін О.В.,	академік НАНУ, д.т.н., проф.
Алексєєв М.О.,	д.т.н., проф.
Аушева Н.М.,	д.т.н., проф.
Бомба А.Я.,	д.т.н., проф.
Гнатушенко В.В.,	д.т.н., проф.
Гнатушенко Вік.В.,	д.т.н., проф.
Гуда А.І.,	д.т.н., проф.
Косолап А.І.,	д.ф.-м.н., проф.
Ляшенко В.П.,	д.т.н., проф.
Мухін В.Є.,	д.т.н., проф.
Нескородєва Т.В.,	д.т.н., проф.
Петренко М.Г.,	д.т.н., проф.
Федоров Є.Є.,	д.т.н., проф.
Федорович О.Є.,	д.т.н., проф.
Чалий С.Ф.,	д.т.н., проф.
Штовба С.Д.,	д.т.н., проф.
Шевченко І.В.,	д.т.н., проф.
Andrianov A.I.,	Professor, Dr. Tech. Sc.
Mamedov A.T.,	Professor, Dr. Tech. Sc.
Milenin A.,	Professor, Dr. Hab. inż.
Sadigov A.B.,	Professor, Dr. Tech. Sc.
Todorov M.,	Professor, Dr. Tech. Sc.
Zilinskas J.,	Professor, Dr. (HP)

КООРДИНАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Анісімов В.В.	к.т.н., доцент
Осташко І.О.	к.т.н.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1	13
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ	
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	13
<i>Alizade E.F.</i>	
MODELLING STUDY OF WATERFLOODING PROCESSES WITH MAGNETIC FIELD APPLICATION	14
<i>Andrianov I.V., Koblik S., Starushenko G.A.</i>	
Dynamic Pull-in Mechanisms of Electrically ACTUATED MEMS	18
<i>Belyanovskaya E.A., Sukhyu K.M., Serhiienko Ya.O.</i>	
EXERGY EFFICIENCY EVALUATION OF ADSORPTIVE HEAT – MOISTURE REGENERATORS BASED ON COMPOSITE ADSORBENTS ‘SILICA GEL – SODIUM SULPHATE’	21
<i>Neelam Choudhary, Denys Kriutchenko, Vasyl Gnitko, Olena Sierikova, Andry Kolodyazhny and Elena Strelnikova</i>	
MODELING AND STABILITY ASSESSMENT OF SLOSHING IN HORIZONTALLY AND VERTICALLY PARTITIONED TANKS	23
<i>Dmytro Tishchenko, Yurii Tkachov</i>	
CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR MULTIPHYSICS MODELING IN AEROSPACE STRUCTURAL DESIGN	25
<i>Jafarov F.F.</i>	
APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) STRUCTURES	27
<i>Kairov V.A., Kairov A.S.</i>	
MATHEMATICAL MODELING OF VIBRATION RESISTANCE OF REINFORCED CYLINDRICAL SHELLS WITH ATTACHED SOLIDS DURING HARMONIC VIBRATIONS	31
<i>Kyryl Degtiariev, Vasyl Gnitko, Andry Koshkin, Kristoff Muravski Olena Sierikova, Marina Chugay and Elena Strelnikova</i>	
CRACK INITIATION AND PROPAGATION IN STRUCTURAL ELEMENTS OF ENERGY MACHINERY	33
<i>Pershyna I.I., Kovtun A.V.</i>	
CONSTRUCTION OF AN INTERLINEATION OPERATOR FOR DETECTING THE DISTRIBUTION OF SOIL CONTAMINATION BY HEAVY METALS USING REMOTE SENSING METHODS	35
<i>Smetankina N.V., Misiura Ie.Yu., Misiura S.Yu.</i>	
STABILITY OF HOLLOW SHELLS OF LINEARLY VARIABLE THICKNESS UNDER THERMAL LOADS	37
<i>Vasylenko O., Snizhnoi G.</i>	
ANALYSIS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BY TRANSIENT CHARACTERISTICS PARAMETERS IN ECAD	38

<i>Біляєв М.М., Семененко П.В., Біляєва В.В.</i> КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ В ОБ'ЄМІ ГОЛОВНОГО ОБТІЧНИКА	40
<i>Вербицький В.Д., Науменко Н.Ю.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	41
<i>Витвицький В.М., Витвицький Вл.М., Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Шилович Т.Б.</i> РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОРПУСА ЕКСТРУДЕРА	43
<i>Дзюба Є.В., Матвієнко О.І.</i> ІГРИ З «ПРИРОДОЮ», КОЛИ МНОЖИНА ЇЇ СТРАТЕГІЙ Є НЕЧІТКОЮ	45
<i>Доманський І. В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОЇ ПІДВІСКИ ТА СТРУМОПРИЙМАЧІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНО-ЗАЛЕЖНИХ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ	47
<i>Єфімов Д. С., Осташко І. О.</i> ІНТЕГРАЦІЯ ПОТОКОВОЇ ТА ПАКЕТНОЇ ОБРОБКИ В КОРПОРАТИВНОМУ СХОВИЩІ ДАНИХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛЯМБДА-АРХІТЕКТУРИ	49
<i>Зеря С.Ю., Коряшкіна Л.С.</i> АНАЛІЗ УМОВ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ УПРАВЛІНСЬКОГО РІШЕННЯ ЩОДО НАДАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ	51
<i>Козиренко С.І., Никитенко В.В.</i> ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МОДЕЛІ СТАЛОГО ПОТОКОРОЗПОДІЛУ У ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ДОВІЛЬНОЇ СТРУКТУРИ	52
<i>Котенко Д.А.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ПОСТІЙНОГО ТИСКУ ДЛЯ ЛУЖНИХ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІВ	54
<i>Кутін А.І., Науменко Н. Ю.</i> ФОРМУВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО РІЗНОШВИДКІСНОГО СПЛАЙН СИГНАЛУ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ 7 РОЗРЯДНИХ ВІДЛІКІВ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛУ НА STM32	56
<i>Латанська Л.О., Корнієнко А.М.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ, РОЗРОБЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	58
<i>Латанська Л.О., Половинка А.В.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ РОЗРОБКИ БАНКІВСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	59

<i>Левчук І.Л., Банник Н. Г., Гнатко О. М., Сербулова І. В.</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ МІДНОГО КУПОРОСУ	60
<i>Левчук І.Л., Дубовик Т.М., Гузь Г.М., Лук'янов І.І.</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ SCADA	62
<i>Лесик О. І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ В ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІЙ ПІВПЛОЩИНІ З ПРИПОВЕРХНЕВОЮ ТРИЩИННОЮ НОРМАЛЬНОГО ВІДРИВУ ДЛЯ МАТЕРІАЛУ З КВАДРАТИЧНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ	64
<i>Ляшенко В.П., Кобильська О.Б., Дем'янченко О. П.</i> РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ У МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ ВАЛКОВОЇ РОЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ МЕТАЛІВ	66
<i>Мазничко М.В., Матвієнко О.І</i> ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР ДЛЯ ОЦІНКИ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ	68
<i>Макарова Л.М., Бризгалов М.В.</i> ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНОСТІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ JAVA-ЗАСТОСУНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТРИК RFC ТА CVO	70
<i>Максимюк В.А.</i> ДО РОЗРАХУНКУ ТОНКИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ В ТРИВІМІРНІЙ ПОСТАНОВЦІ ВАРІАЦІЙНО-РІЗНИЦЕВИМ МЕТОДОМ	71
<i>Надригайло Т.Ж., Моргун Є.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛІВ	72
<i>Назаренко П.М., Катан В.О.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ	74
<i>Павлюк О.В., Гусарова І.Г.</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНАХОДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИТОКІВ	76
<i>Подолінний І.О., Козлов Я.М.</i> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОМУ ТЕПЛИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	78
<i>Приходько С.Б.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕГАУСІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ БІЄКТИВНИХ НОРМАЛІЗУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ	80

<i>Радуль О.А., Ляшенко О.А.</i>	
АНАЛІЗ ВИКЛИКІВ І ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОСТКВАНТОВИХ АЛГОРИТМІВ В ЦИФРОВУ ІНФРАСТРУКТУРУ	82
<i>Сазонов П.О., Клименко С.В.</i>	
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ВІДТВОРЮВАНOSTІ РЕЗУЛЬТАТІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ	85
<i>Самохвалов С.Є., Піптюк В.П., Греков С.В.</i>	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛЕКТИВНОГО ВВЕДЕННЯ ДОБАВОК В КІВШ	88
<i>Селівьорстова Т.В., Молодцов М.І., Малієнко С.Є.</i>	
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ	89
<i>Селівьорстова Т.В., Сторожев В.В., Красношанка Н.С.</i>	
СТОХАСТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ІМОВІРНІСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКІВ ЗАВЕРШЕННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ	91
<i>Сергєєв О. С., Ус С. А.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ В БАГАТОЕТАПНИХ ЗАДАЧАХ РОЗМІЩЕННЯ-АКТИВАЦІЇ	93
<i>Ситникова Ю. В.</i>	
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ У ЗОНАХ ЗРУЙНОВАНИХ ІНФРАСТРУКТУР: КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ УМОВ ВОЄННОГО ЧАСУ	95
<i>Славік О. В., Мордовець О. В.</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРЛІНАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ НАБЛИЖЕНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ	97
<i>Смідович Л. С.</i>	
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКУ VOIP	99
<i>Сторожук Є.А., Серафимович Р.В., Чернишенко І.С.</i>	
ДО РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО КРУГОВОГО ОТВОРУ В ТРИШАРОВІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ З ВРАХУВАННЯМ ПЛАСТИЧНИХ І ПОПЕРЕЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ	101
<i>Федоряцька Н.І., Астахов Д.С., Клим В.Ю.</i>	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ЧАСОМ	102
<i>Шмалько Р.Є., Коряшкіна Л.С.</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ В ТРЕЙДІНГУ ПРОДУКЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	104

СЕКЦІЯ 2	105
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ	105
<i>Behbudlu I.A. , Mammadov A.T.</i>	
COMPUTATIONAL THERMODYNAMIC–KINETIC SIMULATION OF GAS REMOVAL DURING VACUUM STEEL REFINING	106
<i>Бичков С. І., Солодка Н. О.</i>	
ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ІНТЕГРАЦІЇ KUBERNETES-ОПЕРАТОРА З КЕРОВАНИМИ ХМАРНИМИ СЕРВІСАМИ	108
<i>Горяінов А.В., Анісімов В.В.</i>	
МАСШТАБОВАНИЙ ПОШУК У CMS STRAPI: СТАНДАРТНА ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ПОВНОТЕКСТОВЕ ІНДЕКСУВАННЯ У POSTGRESQL	110
<i>Гречина А. Р., Катан В. О.</i>	
МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ	112
<i>Грідін А.Д., Клімов Р.О.</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	114
<i>Дубовик Т.М., Левчук І.Л., Манько Д.О.</i>	
РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗБОЇВ У РОБОТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	115
<i>Зяярний О.В., Попов А.В.</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ НА БАРЖІ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВИХ ТА ВАГОВИХ ОБМЕЖЕНЬ	117
<i>Катан В.О., Григор'єва В.О.</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ Е-БАНКІНГУ	118
<i>Клімов Р.О., Глазунова О.Е.</i>	
ВПЛИВ РОЗВИНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕПЛООБМІНУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ КОНСТРУКЦІЇ ПІДГРІВАЧІВ	119
<i>Кожевников А.В.</i>	
ПЕРЕТВОРЕННЯ ДАНИХ З ПОРЯДКОВОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАННЯ У ВІДНОСНУ ЯК ЗАВДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	120
<i>Косолап А.І.</i>	
ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СКЛАДНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ЗАДАЧ	123
<i>Латанська Л. О., Мінаєв А. І.</i>	
ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУРЬ'Є В ОБРОБЦІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ	125
<i>Лобода В. Д., Мисов О. П.</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ VLE-ПРИСТРОЇВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	127

<i>Макарова Л. М., Тімченко Е.О.</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОГРАМ НА РУТНОН ШЛЯХОМ КОМБІНУВАННЯ З МОВАМИ С/С++ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ БІБЛІОТЕК	129
<i>Малєєва О. В., Федорович В. А., Компанець В. В., Рибальченко Т. П.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ РЕЛОКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО СТАНУ КРАЇНИ	131
<i>Мірошніченко О.О., Матвієнко О.І.</i>	
ЗАДАЧА ПРО МАКСИМАЛЬНИЙ ПОТІК ІЗ НЕЧІТКО ЗАДАНИМИ ПРОПУСКНИМИ ЗДАТНОСТЯМИ КОМУНІКАЦІЙ	132
<i>Мітасов А.В., Анісімов В.В.</i>	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО РОЗКЛАДУ ЗДОБУВАЧІВ НА ВЕБ-ПОРТАЛІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ	134
<i>Ніколаєв Т.М.</i>	
РОЗРОБКА ГІБРИДНОГО ЕВОЛЮЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ НЕЧІТКОСТІ	136
<i>Нішта Б. В., Павленко І. В.</i>	
КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЮ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКОВОЇ ПІДЙОМНОЇ СИЛИ МУЛЬТИРОТОРНОГО ДРОНА	137
<i>Помазан О.В., Анісімов В.В.</i>	
НЕДОЛІКИ РОБОТИ ЗВИЧАЙНОГО ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПРИ РОЗКЛАДАННІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ДАХУ	139
<i>Рошупкін О. В., Павленко І. В.</i>	
ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ	142
<i>Ткаченко С.М., Бешта Л.В.</i>	
МЕТОДИКА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ВПЛИВУ НА РОБОТУ КОМПЛЕКСУ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ	145
<i>Троцило О.В., Солodka Н.О.</i>	
ВИКОРИСТАННЯ ЖАДІБНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ	147
<i>Тюніков Є.О., Зеленцов Д.Г.</i>	
ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДОВГОВІЧНОСТІ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА	149

<i>Федоренко В. С.</i>	
ГІБРИДНИЙ МЕТОД HeDE-PSO ДЛЯ ЗАДАЧ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ПРОЄКТНОМУ УПРАВЛІННІ	150
<i>Федорович О. Є., Єлізева А. В., Босенко Д. І., Євтушенко А. О.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ СКОРОЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СТВОРЕННЯ ОСОБЛИВО ВАЖЛИВОЇ ПРОДУКЦІЇ	152
<i>Федорович О. Є., Соловійов В. С., Гузов Д. А., Гуртовий І. І.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ІНФРАСТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБІВ	153
<i>Федорович О. Є., Сломчинський О. В., Малєєв Л. В., Пісклова Т. С.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ СТРАТЕГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ МІСІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ	154
<i>Федорович О. Є., Рибка А. В., Андрієць В. В., Борисенко Є. І.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ДОВГИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ЗАГРОЗ	155
<i>Шаповаленко М.В., Шаповаленко В.М., Осташко І.О.</i>	
ВЕБПЛАТФОРМА ПО ЗАМОВЛЕННЮ ГОТІВКИ ДО ВИДАЧІ У БАНКОМАТАХ	156
СЕКЦІЯ 3	158
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	158
<i>Khabarлак K.</i>	
PLANT GROWTH AND SEED GERMINATION MONITORING USING YOLO12 NEURAL NETWORK	159
<i>Ivan Kalnysh, Oleg Zhulkovskiy</i>	
INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING BLOCKCHAIN NETWORK RPC SERVERS USING FUZZY LOGIC	160
<i>Kostikova Olesia, Oleksii Slavik</i>	
USING AI TO IDENTIFY SHIPS IN SATELLITE IMAGES	162
<i>Mazepa A.S.</i>	
GOVERNANCE MODULE AND VALIDATION LOOP IN A MULTI- AGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR RISK MANAGEMENT IN IT PROJECTS	164
<i>Oleh Murashko, Yurii Tkachov</i>	
TOWARD EXPLAINABLE DECISION SUPPORT IN AEROSPACE DESIGN: INTEGRATING HUMAN EXPERTISE AND COMPUTATIONAL INSIGHTS	167
<i>Vadym Honcharenko, Valentyn Yesilevskiy</i>	
ENERGY-AWARE REWARD FUNCTION FOR UAV COVERAGE PATH PLANNING WITH REINFORCEMENT LEARNING	169
<i>Андрущенко А.І., Жульковська І.І., Жульковський О.О.</i>	
ПРЕДИКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЗАПИТІВ У СИСТЕМІ СЛУЖБИ ПІДТРИМКИ	171

<i>Бакеркін В.Р., Зеленцов Д.Г.</i> ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО ВИБОРУ СТАРТОВОЇ ТОЧКИ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАІЧНИХ РІВНЯНЬ	173
<i>Бімалов Д.В., Гнатушенко Вік.В.</i> ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВОГО НАБОРУ ДАНИХ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА АЕРОЗОБРАЖЕННЯХ	175
<i>Бобух М. О., Катан В. О.</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	177
<i>Ганжа О.О., Іванчук Н.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ГРАФОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ GRAPHRAG ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ОПИСІВ ТОВАРІВ	179
<i>Гузь Г.М., Пономарьова О.А.</i> РОЗРОБКА ВІДЕОЧАТУ ДЛЯ ОНЛАЙН-СПІЛКУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ WebRTC	181
<i>Демченко І.І., Жульковська І.І., Жульковський О.О.</i> НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ІЗ НЕПОВНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ НА ПРИКЛАДІ ІГРОВИХ СЦЕНАРІЇВ	183
<i>Загній А.С., Вельмагіна Н.О.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЗАДАЧАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ І МАШИННОГО НАВЧАННЯ	185
<i>Кабак Р.А., Ляшенко О.А., Радуль О.А.</i> ВИЯВЛЕННЯ ЧУТЛИВИХ СУТНОСТЕЙ У КОРПОРАТИВНИХ ДОКУМЕНТАХ ДЛЯ СИСТЕМ DATA LOSS PREVENTION: ВИКЛИКИ, МЕТОДИ ТА НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ	187
<i>Кавац О.О., Кавац Ю.В., Сергєєва К.Л.</i> МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ	190
<i>Кісельов В.С.</i> СИСТЕМА ОБРОБКИ ДАНИХ В ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНІ З ВИКОРИСТАННЯМ RULE-BASED ТА AI-BASED ПАРАДИГМ	191
<i>Книш О.С., Єсілевський В.С.</i> РОЗВ'ЯЗАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ ДИНАМІЧНИХ ЗАДАЧ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИЧНО-ІНФОРМОВАНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	193

<i>Кривокоритов А.В., Желдак Т.А.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ.....	195
<i>Луцик І. І.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ У СТВОРЕННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ СИСТЕМ.....	197
<i>Мироненко М.І., Титаренко І.В.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНЕ МАШИННЕ НАВЧАННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЛЯ ПОПІКСЕЛЬНОЇ СЕМАНТИЧНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ЗАПОВІДНОЇ ТЕРИТОРІЇ.....	199
<i>Москаленко М.Л., Коротка Л.І.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ DIFF-АНАЛІЗУ ТА МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ.....	201
<i>Нескородєва А.Р., Федоров Є.Є., Нескородєва Т.В.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ КАДРІВ ГІМНАСТИЧНИХ ПОЗ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ CONV LSTM.....	203
<i>Ощепков Є.С., Матвієнко О.І.</i> ЗАДАЧА ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ТРИДОЛЬНОМУ ГРАФІ З НЕЧІТКИМИ ВЕРШИНАМИ.....	205
<i>Пасічник А.М., Пасічник В.А.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МЕНЕДЖЕРІВ ПАРОЛІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ПІДКАЗОК ТА ВІДОКРЕМЛЕНОГО ЇХ ШИФРУВАННЯ.....	207
<i>Перцев Ю.О., Коротка Л. І.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ КРИЗОВИХ ПОДІЙ НА ФОНДОВОМУ РИНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТИВНО-ЗМАГАЛЬНИХ МЕРЕЖ.....	209
<i>Резніченко О.В., Ляшенко О.А.</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗ ДАНИХ.....	212
<i>Семенов В.В., Солодка Н.О.</i> РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТОВОЇ МОВИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ.....	215
<i>Сергєєва К.Л., Бешта Л.В., Біліба Б.С.</i> ІОТ-СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ НА ОСНОВІ LORAWAN ДЛЯ ПОТРЕБ ПОВОЄННОГО АГРОВІДНОВЛЕННЯ.....	217
<i>Солодка Н.О., Івасенко П.Ю.</i> ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ЯКІСНОГО ДАТАСЕТУ ДЛЯ ДОНАВЧАННЯ БАГАТОМОВНОЇ МОДЕЛІ XLM-ROBERTA.....	219
<i>Сорочинський В.В., Хорошилов С.В.</i> ІМПУЛЬСНЕ КЕРУВАННЯ ВІДНОСНИМ РУХОМ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ У КОВЗНОМУ РЕЖИМІ З ВИКОРИСТАННЯМ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ.....	220

<i>Черняк О. С., Осташко І.О.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОСТКВАНТОВИХ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ.....	221
<i>Шаповалов К.І.</i> ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ З ІНТЕГРАЛЬНОГО ЧИСЛЕННЯ У ДИСТАНЦІЙНОМУ ФОРМАТІ.....	223
<i>Шаповалова С.І., Тітов В.М.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ПІДХОДІВ	224
<i>Шарай К.В., Гибкіна Н.В.</i> НЕІЄРАРХІЧНІ МЕТОДИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ ВИПУСКНИКІВ У М. ХАРКІВ ЗА 2021 – 2024 РОКИ	227
<i>Ширяєв А.О., Хабарлак К.С.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ	229
<i>Юскович-Жуковська В.І., Богут О.М.</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ТА ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ОРКЕСТРАЦІЇ АГЕНТНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ІТ-КОМПАНІЙ.....	231

СЕКЦІЯ 1**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ МАТЕМАТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ**

- **математичне моделювання об'єктів і процесів**
- **математичні методи в механіці, хімічній технології та інженерії**
- **імітаційне моделювання**

SESSIONS 1**PERSPECTIVE DIRECTIONS OF MATHEMATICAL
MODELING**

- **mathematical modeling of objects and processes**
- **mathematical methods in mechanics, chemical technology and engineering**
- **simulation modeling**

MODELLING STUDY OF WATERFLOODING PROCESSES WITH MAGNETIC FIELD APPLICATION

Alizade E.F.

Junior Researcher, Scientific Research Institute “Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry”

ABSTRACT

Waterflooding remains one of the most widely applied and cost-effective secondary recovery methods in the petroleum industry. However, in mature and low-permeability reservoirs, conventional water injection often leads to inefficient sweep patterns and uneven displacement fronts, resulting in residual oil saturation and reduced recovery efficiency. Recent research has shown that the application of magnetic fields to the injection water can alter its physicochemical properties, thereby improve oil-water interaction and enhance displacement performance. This study presents a comprehensive modeling and simulation analysis of waterflooding processes under magnetic field conditions using the CMG (Computer Modelling Group) simulation software. The modeling was performed for a five-year production period (2025-2029) using low-salinity injection water (1000 ppm) under linear and five-spot patterns with magnetic field application. Two injection patterns, linear and five-spot systems were evaluated to determine the most effective flooding configuration.

KEYWORDS: waterflooding, magnetic field, enhanced oil recovery, reservoir simulation, salinity, injection pattern.

INTRODUCTION

Efficient management of oil and gas reservoirs requires advanced simulation and modeling tools that can accurately represent complex geological formations and fluid flow behavior. Among such tools, the Computer Modelling Group (CMG) software suite has become one of the most widely used platforms in the petroleum industry. It provides a comprehensive framework for the simulation of reservoir development processes, including water and gas injection, as well as the research and optimization of enhanced oil recovery (EOR) methods [1]. Water injection is one of the earliest and most effective methods for maintaining reservoir pressure and improving oil displacement efficiency. The primary objective of water injection is to maintain reservoir pressure and enhance oil mobility, thus increasing recovery efficiency during secondary production stages [2,3]. In the Azerbaijani oil industry, water injection has played a critical role in the development and prolonged productivity of mature fields, especially in the Absheron Peninsula and offshore Caspian Sea regions. Fields such as Balakhani, Sabunchu, Surakhani and Bibiheybat have been among the earliest sites where water injection was applied to sustain production rates and prevent reservoir depletion [4]. Recent studies have also focused on magnetized water injection, where the injection water is exposed to a magnetic field before entering the reservoir. This process alters the physicochemical properties of the water,

improving its ability to displace oil and reduce interfacial tension, which can further enhance recovery efficiency compared to conventional water injection methods. Through a simulation-based analysis, the research evaluates the efficacy of water injection technology, its consequent impact on reservoir performance and proposes optimization strategies designed for the specific geological and operational constraints of mature oil fields [5].

RESULTS & DISCUSSIONS

In the conducted modeling study, water flooding was simulated using low-salinity water (1000 ppm) under both non-magnetic and magnetic conditions, with the aim of selecting the more efficient method and determining the most effective flooding pattern (linear or five-spot system). The simulation was carried out for a total period of five consecutive years, 2025, 2026, 2027, 2028 and 2029 (Figure I).

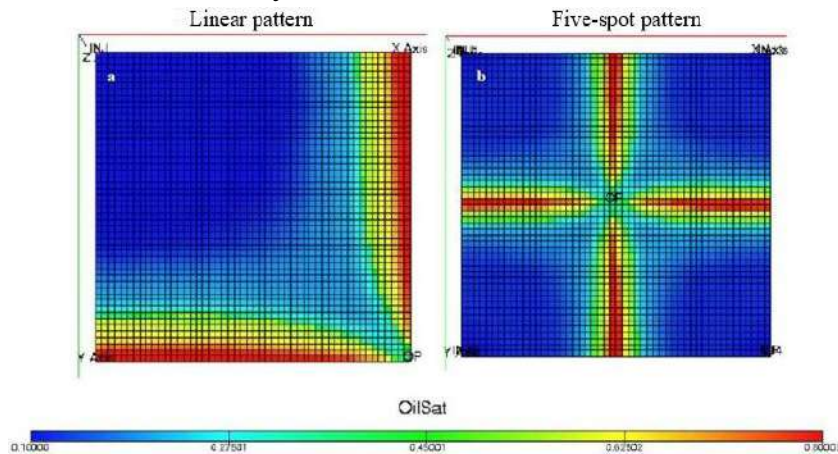


Figure I. Oil saturation during waterflooding for the linear (a) and five-spot (b) injection patterns with magnetic field application.

In the linear pattern (part “a” of the Figure I), the injection wells are located diagonally at the corner points of the reservoir, resulting in unidirectional water movement. Consequently, the displacement of oil by water occurred unevenly, leaving high oil saturation levels in the corner areas of the reservoir. In contrast, in the five-spot pattern (part “b” of the Figure I), water entered the reservoir radially through four injection wells positioned at the corners around a centrally located production well, displacing oil toward the center in a more symmetrical manner. This led to a more uniform displacement front and fewer regions of residual oil saturation.

Figure II shows the variation in oil production over the studied years for the linear and five-spot waterflooding models with magnetic application. Analysis of the graph indicates that for the linear flooding pattern, oil production reached its maximum level of 1.68 tons/day by the end of the second year, after which it began to decline in subsequent years, eventually falling to a final value of 1.49 tons/day. The five-spot pattern flooding model was noted for more effective displacement results, with production continuing at an increasing rate over the years, reaching an optimum level of 2.05 tons/day by the end of the fourth year.

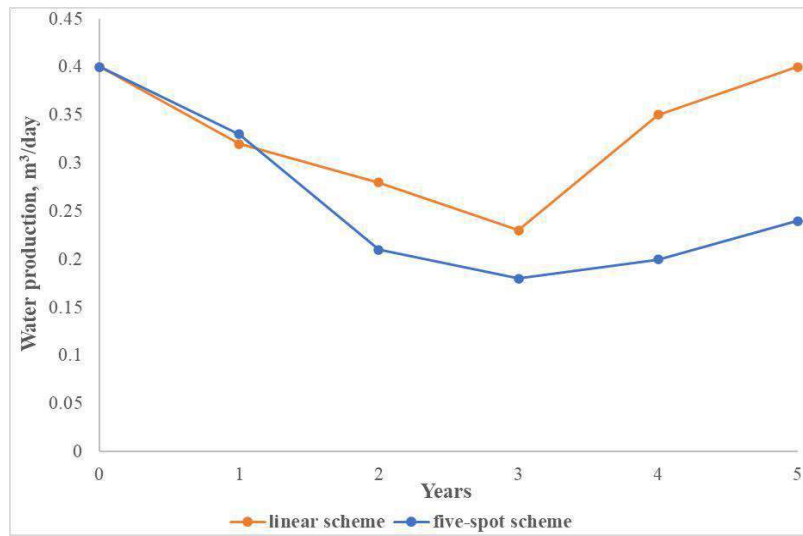


Figure II. Oil production during waterflooding for the linear and five-spot injection patterns with magnetic field application.

Figure III depicts presents a comparative overview of the annual variation in water production during the modeling of waterflooding using linear and five-spot patterns with magnetic application. Over time, a decrease in water production was observed in both patterns. Specifically, in the second and third years, water production in the five-spot pattern dropped to 0.21 and 0.18 m³/day, respectively, whereas these indicators were somewhat higher in the linear pattern. After the third year, an increase was observed in both patterns, with water production in the linear pattern rising more rapidly to 0.4 m³/day by the fifth year, while the increase in the five-spot pattern was relatively weaker, reaching only 0.24 m³/day.

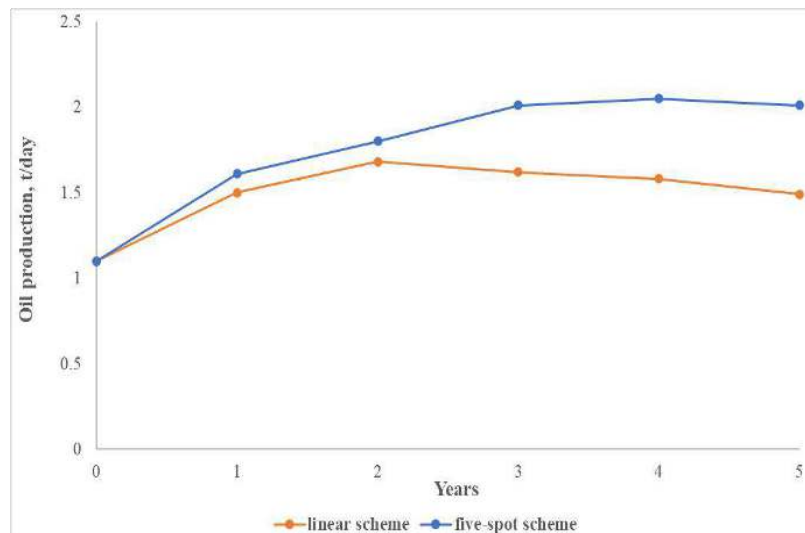


Figure III. Water production during waterflooding for the linear and five-spot injection patterns with magnetic field application.

CONCLUSIONS

1. The five-spot injection pattern demonstrated superior performance to the linear pattern, establishing a more symmetrical displacement front that minimized residual oil saturation and provided a more efficient and uniform sweep of the reservoir.

2. Based on the analysis, it is concluded that the five-spot injection scheme yields a superior and more sustained production profile compared to the linear scheme, achieving a peak production of 2.05 t/day; however, a slight decline in the final year suggests the eventual onset of production fatigue.
3. Based on these findings, it is concluded that the application of a magnetic field to a five-spot injection scheme provides superior conformance control, significantly suppressing water production and thereby enhancing the efficiency of oil displacement compared to a linear flood pattern.

REFERENCES

1. Computer Modelling Group, 2012, “Advanced process and thermal reservoir simulator”. Computer Modelling Group Ltd., Calgary, AB, Canada, p.220.
2. Asadollahi, M.2012. Waterflooding optimization for improved reservoir management. Ph.D. Thesis. NTNU, Trondheim, Norway, p.133.
3. Kang, W.L., Zhou, B., Issakhov, M., Gabdullin, M. “Advances in enhanced oil recovery technologies for low permeability reservoirs” Volume 19, Issue 4, Petroleum Science Journal, August 2022, Pages 1622-1640.
4. A.M.Mammədzade. // “Nanotechnological Foundations for the Application of Physical Fields and Nonequilibrium Effects in Oil and Gas Production” // . Baku-2021, p.207.
5. A.M. Mamed-zade, E.N. Aliyev, E.F. Alizade, T.Kh. Malikov, N.S. Bayramova, K.A. Aliyeva. The effect of electrokinetic phenomena on the flow of reservoir fluids in a porous medium // – Baku: Proceedings of Scientific-Research Institute “Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry, – 2024. Vol.24, Issue 01, – p.5-16.

DYNAMIC PULL-IN MECHANISMS OF ELECTRICALLY ACTUATED MEMS

Andrianov I.V.¹, Koblik S.², Starushenko G.A.³

¹ RWTH Aachen University, Aachen, Germany

² Independent Researcher, Indianapolis, USA

³ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

MEMS are now widespread in modern engineering. They combine such useful properties as small size, light weight, inexpensive operation, and low-power consumption. MEMS are interesting and attractive systems that offer unique and intelligent technological solutions. In this regard, the accurate modelling of the mechanical behavior of such structures is of great importance. However, the following difficulties might arise. The electric forces are inherently strongly nonlinear. The micro- and nanoscale components undergo large deflections, that is why geometric nonlinearity is significant. Therefore, the mathematical models for MEMS contain power and non-power nonlinearities and are difficult to analyze. One of the essentially nonlinear effects is the pull-in phenomenon, i.e., collapse of the system when values of applied DC or/and AC voltages overcome some threshold. If only DC voltage is applied and it increases monotonically, the stable equilibrium (node) and unstable equilibrium (saddle) coincide at a saddle-node bifurcation (static pull-in). Application of the AC voltage can lead to dynamic instabilities of various natures – parametric resonances, nonlinear resonance due to the forcing signal, bifurcations. Such phenomenon is called dynamic pull-in. In the present paper, numerical algorithm is used to analyze various mechanisms of the dynamic pull-in for electrically actuated rectangular microplate.

The nonlinear vibrations of a rectangular micro under the action of Coulomb force can be described by the following equation:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \psi \frac{\partial w}{\partial t} + V_b^2 w - B_1 \int_0^1 \int_0^1 \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1}{b^2} \frac{\partial w}{\partial y} \right) dx dy V_b w - \frac{(\alpha + \alpha_1 \sin \omega t)^2}{(1-w)^2} = 0, \quad (1)$$

where $V_b = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{b^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2}$; $x = \frac{X}{a_1}$; $y = \frac{Y}{b_1}$; $b = \frac{b_1}{a_1}$; $t = \frac{T}{a_1^2} \sqrt{\frac{D}{\rho \delta}}$; $w(x, y, t) = \frac{W(X, Y, T)}{d}$

$$B_1 = \frac{d^2}{2D} B; B = \frac{E \delta}{1-\nu^2}; D = \frac{B \delta^2}{12}; \psi = \frac{a_1^2}{\sqrt{\rho \delta D}} \Psi; \alpha = \frac{a_1^2 V_0}{d} \sqrt{\frac{\varepsilon^* \varepsilon_0}{2dD}}; \alpha_1 = \frac{a_1^2 V_1}{d} \sqrt{\frac{\varepsilon^* \varepsilon_0}{2dD}};$$

$\omega = a_1^2 \Omega \sqrt{\frac{\rho \delta}{D}}$; ε^* , ε_0 are the relative and vacuum permittivities; V_0 (V_1) is the magnitude of DC (AC) voltage; Ω is the AC frequency; Ψ is the damping coefficient; ρ is the flexible plate mass density.

It is assumed that the plate is clamped along the contour

$$w = 0 \text{ at } x = 0, 1; y = 0, 1; \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \text{ at } x = 0, 1; \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \text{ at } x = 0, 1. \quad (2)$$

To reduce the original PDE to an ODE, we use the following ansatz:

$$w(x, y, t) \approx u(t)\theta(x, y); \theta(x, y) = \sin^2(\pi x)\sin^2(\pi y). \tag{3}$$

Then we apply the Kantorovich procedure and obtain an ODE

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \psi \frac{du}{dt} + c_1u + c_3u^3 + (\alpha + \alpha_1 \sin\omega t)^2 I(u) = 0, \tag{4}$$

$$c_1 = \frac{16\pi^4}{9} \left(3 + \frac{2}{b^2} + \frac{3}{b^4} \right); c_3 = \frac{\pi^4}{4} B_1 \left(1 + \frac{1}{b^2} \right)^2; I(u) = \frac{64}{9} \int_0^1 \int_0^1 \frac{\theta(x, y) dx dy}{[1 - u\theta(x, y)]^2}.$$

Let us denote the static pull-in value as α_{pi} . Then for each $0 < \alpha < \alpha_{pi}$ there is a stable u_{st} and unstable u_{unst} equilibrium point. Next, we solve equation (4) for given values of DC α ($0 < \alpha < \alpha_{pi}$), amplitude α_1 and frequency ω of AC under zero initial conditions. Eq. (4) is solved numerically by the Runge-Kutta method over a longtime interval. We vary the amplitude α_1 and use a binary search to find the value α_{1pi} such that when $\alpha_1 < \alpha_{1pi}$ the displacement u is less than the given value u_{lim} , and for $\alpha_1 > \alpha_{1pi}$ the displacement u exceeds u_{lim} . Both u_{unst} and the largest permissible value $u = 1$ were used as u_{lim} . Calculations carried out with $u_{lim} = u_{unst}$ and $u_{lim} = 1.0$ coincided with an accuracy of up to 10^{-4} . The comparison with the results of calculations based on other methods, as well as with experimental results shows sufficient accuracy of the proposed algorithm and the adequacy of the adopted model. For the simulation, the physical parameters of a typical device were selected: $b = 1, B_1 = 6.00, \psi = 0.100$. The static pull-in value for movable plate with these parameters is $\alpha_{pi} = 14.471$. The step size of frequency ω change was chosen to be 0.01. For convenience, the discrete points are connected by continuous curves (Fig. 1-3). Periodic (stable) solutions of Eq. (4) correspond to points α_1 located below the graph $\alpha_{1pi}(\alpha, \omega)$, and non-periodic (unstable) solutions correspond to points α_1 allocated above the specified graph.

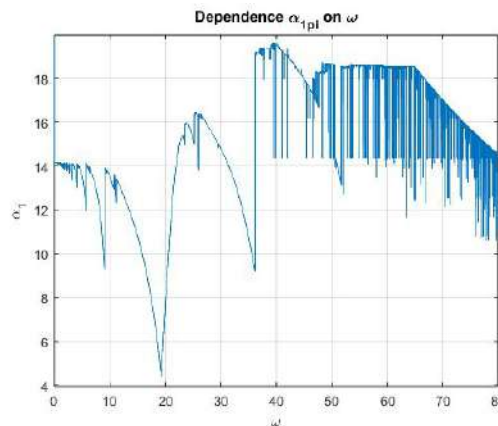


Figure 1 – Dependence of the dimensionless dynamic pull-in α_{1pi} on the dimensionless frequency ω in the absence of a DC voltage ($\alpha = 0$)

At low frequencies the difference between values of dynamic and static pull-in is small. At points $\omega \approx 9.0, \omega \approx 19.3, \omega \approx 36.2$ the value of the dynamic pull-in α_{1pi} is

significantly less than α_{pi} , which is explained by the presence of resonances. Let us analyze the nature of these resonances. Eq. (4) for $\alpha = 0$ can be written as follows:

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \psi \frac{du}{dt} + c_1u + c_3u^3 = \frac{32}{9} \varphi_1 \alpha_1^2 (\cos 2\omega t - 1) I(u) - 1/4 + \frac{8}{9} \varphi_2 \alpha_1^2 (\cos 2\omega t - 1). \quad (5)$$

The parameters φ_i take the values 0 or 1. Eq. (5) contains both force ($\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 1$) and parametric ($\varphi_1 = 1, \varphi_2 = 0$) excitations. Let us conduct numerical experiments, by neglecting the parametric excitation in one case ($\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 1$), and by discarding the force excitation ($\varphi_1 = 1, \varphi_2 = 0$) in the second case. The results are presented in the Figs. 2 and 3.

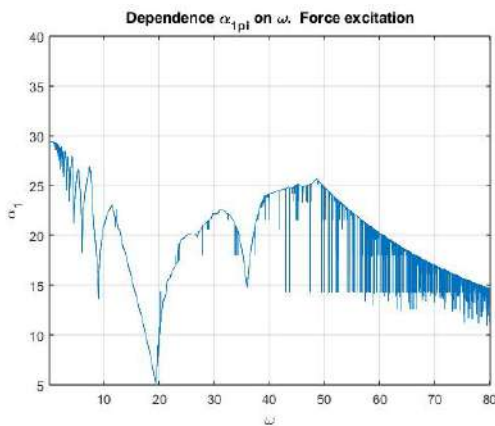


Figure 2 – Numerical experiment: force excitation ($\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 1$)

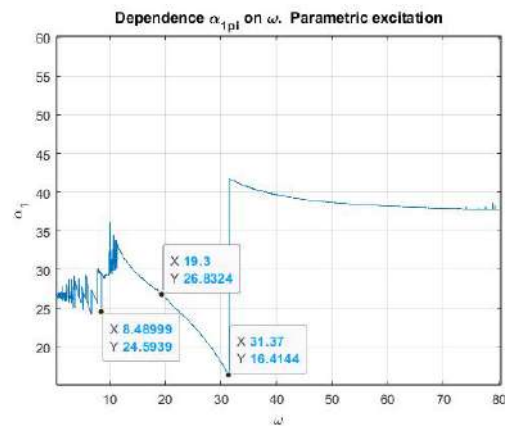


Figure 3 – Numerical experiment: pure parametric excitation ($\varphi_1 = 1, \varphi_2 = 0$)

At the points $\omega \approx 9.1, \omega \approx 19.4, \omega \approx 36.0$ (Fig. 2) the values of the dynamic pull-in, as can be seen in Fig. 2, are significantly less than at other neighboring points. This confirms the presence of resonances caused by a driving force. We also note that the chaotic behavior of an electromechanical system at high excitation frequencies qualitatively coincides with the behavior of a force driven Duffing equation.

In Fig. 3, in the neighborhood of the point $\omega \approx 19.3$, the dynamic pull-in does not have an extremum at all. At the points $\omega \approx 8.5$ and $\omega \approx 31.4$, the dynamic pull-in reaches local minimum values $\alpha_{1pi} \approx 24.6$ and $\alpha_{1pi} \approx 16.3$. This allows us to assume the presence of parametric resonances at these points. In addition, judging by the discontinuous behavior of the solutions, these points may be bifurcation points as well.

Numerical experiments allow us to draw a conclusion about the nature of the emerging resonances. This provides useful information in practical situations. Knowing the resonant frequencies allows us to avoid them in operating electromechanical systems. This can be achieved by changing the AC voltage frequency or by modifying the parameters of the system itself. On the other hand, knowledge of the resonant frequencies allows us to design new and more effective devices.

**EXERGY EFFICIENCY EVALUATION OF ADSORPTIVE HEAT –
MOISTURE REGENERATORS BASED ON COMPOSITE ADSORBENTS
‘SILICA GEL – SODIUM SULPHATE’**

Belyanovskaya E.A., Sukhyy K.M., Serhienko Ya.O.

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

The constant increase in energy consumption worldwide is driving the search for new ways to use energy resources more efficiently and rationally. It is estimated that global energy consumption will increase by around two-thirds between 2003 and 2030, and 80% of energy currently comes from fossil fuel resources [1]. Conventional steam-compressor thermal plants are powered by high-quality electrical energy, consuming a large amount of primary energy resources, which significantly increases the consumption of fossil fuels; and also, to a large extent, contributes to the greenhouse effect. Peak loads on electricity in the summer are becoming more frequent due to the general increase in the use of air conditioners and refrigeration equipment. In these conditions, not only measures to increase the energy efficiency of traditional thermal units are becoming relevant, but also the development of new devices that allow the utilization of low-potential energy resources. One of the key items of the thermal load of residential buildings is the heating of supply air. A promising device for heating the supply air is an adsorptive heat and moisture regenerator.

The given work is focused on the development of the algorithm of evaluation of exergy efficiency of adsorptive heat moisture regenerator.

The key efficiency criteria include the exergy efficiency of the adsorption heat and moisture regenerator. The operation mode of the adsorption regenerator involves the alternation of two phases, which correspond to the supply and exhaust of air passing through the cassettes filled with the adsorbent. As adsorbent, composite adsorbents ‘silica gel – sodium sulphate’ are used.

The exergy efficiency of the regenerator is defined as

$$\varepsilon = \frac{E_{rec}}{E_{sup}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

where ε refers to the exergy factor, E_{rec} and E_{sup} are exergy recovered and exergy supplied, respectively.

The recovered exergy, which obviously corresponds to the adsorption stage at the supply or exhaust, is calculated similarly [2]

$$E_{rec} = Q_{ads.inf} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{fin.r}}\right) + Q_{ads.otf} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{fin.str}}\right) \quad (2)$$

where Q_{ads} is heat of adsorption at supply or exhaust, kJ, $T_{fin.r}$ and $T_{fin.str}$ are final temperatures of incoming or exhaust air, K; T_0 is considered to be the temperature of the outside air, K.

The exergy supplied can be calculated as the sum of the exergies resulting from the operation of the fans at supply and exhaust.

Exergy losses correspond to exergy losses during air mixing at the cold and warm ends of the regenerator which calculated according [3]:

$$\Delta E_{inf} = T_{0str} \cdot C' \cdot \left(V_{inf} \ln \frac{T_{fin.r.aft.mix}}{T_{fin.r}} + V_r \cdot \ln \frac{T_{fin.r.aft.mix}}{T_{0r}} \right) \quad (3)$$

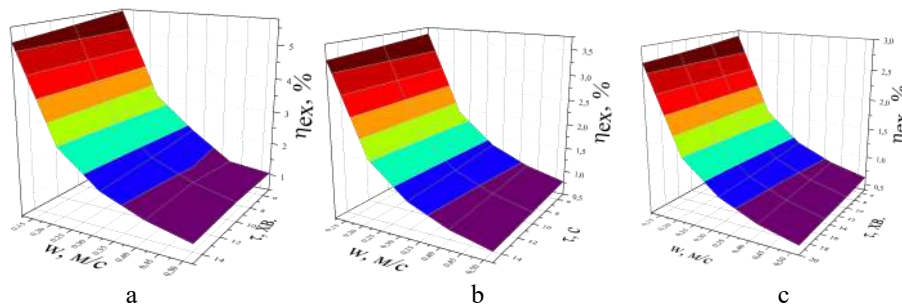
$$\Delta E_{outf} = T_{0str} \cdot C' \cdot \left(V_{outf} \ln \frac{T_{fin.str.aft.mix}}{T_{fin.str}} + V_{str} \cdot \ln \frac{T_{fin.str.aft.mix}}{T_{0str}} \right) \quad (4)$$

де ΔE_{inf} and ΔE_{outf} are the exergy losses as a result of the irreversibility of the air mixing processes at the warm and cold ends of the regenerator, T_{0str} is the temperature of the outside air, i.e. the ambient temperature, K; T_{0r} is the initial air temperature in the room, K; V_{outf} and V_{str} are the air volumes at supply or exhaust, respectively, m³; C' is the volumetric heat capacity of air, kJ/m³·K; $T_{fin.r}$ is the final temperature of the cold air at supply (at the warm (inner) end of the regenerator), K; $T_{fin.r.aft.mix}$ is the temperature in the room after mixing, K; $T_{fin.str}$ refers to the final temperature of the

warm air at exhaust from the room, K; $T_{fin.str.aft.mix}$ is the temperature at the cold (outer) end of the regenerator after mixing, K.

Adsorption, heat of adsorption, final temperatures of inflowing or outflowing air and temperatures at the warm and cold ends of regenerators after mixing are calculated by technique which was proposed earlier [4].

The exergy efficiency is determined by the operating parameters of the regenerator (Fig.). Like the temperature coefficient of heat regeneration, it increases with a decrease in the air flow rate and the time of flow switching. The maximum values of the exergy efficiency are set at an air flow rate of 0.12 - 0.22 m/s, which correspond to the minimum values of the fan power consumption of 70 - 250 W.



a – 0.0628 and 0.53; b – 0.03925 and 0.848; c – 0.0314 and 1.06. Absolute humidity of the outside air 6.5 g/m^3 , absolute humidity of the air in the room 1.0 g/m^3

Fig. Influence of the air flow velocity and the time of switching of air flows on the exergy efficiency for adsorption heat and moisture regenerators based on the composite “20% silica gel– 80% Na_2SO_4 ”. Cross-sectional area of the adsorbent layer, m^2 and thickness of the adsorbent layer, m. a – 0.0628 and 0.53; b – 0.03925 and 0.848; c – 0.0314 and 1.06. Absolute humidity of the outside air 6.5 g/m^3 , absolute humidity of the air in the room 1.0 g/m^3

The exergy efficiency of the heat and moisture adsorption regenerator is also determined by its design characteristics. A decrease in the cross-sectional area of the adsorbent layer contributes to an increase in the exergy efficiency, unlike the heat regeneration coefficient. This can be explained by the fact that the power consumed by the fan increases with an increase in the thickness of the adsorbent layer, since the pressure loss increases, which increases with an increase in the air flow rate and the thickness of the adsorbent layer. The maximum values of the exergy efficiency of the adsorption regenerator correspond to the longitudinal cross-sectional area of $0.0628 - 0.03925 \text{ m}^2$ and the thickness of the adsorbent layer of $0.53 - 0.848 \text{ m}$.

The value of the exergy efficiency is obviously influenced by meteorological conditions, i.e. the ratio of the temperatures of the external and internal air. With an increase in the difference in the temperatures of the external and internal air, an increase in the difference in the final temperatures of the air at the supply and exhaust and the ambient temperature is observed, which contributes to an increase in the obtained exergy according to the equation. In contrast to the heat regeneration coefficient, the maximum values of the exergy efficiency correspond to the temperatures of the external and internal air of $-25 - -20^\circ\text{C}$ and $20 - 25^\circ\text{C}$.

References

1. IEA (2025), Global Energy Review 2025, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>, Licence: CC BY 4.0.
2. Alami, A., Makhlouf, M., Lousdad, A., Khalfi, A., Benzaama, M.-H. Energetic and exergetic analyses of adsorption heat transformer ameliorated by ejector. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2016. Vol. 38. 10.1007/s40430-016-0593-8.
3. Li, G., Qian, S., Lee, H., Hwang, Y., Rademacher, R. Experimental investigation of energy and exergy performance of short term adsorption heat storage for residential application. Energy. 2014. Vol. 65. P. 675-691
4. Belyanovskaya, E.A., Rimár, M., Lytovchenko R.D., Variny M.V., Sukhyy K.M., Yeromin O.O., Sykhyy M. P., Prokopenko E. M., Sukha I.V., Gubinskyi M. V., Kizek, J. Performance of Adsorptive Heat-Moisture Regenerator Based on Composites 'Silica Gel – Sodium Sulphate'. Sustainability. 2020. Vol. 12. P. 5611.

MODELING AND STABILITY ASSESSMENT OF SLOSHING IN HORIZONTALLY AND VERTICALLY PARTITIONED TANKS

Neelam Choudhary¹, Denys Kriutchenko^{2,3}, Vasyl Gnitko²,
Olena Sierikova⁴, Andry Kolodyazhny² and Elena Strelnikova^{2,3,5}

¹ School of Artificial Intelligence, Bennett University, Greater Noida, U.P-201310, India

² A. Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems NAS of Ukraine, Kharkiv 61046, Ukraine

³ Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine

⁴ Hon. Prof, M.S. Bokarius Scientific Institute, Kharkiv, 61177, Ukraine

⁵ V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv 61000, Ukraine

This study presents the development and application of advanced numerical approaches for analyzing the stability of fluid motion in tanks equipped with partitions of various configurations. The stability of sloshing in horizontally and vertically partitioned tanks is a problem of considerable theoretical significance and practical relevance, particularly for aerospace, marine, and terrestrial liquid storage systems. The presence of partitions substantially modifies sloshing dynamics by altering the free-surface frequency spectrum, reorganizing vortex structures, localizing energy, and shifting the onset of resonance. Neglecting these effects can lead to underestimation of dynamic loads, compromise structural safety, and reduce overall system reliability.

Experimental investigation of such processes, while informative, is often prohibitively costly, technically demanding, and in many cases hazardous. Large-scale facilities, sophisticated instrumentation, and rigorous safety protocols are required to reproduce relevant operating conditions. By contrast, computational modeling offers a safe, flexible, and cost-effective framework for examining a wide range of physical regimes and partition configurations.

The aim of the study is to develop a computational methodology for incorporating damping effects into the stability analysis of fluid motion in confined domains (such as reservoirs and fuel tanks) subjected to periodic external excitations. Particular attention is given to the influence of internal baffles, which act as additional elements for vibration attenuation [1].

The investigation considers rigid shells of revolution, partially filled with liquid, that are equipped with either horizontal or vertical partitions. In the present work, potential theory and singular integral equations are integrated with the boundary element method, the subdomain method, and the method of prescribed normal forms [2]. This hybrid approach enables accurate representation of both unpartitioned and partitioned geometries subjected to horizontal and vertical excitations. Stability boundaries are mapped through the Ains–Strett diagram, which provides a clear visualization of transitions from stable to unstable sloshing regimes [3]. The role of damping is examined using the Rayleigh matrix, leading to quantitative estimates of amplitude attenuation and shifts in the critical stability thresholds [4]. The results demonstrate that the introduction of horizontal and vertical partitions has a profound influence on the stability characteristics of fluid motion. The Ains–Strett diagram effectively captures the sensitivity of the system to excitation parameters, while Rayleigh damping analysis confirms its capacity to

suppress oscillations and extend the regions of stability. Taken together, these findings highlight the importance of partitions as a design tool for enhancing the safety and operational reliability of tanks in aerospace vehicles, marine vessels, and stationary energy-storage applications [4].

This study developed a computational framework for modeling free-surface disturbances in fluid containers subjected to horizontal and vertical external excitations. To account for uncertainties in load parameters and initial conditions, fuzzy logic was incorporated into the analysis. The role of Rayleigh damping was examined in depth, demonstrating its significant influence on the system's dynamic response. By employing the α -cut method for fuzzy load parameters and initial conditions, the study produced interval-based predictions that capture the spectrum of possible system behaviors under uncertainty, thereby improving the robustness and reliability of the proposed model. Future extensions of this work will address the incorporation of additional damping mechanisms, including baffles, floating covers, and other structural devices designed to mitigate fluid oscillations. Moreover, the analysis will be broadened to account for capillary effects, which play a critical role in shaping free-surface dynamics at small scales. Particular attention will be devoted to low-gravity environments, where the interplay between capillarity and reduced gravitational forces leads to fluid behaviors markedly different from those observed under terrestrial conditions. These investigations are expected to further enhance the predictive capability and practical applicability of the proposed modeling framework in aerospace, marine, and energy engineering contexts.

References

1. Medvedovskaya T., Strelnikova E., Medvedyeva K. Free Hydroelastic Vibrations of Hydroturbine Head Covers. *Intern. J. Eng. and Advanced Research Technology (IJEART)*. 2015, vol. 1(1) pp. 45 - 50. DOI 10.13140/RG.2.1.3527.4961.
2. Sierikova E., Strelnikova E., Koloskov V., Degtyarev K. The effective elastic parameters determining of three-dimensional matrix composites with nanoinclusions. *Problems of Emergency Situations: Proc. of International Scientific-practical Conference*. Kharkiv: NUCDU, 2021, pp. 327–328, <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/13026>.
3. Sierikova O., Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V. Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 2022, vol. 2, pp.249-257. DOI: 10.37394/23201.2022.21.27.
4. Murawski K. Technical Stability of Very Slender Rectangular Columns Compressed by Ball-And-Socket Joints without Friction, *Int. Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research*, 2020, vol. 4(1), pp. 186-208, DOI: 10.3844/sgamrsp.2020.186.208.
5. Sierikova O., Strelnikova E., Gnitko V., Tonkonozhenko A., Pisia L., Nanocomposites Implementation for Oil Storage Systems Electrostatic Protection, *Conf. Proc. of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – ICTM-2021. Synergetic Engineering*. Springer Nature Switzerland: ICTM 2021, LNNS 367. 2022, pp. 573–585. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_49.

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR MULTIPHYSICS MODELING IN AEROSPACE STRUCTURAL DESIGN

Dmytro Tishchenko, Yurii Tkachov

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Introduction. Modern aerospace structure design requires the integration of aerodynamic, thermal, mechanical, electromagnetic, and chemical processes to ensure accurate prediction of operational regimes, structural reliability, and effective mass-energy performance characteristics. Traditional approaches, which model individual processes in isolation, do not provide the necessary accuracy for estimating thermomechanical stresses and aeroelastic effects, whereas multiphysics modeling allows for the integration of heterogeneous physical models into a single computational environment, enhancing the fidelity of predictions under complex loading conditions (Yu et al., 2022; Georgiadis et al., 2025). However, the absence of unified principles for model construction, coupling strategies, and verification and validation (V&V) procedures limits the application of multiphysics approaches in structural design (Greenslade et al., 2022), while the implementation of data-driven methods and hybrid physics-informed models creates the potential for reducing computational complexity without sacrificing physical fidelity (Brunton et al., 2021). The scientific problem lies in the lack of a systematic approach to the hierarchy of physical detail, parameterization methods, and criteria for fidelity. The goal of the study is to form a conceptual framework model that will ensure the integration of interdisciplinary physical processes, the unification of model construction, and the enhancement of reproducibility and adaptability of results in the structural design of aerospace systems.

Purpose. The proposed conceptual framework integrates CFD–FEM (Computational Fluid Dynamics – Finite Element Method) coupling principles, adaptive discretization strategies, and data-driven surrogate modeling within a unified methodological framework for multiphysics structural analysis in aerospace design.

Methods. The framework methodology integrates numerical methods, physical models, and data-driven analytics to describe multiphysics processes in aerospace system structures, applying CFD–FEM coupling for the consistent accounting of aeroelastic, thermomechanical, convective, and plasmadynamic effects. Discretization is performed using the Finite Element Method for deformations and the Finite Volume Method (FVM) for fluid flow, utilizing adaptive meshes. Complexity reduction and the construction of surrogate models are achieved using Physics-Informed Neural Networks (PINNs) and machine learning methods. Calculations are performed on parallel frameworks with verification via mesh sensitivity analysis and benchmark problems (Yu et al., 2022; Georgiadis et al., 2025; Brunton et al., 2021; Greenslade et al., 2022; Alotaibi et al., 2025).

Results and Discussion. The proposed conceptual framework for multiphysics modeling demonstrated effectiveness in three classes of problems: aerothermomechanical fluid-structure interaction, deformation of flexible shells under aerodynamic pressure, and plasmadynamic effects. Fully coupled CFD–FEM modeling with Conjugate Heat Transfer (CHT) ensures the reproduction of

temperature gradients with an error of <26% (Georgiadis et al., 2025). The integration of unsteady thermophysics and aeroelastic effects confirms a linear dependence of membrane aeroshell deformation on aerodynamic pressure (Yu et al., 2022). The use of modular frameworks, such as Open-source MultiPhysics Framework for Plasma Applications (OP2A), stabilizes the numerical integration of the Navier–Stokes equations and plasmadynamic models (Greenslade et al., 2022). Typical surrogate PINNs models achieve a 40–55% reduction in computational cost in benchmark cases while retaining physical interpretability and an accuracy of <5% (Brunton et al., 2021). Furthermore, multiphysics analysis of composites enhances the fidelity of residual stress estimation (Alotaibi et al., 2025). Simultaneously, the results indicate a critical dependence of accuracy on the choice of models, coupling schemes, and the availability of high-quality training data for data-driven components, which underscores the necessity for validation standardization, unification of coupling strategies, and integration with optimization methods.

Conclusions and Perspectives. Multiphysics modeling provides a robust methodological foundation for modern aerospace structural design by integrating solid mechanics, aerodynamics, heat and mass transfer, plasma effects, and material science processes. The developed conceptual framework contributes to these advances by structuring multiphysics coupling principles and promoting reproducibility in model construction. Its implementation enhances prediction fidelity, reduces computational uncertainty, and enables efficient parametric studies through physics-informed and data-driven surrogate models. Future development should focus on unifying hierarchical problem decomposition, standardizing CFD–FEM–CHT coupling strategies, integrating physics-based and data-driven approaches within a single computational framework, and formalizing verification and validation procedures to increase confidence in numerical predictions. Such structured frameworks are critical for reliable design under complex operational conditions and high-performance requirements.

References

1. Alotaibi, H., Soutis, C., & Jabbari, M. (2025). FEM and FVM Methods for Design and Manufacturing of Hierarchical Aerospace Composites: A Review. *Applied Sciences*, 15(16), 8896. <https://doi.org/10.3390/app15168896>
2. Brunton, S. L., Nathan Kutz, J., Manohar, K., Aravkin, A. Y., Morgansen, K., Klemisch, J., Goebel, N., Buttrick, J., Poskin, J., Blom-Schieber, A. W., Hogan, T., & McDonald, D. (2021). Data-Driven Aerospace Engineering: Reframing the Industry with Machine Learning. *AIAA Journal*, 1–26. <https://doi.org/10.2514/1.j060131>
3. Georgiadis, N. J., Wernet, M. P., Crowe, D. S., Woeber, C. D., Karaman-Shoemake, K. C., & Winkler, C. M. (2025). Assessment of Multiphysics Computations of Flow over a Film-Cooled Plate. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 1–20. <https://doi.org/10.2514/1.t7062>
4. Greenslade, T. J., Donaldson, N. L., & Kim, M. K. (2022). OP2A: A Multiphysics Fluid Simulation Framework. *AIAA SCITECH 2022 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2022-0826>
5. Yu, M., Qiu, Z., Lv, B., & Takahashi, Y. (2022). Multiphysics Mathematical Modeling and Flow Field Analysis of an Inflatable Membrane Aeroshell in Suborbital Reentry. *Mathematics*, 10(5), 832. <https://doi.org/10.3390/math10050832>

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) STRUCTURES

Jafarov F.F.

Doctoral student at the Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

Orcid:0009-0005-3922-4356, jafarovfarid3@gmail.com

Abstract. This paper examines the key trends in the application of composite materials in the structures of unmanned aerial vehicles (UAVs). The study highlights the main classes of polymer- and hybrid-matrix composites used in modern UAV design and evaluates their mechanical, physical, and operational advantages compared to conventional metallic alloys. Special attention is given to the weight reduction achieved by high-strength fiber-reinforced plastics, leading to increased flight endurance, improved payload efficiency, and enhanced aerodynamic performance. Additionally, technological approaches for the manufacturing of composite UAV components are reviewed, including automated fiber placement, autoclave curing, and resin transfer molding. Practical recommendations on selecting composite materials for individual structural elements — such as the fuselage, wing, rotor blades, and fairings — are also provided.

Keywords: composite materials; UAV structures; carbon fiber reinforced plastic (CFRP); glass fiber composites; fiber reinforcement; high-strength lightweight design; manufacturing technologies.

Introduction. Composite materials (CMs) have become widely used in the aerospace industry, particularly in the design of unmanned aerial vehicles (UAVs). Their low density, high specific strength and stiffness, corrosion resistance, and favorable manufacturability make composites essential for modern lightweight airframes — including fuselages, wings, rotor blades, tail assemblies, and sensor fairings.

Energy efficiency is a critical requirement for UAVs, and it is strongly dependent on structural mass. Reducing weight directly increases flight endurance, payload capacity, and maneuverability, which explains the rapid growth of composite adoption in tactical, commercial, and long-endurance UAV platforms.

2. Materials and Manufacturing Techniques for Composite UAV Structures

The most commonly used composite systems in UAV engineering are based on polymer matrices reinforced with continuous fibers: Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP)-characterized by high stiffness-to-weight ratio and electrical conductivity (useful for load-bearing structural components); Glass Fiber Reinforced Polymers (GFRP) -featuring radio transparency and high impact resistance, suitable for radomes and antenna covers; Aramid fiber composites (e.g., Kevlar) - providing excellent resistance to vibration, ballistic impacts, and fatigue-related damage; sandwich structures — typically employing lightweight Nomex or Rohacell honeycomb cores to maximize bending stiffness and minimize weight [1, 2].

Table 1 summarizes the leading manufacturing technologies used for UAV composite components, correlating fabrication method with mechanical performance and production scale.

Table 1

Typical UAV Structural Components Made from Composites

UAV Assembly	Composite Material	Primary Functional Requirement	Manufacturing Process
Wing & Spar Structures	CFRP	High bending stiffness and aerodynamic load resistance	Prepreg lay-up + Autoclave curing
Fuselage & Skin Panels	CFRP / GFRP Sandwich Structures	Lightweight, high structural integration, impact tolerance	Vacuum-assisted resin infusion (VARI), Hand lay-up
Propeller / Rotor Blades	CFRP + Kevlar®	Fatigue strength, dynamic balance, impact protection	Autoclave molding, Resin Transfer Molding (RTM)
Tail Assembly & Control Surfaces	GFRP	Radio transparency, vibration damping	Vacuum forming
Radomes & Antenna Fairings	GFRP	Minimal electromagnetic attenuation	Compression molding

Such material selection ensures an optimized balance between structural efficiency, radar performance, and manufacturability.

Figure 1 illustrates the advantages of composite materials in terms of specific strength compared to aluminum and titanium alloys. The chart clearly shows that composite materials provide significantly higher specific strength, enabling a reduction in overall UAV structural weight without compromising load-bearing capability. This improvement translates into increased flight endurance, maneuverability, and payload efficiency.

Figure 2 shows the dependence of the relative UAV flight endurance on structural mass reduction. As seen in Figure 2, when the aircraft mass is reduced by 10–35%, the flight duration increases nonlinearly — meaning that endurance does not simply grow proportionally to weight reduction, but at a faster rate. This improvement is attributed to enhanced aerodynamics and lower energy consumption of the propulsion system due to reduced overall load.

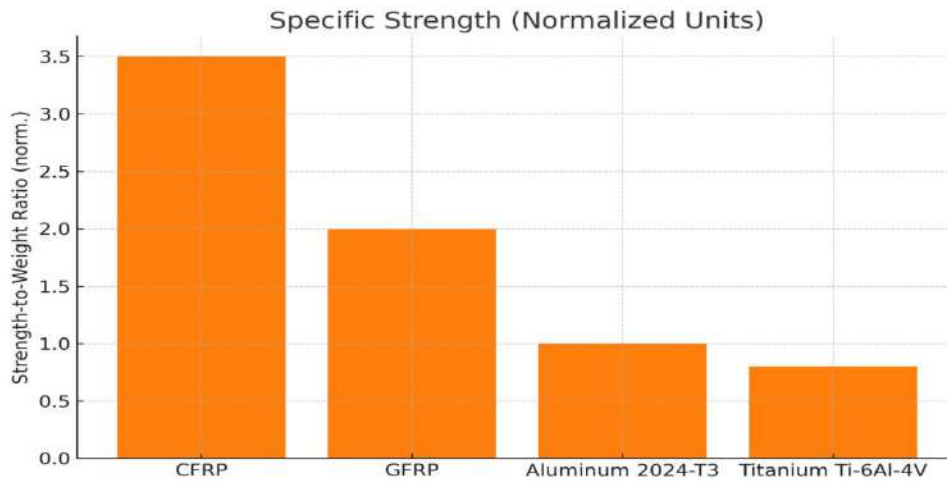


Figure 1. Strength-to-weight ratio of composites versus aluminum alloys

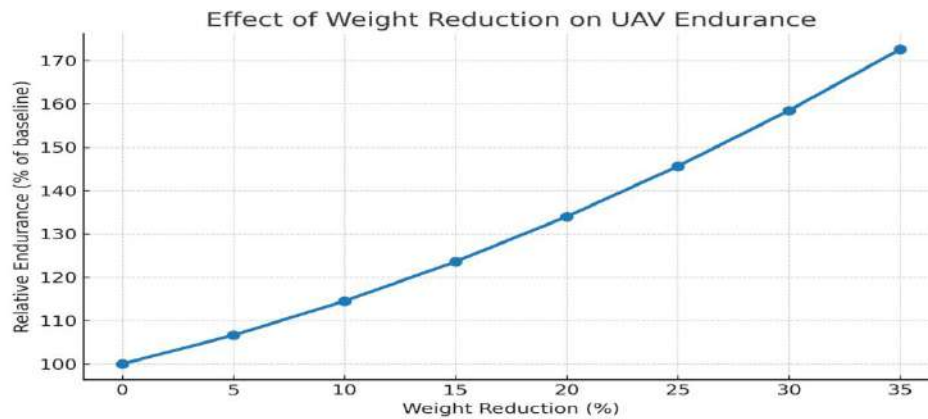


Figure 2. Structural mass contribution to UAV flight endurance

Applied composite materials provide several engineering advantages, including improved aerodynamic shaping (seamless monocoque structures), reduced vibrations beneficial for avionics and gyroscopic sensors, and superior fatigue resistance compared to aluminum alloys. Due to their low density, composites also allow for an increased payload capacity and extended endurance of UAVs [3].

Furthermore, carbon- and aramid-fiber reinforcements exhibit high damage tolerance, while sandwich structures with Nomex or Rohacell cores ensure bending stiffness at minimal weight. These characteristics are particularly critical for long-endurance and high-altitude unmanned platforms.

However, limitations still remain. Composite structures require advanced non-destructive evaluation (NDE) techniques — such as ultrasonic phased arrays and X-ray inspection — to identify delamination or internal defects. Local metallic inserts are often needed in high-stress bolted joints, causing stress concentrations and increasing manufacturing complexity. In addition, autoclave-based production is energy-intensive and costly, which restricts mass-production of large UAV components [4]. In recent years, automated processes such as AFP/ATL (Automated

Fiber Placement / Tape Laying) and out-of-autoclave curing have been introduced to reduce cost while maintaining aerospace-grade quality.

Conclusion

The application of composite materials in UAV structures represents the core technological driver toward improving operational efficiency. Reducing airframe mass and increasing stiffness result in significant growth of flight endurance, climb performance, and payload capability. Future advancements will focus on hybrid nano-reinforced composites with improved multifunctionality, fully automated manufacturing and continuous structural health monitoring (SHM), recyclable and cost-effective resins for sustainable production.

Thus, composites will continue to expand their dominance in next-generation UAV design.

References

1. Kaw A. K. *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press, 2005, p. 490. <https://doi.org/10.1201/9781420058291>
2. Gay D., Hoa S. V. *Composite Materials Design and Applications*. CRC Press, 2002, p. 552. <https://doi.org/10.1201/9781420031683>
3. Campbell F. C. *Structural Composite Materials*. ASM International, 2010, pp. 1-29. <https://doi.org/10.31399/asm.tb.scm.9781627083140>
4. O. Bas, E. Ates, F. Ozturk. Thermoplastic Composite Materials for the Aerospace Industry. *Res Dev Material Sci*, 2021, 15(5), pp. 1745-748. DOI: [10.31031/RDMS.2021.15.000872](https://doi.org/10.31031/RDMS.2021.15.000872)

MATHEMATICAL MODELING OF VIBRATION RESISTANCE OF REINFORCED CYLINDRICAL SHELLS WITH ATTACHED SOLIDS DURING HARMONIC VIBRATIONS

Kairov V.A., Kairov A.S.

Admiral S.O. Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

A special place in the computational practice of engineering structures is occupied by the tasks of calculating the vibration resistance of thin elastic structurally heterogeneous shells of rotation. However, the structural heterogeneity of modern shell systems requires refinement of existing mathematical models and calculation methods. An overview of the studies devoted to this problem are given in the papers [2, 4].

The problem of forced harmonic vibrations and stress-strain state (SSS) of thin elastic cylindrical shells supported by ribs with attached solids is considered. A normally distributed load, varying in time according to the harmonic law, is applied to the surface of the shell. The deformed state of the shell system is considered in a linear formulation based on the theory of discretely reinforced shells using the Kirchhoff-Love hypotheses.

The problem is solved by the finite element method (FEM) [1, 5]. An efficient numerical algorithm and software have been developed. A mathematical model of the dynamic behavior of the shell structure is constructed using isoparametric finite elements.

Using the Lagrange variational principle [1], a system of vibrations equations of the shell structure under study is obtained in the associated coordinate system, represented in matrix form:

$$[M] \frac{d^2 q}{dt^2} + [C] \frac{dq}{dt} + [K] \{q\} = \{F\}, \quad (1)$$

where $\{q\}$ is the matrix-vector of generalized displacements of nodes of a finite element shell model; $[K]$, $[C]$, $[M]$ is the stiffness, damping, and masses matrices; $\{F\}$ is the vector of disturbing forces. Damping coefficients are determined for the entire shell system based on its dissipative properties and damping ability [3].

The solution of the system (1) for small vibrations is sought in the form of

$$\{q\} = \{q_0 (\cos \varphi + i \sin \varphi)\} e^{i\Omega t}, \quad (2)$$

where q_0 is the vector of the amplitudes of the model nodes' movements; Ω is the circular frequency of exciting external forces; i is the imaginary unit; φ is the phase shift for displacements; t is the time coordinate.

The external periodic dynamic load that excites vibrations can be represented as a trigonometric Fourier series:

$$\{F\} = \{F_0 (\cos \psi + i \sin \psi)\} e^{i\Omega t}, \quad (3)$$

where F_0 is the amplitude of forces; ψ is the phase shift.

The stress-strain state of the shell is determined by the stress vector $\{\sigma\} = \{\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}\}^T$, taking into account small elastic deformations

$$\{\sigma\} = [D_\sigma]\{\varepsilon\}, \quad (4)$$

where $\{e\} = [B]\{q\}$ is the deformation vector of the shell; $[D_\sigma]$ is the matrix of elastic constants; $[B]$ is the matrix of gradients of a finite element.

Harmonic analysis of a shell structure is performed by the method of mode superposition [1] based on the decomposition of displacements according to the main forms of natural vibrations previously calculated in modal analysis. Using the obtained values of the vibration amplitudes at the nodes of the elements of the shell, the Cauchy relations and Hooke's law, its deformations and stresses are determined. To solve the problem of modal analysis, the Householder algorithm is used in combination with reverse iterations to determine the eigenvalues and vectors of the shell system.

The calculation method is implemented as a complex of application programs and is generalized for shells of rotation with different meridian profiles. The issues of numerical implementation of the algorithm, stability and convergence of the obtained solutions are considered.

Numerical studies have been performed for pivotally supported and rigidly pinched reinforced isotropic shells with a rigidly attached rigid body. The influence of mechanical and geometric parameters, boundary conditions, and attached bodies on the SSS and amplitude-frequency characteristics of the shells under consideration is analyzed. Using the developed method, the features and patterns of the nature of the effect of reinforcing ribs and attached solids on the stress-strain state of the shell system under study are revealed. The numerical results obtained are compared with the solutions obtained by the Ritz method and using the ANSYS application software package.

Conclusions. The results obtained and the calculation method based on FEM can be used in the design of rib-reinforced shell structures under dynamic loading.

References

1. Bathe K.J. Numerical methods in finite element analysis. Englewood: Cliffs Prentice-Hall, 2006. 564 p.
2. Kairov V.A., Shevchenko V.P. Stress-strain state of reinforced shells with attached solids under forced vibrations. Bulletin of the Dnipro University. Series: Mechanics. 2015. Vol. 19, No. 2, pp. 56-64.
3. Troshchenko V.T., Kuriat R.I., Lebedev A.A. Strength of materials and structures. Kyiv: Academperiodica, 2005. 1086 p.
4. Zarutskii V.A., Lugovoi P.Z., Meish V.F. Dynamic problems for and stress-strain state of inhomogeneous shell structures under stationary and nonstationary loads. International Applied Mechanics. 2009. Vol. 45, No. 3, pp. 245-271.
5. Zienkiewich O.C., Teylor O.C. The finite element method. Fifth edition. Oxford, 2000. 348 p.

CRACK INITIATION AND PROPAGATION IN STRUCTURAL ELEMENTS OF ENERGY MACHINERY

Kyryl Degtiariev¹, Vasyl Gnitko¹, Andry Koshkin², Kristoff Muravski³
Olena Sierikova⁴, Marina Chugay¹ and Elena Strelnikova^{1,3,5}

¹ A. Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems NAS of Ukraine, Kharkiv 61046, Ukraine

² Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine

³ Zelena Gora University, Poland

⁴ Hon. Prof, M.S. Bokarius Scientific Institute, Kharkiv, 61177, Ukraine

⁵ V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv 61000, Ukraine

Energy equipment such as hydro turbine casings, wind and steam turbine blades, and rotating shafts [1,2] is routinely exposed to periodic or short-term impulsive loads. Repeated action of these loads can initiate and propagate crack-like defects, ultimately reducing the durability and service life of structural components. Ensuring accurate predictions of fatigue resistance is therefore essential for the reliability and safety of such equipment.

The present study focuses on the problem of estimating the number of loading cycles to failure for structural elements that contain circular technological holes and are weakened by cracks. The structure is modeled under cyclic tension–compression loading with prescribed amplitude and frequency. To address this, a methodology is developed for evaluating the stress intensity factors in a structural element with two symmetric cracks emanating from the boundary of a hole.

The evaluation of stress intensity factors is formulated as the solution of a singular integral equation, which is numerically treated using the boundary element method. To improve computational efficiency, explicit formulas are derived for the accurate evaluation of singular integrals with Cauchy- and Hadamard-type singularities. The accuracy of numerical solutions is investigated for different density approximations of boundary elements, and it is established that cubic density functions yield significantly improved results compared to lower-order approximations. The unknown densities obtained from the integral equations are then employed to calculate stress intensity factors with high precision.

A comparison of analytical and numerical solutions to the singular equation confirms the validity of the proposed approach. Based on the threshold value of the stress intensity factor, the critical initial crack length marking the onset of crack growth is determined. Using Paris' law, the critical number of loading cycles required for the crack to reach an unacceptable size is calculated, providing a quantitative durability characteristic.

For benchmarking, the critical number of cycles is also evaluated for plates with single isolated cracks and for plates containing chains of cracks. The results demonstrate that, under identical loading conditions, the lowest durability corresponds to structural elements with cracks located in close proximity to technological holes. This finding underscores the necessity of considering stress concentrators in fatigue life assessments and highlights the sensitivity of structural durability to initial defect location and geometry [3].

Numerical modeling of stress concentration in bodies with circular cracks was

performed using the boundary element method (BEM) and the finite element method (FEM). For comparison, analytical solutions of hypersingular integral equations were also employed. The results indicate that the one-dimensional hypersingular equation provides high accuracy, allowing the stress intensity factor to be computed with minimal error. However, the applicability of this approach is limited by the geometry of the problem (circular and elliptical domains). The two-dimensional hypersingular equation offers slightly lower accuracy but is considerably more versatile. The finite element method also yields good results, although it requires significantly greater computational resources [4]. Calculations of the number of cycles to failure of a fuel tank with a crack have been carried out. The results indicate that the presence and location of cracks relative to stress concentrators, such as holes, significantly reduce the durability of structural components. Specifically, elements with cracks adjacent to holes exhibit the lowest number of cycles to failure under identical loading conditions. The methodology also enables quantitative predictions of critical crack lengths and the number of loading cycles to failure using Paris' law, providing valuable guidance for fatigue assessment and design optimization.

Finally, the combined use of BEM, FEM, and analytical solutions offers a comprehensive framework for analyzing crack propagation in engineering structures, balancing computational efficiency, accuracy, and versatility. The findings are particularly relevant for components of energy equipment, such as fuel tanks [5], turbine blades, and rotating shafts, where cyclic or impulsive loads are prevalent.

References

1. Murawski K. Technical Stability of Very Slender Rectangular Columns Compressed by Ball-And-Socket Joints without Friction, *Int. Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research*, 2020, vol. 4(1), pp. 186-208, DOI: 10.3844/sgamrsp.2020.186.208.
2. Medvedovskaya T., Strelnikova E., Medvedyeva K. Free Hydroelastic Vibrations of Hydroturbine Head Covers. *Intern. J. Eng. and Advanced Research Technology (IJEART)*. 2015, vol. 1(1) pp. 45 - 50. DOI 10.13140/RG.2.1.3527.4961.
3. Avramov, K. V. and Strelnikova E. A. Chaotic vibrations of plates two-sided interacting with flux of moving fluid. *Int. Appl. Mech*, 2014, vol. 50, pp. 329-335.
4. Sierikova O., Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V. Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 2022, vol. 2, pp.249-257. DOI: 10.37394/23201.2022.21.27.
5. Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V. Tonkonozhenko A. Liquid Vibrations in Cylindrical Tanks with and Without Baffles Under Lateral and Longitudinal Excitations. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2020, vol. 25(3), pp.117-132, DOI:10.2478/ijame-2020-0038.

CONSTRUCTION OF AN INTERLINEATION OPERATOR FOR DETECTING THE DISTRIBUTION OF SOIL CONTAMINATION BY HEAVY METALS USING REMOTE SENSING METHODS

Persyna I.I.^{1,2}, Kovtun A.V.²

¹National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv National University of Radio Electronics», Kharkiv, Ukraine

Mathematical modeling of soil contamination by heavy metals is relevant and is carried out based on the analysis of emission sources, in particular industrial enterprises. The main factors are the volume and composition of pollutants entering the environment, atmospheric processes of their transport, as well as chemical and physical interactions with the soil cover.

The current full-scale war in Ukraine has significantly exacerbated the problem [1]. Every shell, mine, or air bomb used in the areas of combat is a source of heavy metals that enter the soil. This leads to significant contamination of large areas, especially arable land previously used for agricultural production.

That is, the problem of soil contamination with heavy metals is global, but for Ukraine it has become particularly acute due to prolonged military operations. This poses a direct threat to public health, agricultural productivity and the environment as a whole. Research, monitoring, development and implementation of effective methods [2] for cleaning and remediation of contaminated soils are critically important for ensuring environmental safety.

There are methods that are non-destructive and allow spatial data on possible contamination at a certain depth. They are more often used for preliminary screening, mapping of potentially contaminated sites and identifying areas for detailed sampling, rather than for precise quantification of concentrations.

The aim of the work is to build a mathematical model of the distribution of soil contamination by heavy metals based on the known traces of a function on a given system of straight lines, which are obtained using remote sensing methods.

Problem statement. Let the unknown function $u = f(x, y, z)$ describe the spatial distribution of soil contamination by heavy metals. Experimental data contain information about the concentrations of heavy metals at different points of the studied area: $G_n : (X_n, Y_n, z); X_n, Y_n \in E, E = [0, 1]; 0 \leq z \leq H, n = \overline{1, N}$ and functions $f_n(z), n = \overline{1, N}$ that describe the vertical distribution of pollutants in the soil layer depending on the depth z .

Thus, the following data are known: a set of straight lines $G_n, n = \overline{1, N}$; traces of a function on these straight lines, which is unknown $f_n(z) = f(X_n, Y_n, z), n = \overline{1, N}, f(x, y, z) \in C^r(E^2), r \geq 0$. That is, in this work it is assumed that each well is assigned not one number, but one function - a characteristic of the distribution of the density of soil contamination by heavy metals.

The aim of the work is to build a mathematical model of soil contamination distribution based on the known traces of a function on a given system of straight

lines $L(x, y, z)$ with the properties: $L(X_j, Y_j, z) = f_j(z), j = \overline{1, N}$

Theorem. If $f_k(z) \in C(E), k = \overline{1, N}$, then the operator

$$L(x, y, z) = \frac{\sum_{n=1}^N f_n(z) O_n(x, y)}{\sum_{n=1}^N O_n(x, y)}$$

$$O_n(x, y) = \frac{\rho(P, P_i)^q}{\sum_{i=1, i \neq n}^N \rho(P_n, P_i)^q}, P = (x, y), \rho(P_n, P_i) = \sqrt{(X_n - X_i)^2 + (Y_n - Y_i)^2}$$

is an interlineation operator and satisfies the properties: $L(x, y, z) \in C(R^3)$; $L(X_k, Y_k, z) = f_k(z), k = \overline{1, N}$. For the remainder $Rf(x, y, z) = (I - L)f(x, y, z)$ of the approximation of the function $f(x, y, z)$ by the interlineation operator $L(x, y, z)$, the relation holds

$$|Rf(x, y, z)| \leq C \sum_{n=1}^M (|x - x_n| + |y - y_n|) L_n(x, y), \forall f \in C^1(D \subset [0, H]),$$

$$C = \max_{(x,y) \in D, 0 \leq z \leq H} \left| \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial y} \right|$$

Thus, the maximum error value largely depends on the location of the interlineation lines $G_n, n = \overline{1, N}$, and is estimated using the corresponding function

$$\Psi(x, y, z) = \sum_{n=1}^N (|x - x_n| + |y - y_n|) L_n(x, y), \forall (x, y, z) \in (D \subset [0, H])$$

The operator $L(x, y, z)$ represents a mathematical model of the distribution of soil contamination by heavy metals. In further work, it is planned to modify the developed model with significant consideration of soil heterogeneity.

References

1. Tverdokhlebova N. E., Yevtushenko N. S. Regional ecological safety in martial law conditions // Modern technologies in industrial production: materials and program of the 10th All-Ukrainian scientific and technical conference, April 18-21, 2023 / deputy editor O. G. Husak; Sumy State University of Sumy: SumDU, 2023. P. 177-178.
2. Gichka M. M. Remote sensing in the soil monitoring system of Ukraine / Bulletin of Agrarian Science: Scientific and Theoretical Journal of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, 2005. - No. 12. P. 72-75
3. Sergienko I. V., Zadiraka V. K., Lytvyn O. M., Pershyna I. I. Discontinuous spline theory and its application in computed tomography. – Kyiv: Naukova dumka, 2017. – 314p.

STABILITY OF HOLLOW SHELLS OF LINEARLY VARIABLE THICKNESS UNDER THERMAL LOADS

Smetankina N.V.¹, Misiura Ie.Yu.², Misiura S.Yu.^{1 3}

¹ Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine,

² Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine,

³ National Technical University “KhPI”, Kharkiv, Ukraine

Structures in the form of plates and shells are subjected to various force and temperature fields [1, 2]. Thermal loads lead to additional deformations, which can significantly change the stiffness of thin shells [3].

The study deals with flat smooth steel shells with different thicknesses varying along the meridian, which are rigidly clamped along the contour. The shell is heated uniformly by T degrees, which is accompanied by nonlinear deformation of the shell and a change in its stress state, which affects its deformation forms and loss of stability under further force loading. The shell is then loaded with a pressure of intensity q at a constant temperature field. The properties of the materials are constant and temperature-independent, since in the considered problems the heating temperature was within the permissible limits.

At the first stage of thermal force loading, during which heating occurs, the shape of the deformation of the panels is practically independent of the thickness, both for linearly variable and constant. At the second stage, the heated shells lose their stability under pressure loading, which has its own characteristics for shells of different thicknesses with different preheating intensities.

The analysis of the effect of changes in the thickness of the shells on the value of the upper critical load shows that with an increase in the volume of the shell, the value of its critical load increases during heating and decreases during cooling. It can be concluded that for almost all heating options for panels of linearly variable thickness, this increase is linear, and for panels of constant thickness, it is parabolic.

Thus, the results of studies that take into account the additional effect of temperature heating confirm the greater efficiency and load-bearing capacity of panels of linearly variable thickness compared to panels of constant thickness.

References

1. Malykhina A.I., Merkulov D.O., Postnyi O.V., Smetankina N.V. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series “Mathematical modeling. Information technology. Automated control system”, 2019, vol. 41, pp. 46–54
2. Shupikov A.N., Smetankina N.V., Sheludko H.A. Selection of optimal parameters of multilayer plates at nonstationary loading. *Meccanica*, 1998, vol. 33, no. 6, pp. 553–564.
3. Kurenov S., Smetankina N., Pavlikov V., Dvoretzkaya D., Radchenko V.: Mathematical model of the stress state of the antenna radome joint with the load-bearing edging of the skin cutout. In: Ciobață, D.D. (ed.) ICoRSE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, vol. 305, pp. 287–295.

ANALYSIS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BY TRANSIENT CHARACTERISTICS PARAMETERS IN ECAD

Vasylenko O., Snizhnoi G.

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine

Traditionally, for modeling automatic control systems (ACS) use a small-signal approach. Small-signal models are obtained from full models by linearization in the vicinity of the operating point with further determination of transfer functions for the subsystems of the ACS, in particular, using the Laplace transform. This makes it possible to study the stability of the system by frequency criteria: poles-zeros map, solution map, amplitude-phase hodographs, etc.

Despite the well-developed tools for analyzing ACS in the frequency domain based on averaged and small-signal models, the issue of modeling ACS in the time domain remains, since when studying dynamic characteristics (transient processes), small-signal models do not provide adequate results.

To study electronic power converters, which are a good example of ACS, at the end of the 20th century the Injected-absorbed-current Method [1] was developed, the essence of which is to transition from the full (Switching) model to the Averaged one with the subsequent addition of information about the “small” dynamics of the system in the vicinity of the operating point, which is schematically presented in Figure 1. In this way, a “pseudo-switching” model is formed, in which the dynamic properties of the devices are artificially introduced.

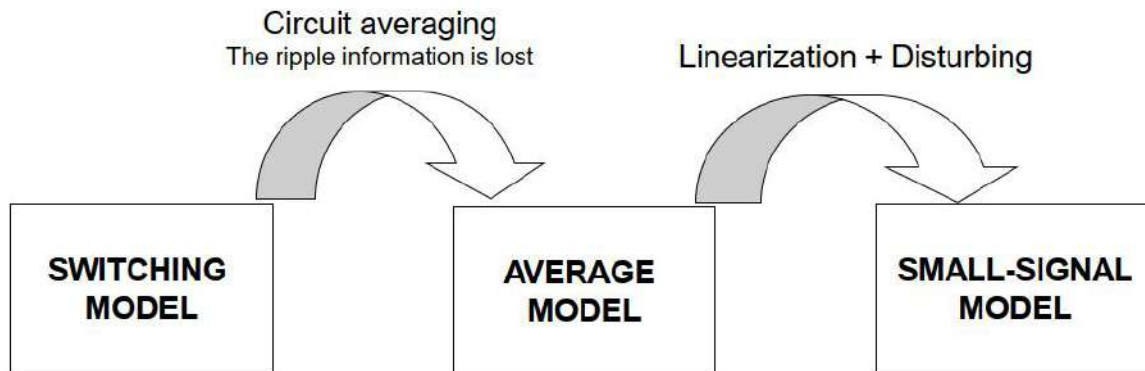


Figure 1 – Sequence of obtaining a pseudo-dynamic model of the converter

Thus, there are two options for obtaining models for the SAC subsystems – for analysis in the frequency domain based on simple averaged models, in which the static characteristics (Transfer functions) are linearized, and for analysis in the time domain based on full dynamic models, which take into account all the features of the static characteristics and do not require linearization, averaging and zero initial conditions to start the simulation.

However, in real ACS the microcontroller performs measurements, calculations and control; so, the main requirements for the designed model are data representation in the time domain and the ability to determine the nonlinearity of parameters in full scale variation of variables [2].

Despite the Thumb Rule that the more complex the system, the simpler the model should be, the computational capabilities of modern computers allow us to study systems based on high-dimensional models represented by algebraic-differential nonlinear equations in a reasonable time. This opens up prospects for developing dynamic models for ACS subsystems and for developing tools for analyzing system quality indicators based on transient parameters, including Maximum overshoot, Rise time, Settling time, etc. It is known that the parameters of dynamic characteristics are related to the parameters of frequency characteristics (upper limit of the bandwidth, resonance), but for complex systems this relationship is described by empirical equations and does not provide the desired accuracy.

Usually, for the analysis of ACS, programs of the CAE (Computer Aided Engineering) and CAS (Computer Algebra System) class are used, for example, 20-sim, SmartCtrl, Mathcad Simulink, in the model libraries of which there are various tools for modeling ACS at high levels of abstraction, in particular, by the methods of Block Diagram, Bond Graph, etc. These programs have appropriate solvers (mathematical cores designed to solve equations of a certain form), which can even take into account the multiphysics of systems. But the greatest accuracy of the dynamic analysis (transient) is provided by ECAD (Electronics Computer Aided Design) programs.

At the stage of developing and assembling the model (modeling stage), ECAD programs (MicroCap, PSIM, LTspice etc.) have the necessary tools (controlled sources) to obtain models in causal form, i.e. creating conditions for unidirectionality of the signal in the Block Diagram method. Transfer functions (TF) of such blocks can be created on the basis of sources with a tabular or functional method of obtaining TF, including with the possibility of programming if the TF is too complex. ECAD programs also have all the necessary set of functions of the post-processor on the stage of simulation (which processes the tables with the results of the solver when analyzing the dynamics of the system) to obtain the above-mentioned parameters of time characteristics, which gives grounds for assessing the quality of the ACS without the need to switch to the frequency domain.

Thus, the task of developing and implementing sustainable methods of synthesis, analysis and optimization of ACS in ECAD arises, which, in turn, requires the development of a methodology for assessing ACS quality indicators by parameters in the time domain.

References

1. A.S. Kislovski; R. Redl and al. Generalization of the injected-absorbed-current dynamic analysis method of DC-DC switching power cells [Electronic resource]. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/230441>
2. Vasylenko, O. Simulation of ACS for Magnetic Susceptibility Measurements in ECAD Based on Time Domain Functions / O. Vasylenko, V. Reva, G. Snizhnoi [Electronic resource] // Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15–19, 2019 – CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353, P. 689–701.

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ В ОБ'ЄМІ ГОЛОВНОГО ОБТІЧНИКА

Біляєв М.М.¹, Семененко П.В.², Біляєва В.В.¹

¹ Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

² ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

На етапі передстартової підготовки ракети-носія виникає дуже важлива задача забезпечення потрібного мікроклімату всередині головного обтічника, де розташоване корисне навантаження. В рамках даної проблеми існує задача прогнозування температурного поля всередині головного обтічника [4], яке формується вентиляцією транспортного відсіку ракето-носія та виділенням тепла від різних елементів космічного апарату [1-3].

В даній роботі для численного моделювання процесу формування температурних полів в головному обтічнику при його примусовій вентиляції було використано рівняння енергії. Це рівняння враховувало: інтенсивність тепловиділення з різних частин супутника; картину обтікання супутника повітряним потоком; теплообмін у транспортному відсіку. Неоднорідне поле швидкості повітряного потоку розраховувалося на основі моделі потенційної течії. Для чисельного інтегрування використано кінцево-різницевої схеми.

Науковою новизною можна вважати створення швидкорозрахункових CFD моделей для аналізу теплових полів всередині обтічника ракети-носія на етапі передстартової підготовки. Розроблений пакет прикладних програм для чисельного моделювання теплових полів. Час розрахунку складає 2 с для одного варіанту задачі. Це дозволяє зробити значну кількість розрахунків на протязі одного робочого дня. Розроблені чисельні моделі можуть бути використані для обґрунтування раціонального режиму вентиляції головного обтічника ракети-носія на етапі передстартової підготовки. Моделі можуть бути використані для первинної оцінки температурного режиму в головному обтічнику на етапі обґрунтування режиму терморегулювання для конкретного супутника або супутникової системи. Наведені результати комплексу обчислювальних експериментів на базі розроблених чисельних моделей.

Список літературних джерел

1. Francisco J.T. Вентиляція відсіків - Критерії проектування космічних апаратів. NASA-SP-8060. 1970, 31 p. Доступно за посиланням: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19710018690>
2. Посібник користувача Falcon. Space Exploration Technologies Corp. Доступно за посиланням: <https://cutt.ly/WettMMly>
3. Булавка С.С. Результати експериментальних досліджень удосконаленої системи термостатування повітря ракет-носіїв, «Наукові нотатки», №71, 2021. – С. 9-15. DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.1
4. Timoshenko V.I, Agarkov A.V, Moshnenko Ju.I, Sirenko V.N, Knyshenko Ju.V, Ljashenko Ju.G. (1999). Problemy termostatirovaniya i obespecheniya sohrannosti kosmicheskogo apparata v period predstartovoj podgotovki i pri vyvedenii na orbitu. Kosmichna nauka i tehnologija, 5, 5/6, 56-64.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Вербицький В.Д., Науменко Н.Ю.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Вступ

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки кількість транзакційних даних зростає експоненційно, що зумовлює потребу у використанні розподілених систем обробки даних. Платформи Big Data, зокрема Hadoop [4], Spark і Flink, забезпечують масштабовану інфраструктуру для моделювання [2] та прогнозування процесів у фінансових системах. Метою даної роботи є розроблення математичної моделі аналізу та прогнозування транзакційних потоків у платіжних системах Visa та MasterCard на основі методів ARIMA та регресійного аналізу.

Основний матеріал

У роботі досліджено процеси опрацювання великих даних у розподіленому середовищі. Система побудована за архітектурою Apache Hadoop [4], що включає компоненти HDFS, MapReduce та YARN [2]. Такий підхід забезпечує паралельну обробку значних обсягів транзакційних даних із високою швидкістю та надійністю.

Для моделювання часових рядів фродових транзакцій використано модель ARIMA(p,d,q) [1, 3], де параметри визначено за допомогою автокореляційних та часткових автокореляційних функцій [1]. Оптимізація моделі здійснювалася за критерієм Акаїке (AIC) [1], а залишки моделі додатково апроксимовано методом лінійної регресії для підвищення точності прогнозу. Математичне моделювання процесу здійснювалось у середовищі R з використанням бібліотек pandas, statsmodels та matplotlib. Результати моделювання продемонстрували, що комбінація ARIMA з регресійною корекцією залишків [3] дозволяє зменшити середньоквадратичну похибку прогнозування на 12–18%.

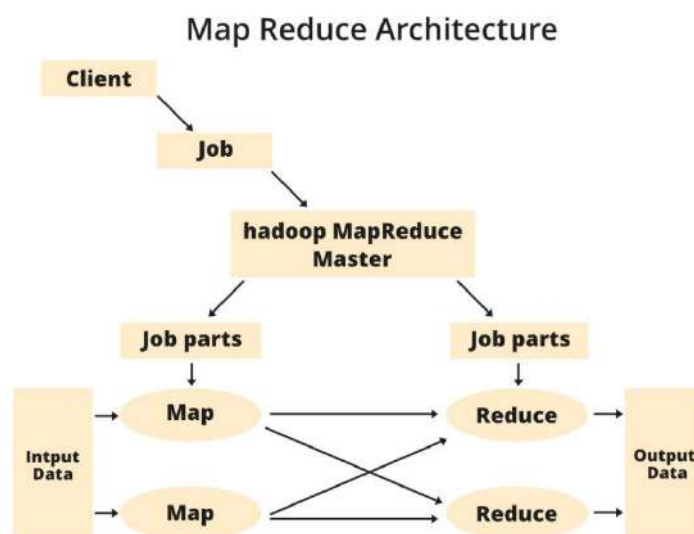


Рисунок 1 – Архітектура системи Big Data для моделювання транзакційних потоків

Висновки

Розроблена модель математичного моделювання транзакційних процесів у платіжних системах дозволяє ефективно прогнозувати кількість фродових операцій у часовому вимірі. Використання технологій Big Data (Hadoop, Spark) [4] забезпечує масштабованість і відмовостійкість обчислень, що робить запропоновану систему придатною для промислового використання в банківських аналітичних системах.

Список літературних джерел

1. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. – Wiley, 2016.
2. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. – Communications of the ACM, 2008.
3. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – OTexts, 2021.
4. White T. Hadoop: The Definitive Guide. – O'Reilly Media, 2015.

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОРПУСА ЕКСТРУДЕРА**Витвицький В.М., Витвицький Вл.М., Мікульонок І.О.,****Сокольський О.Л., Шилович Т.Б.**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Київ, Україна

Вступ. Полімери застосовують майже у всіх галузях виробництва та споживання, причому потреба в полімерних і пластмасових виробах для машинобудування, будівництва, транспорту, аграрного сектору й медицини постійно зростає [1]. У переробці полімерних матеріалів провідну роль відіграє екструзійне обладнання, зокрема одночерв'ячні екструдери, а до недоліків їхньої базової конструкції належить значна витрата води на охолодження завантажувальної ділянки корпусу екструдера, яка потрібна для підтримки необхідного температурного режиму роботи обладнання [2].

Основний матеріал. Вдосконалений спосіб складання завантажувальної секції корпусу циліндра одночерв'ячного екструдера, запропонований авторами у патенті UA153651U, полягає у встановленні знімної циліндричної гільзи в циліндричний канал корпусу, при цьому як інноваційний елемент передбачено нанесення термопасти мінімум на одну з їхніх сполучних поверхонь, що дає змогу заповнити порожнину з повітрям термопастою в кільцевому проміжку між гільзою й каналом корпусу. Оскільки коефіцієнт теплопровідності повітря за температури 20 °С становить 0,026 Вт/(м·К), а термопасти – не менше 4 Вт/(м·К) [3], то термічний опір теплопровідності зазначеного проміжку зменшується щонайменше в 150 разів.

Попередні результати перевірки модернізованої конструкції корпусу на міцність наведені у [4], а в цьому дослідженні поставлено за мету перевірити енергоефективність запропонованого рішення у модулі Steady Thermal програмного комплексу Ansys.

При проведенні розрахунків як перероблюваний полімер було використано полівінілхлорид марки SorVyl G 2171/9005 11/01. Матеріал виконання корпусу, гільзи, завантажувальної воронки та бічних фланців – легована сталь.

Як граничні умови, було задано конвективний теплообмін всередині робочої камери із температурою 70 °С і коефіцієнтом тепловіддачі 100 Вт/(м²·К), а зовні корпусу в зоні завантажувальної воронки – температурою 22 °С і коефіцієнтом тепловіддачі 10 Вт/(м²·К).

Температура всередині робочої камери (всередині корпусу) з метою уникнення передчасного розплавлення матеріалу в завантажувальній зоні корпусу екструдера для використовуваного матеріалу підтримується нижче 70 °С, при цьому під час розрахунку стінка циліндра завантажувальної секції екструдера розглядається як багат шарова циліндрична стінка. Більш детально умови проведення дослідження описано у праці [5].

Результати отриманого розподілу температур в конструкції корпусу екструдера в разі заповнення кільцевого проміжку термопастою наведено на рис. 1, а, а заповнення його ж повітрям – на рис. 1, б.

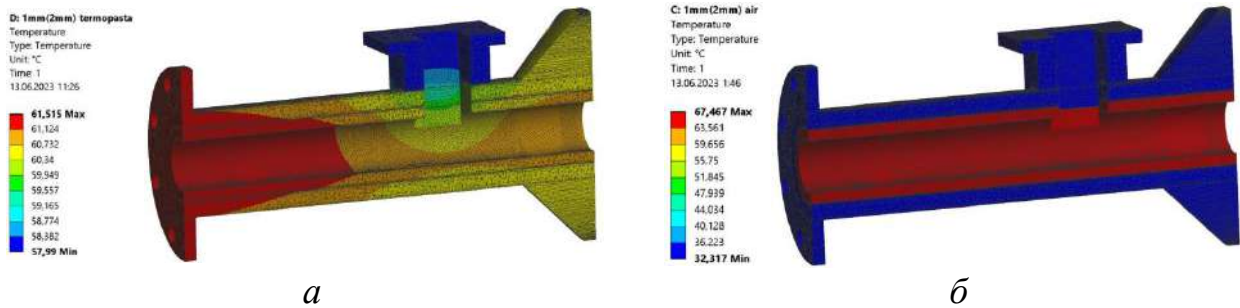


Рисунок 1 – Розподіл температури в корпусі екструдера в разі заповнення кільцевого проміжку: *а* – термопастою; *б* – повітрям

З отриманих результатів видно, що за традиційного способу складання корпуса екструдера, коли між корпусом і знімною циліндричною гільзою залишається повітря, температура на стінці робочого каналу (на внутрішній поверхні гільзи) досягає 67,5 °С, а за умови використанні термопасти для заповнення проміжку – 61,5 °С, тобто зазначена температура зменшується приблизно на 9 %. Також при цьому вирівнюється розподіл температури вздовж циліндра.

Висновки. За рахунок використання термопасти у проміжку між поверхнями корпуса циліндра та гільзи забезпечується зниження термічного опору стінки складеного циліндра, а отже підвищується інтенсивність теплопередачі від перероблюваного матеріалу до охолоджувальної води та зменшується її витрата, що підвищує енергоефективність одночерв'ячного екструдера в цілому.

Список літературних джерел

1. Витвицький В.М., Мікульонюк І.О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
2. Mikulionok I. O. Classification of Screw Cooling Devices of Single-Screw Extruders for Polymer Materials Processing (Survey of Designs) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, N 1–2. P. 68–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01057-5>
3. Термопаста TS-4 - Радиомат РСК компоненти. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/termopasta-ts-4-4-vt-m-k-7g-2ml_122551.html (дата звернення: 15.10.25)
4. Витвицький В.М., Витвицький Вл.М., Мікульонюк І.О., Сокольський О.Л., Шилович Т.Б. Розрахунок на міцність корпуса екструдера // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем : матер. VIII Міжнар. наук.-техн. конф., (Дніпро, 1-3 листопада 2023 р.) : матер. доп. Дніпро : ДВНЗ «УДХТУ», 2023. С. 34-35.
5. Витвицький В. М., Витвицький В. М., Мікульонюк І. О., Сокольський О. Л., Шилович Т. Б. (2023). Дослідження енергоефективності модернізованого корпуса одночерв'ячного екструдера. Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (4), с. 9–17. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2023.294323>

ІГРИ З «ПРИРОДОЮ», КОЛИ МНОЖИНА ЇЇ СТРАТЕГІЙ Є НЕЧІТКОЮ

Дзюба Є.В., Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності є одними з найбільш поширених у практичній діяльності людини. Одним із класичних інструментів для їх моделювання є ігри з «природою», в яких тільки одна сторона діє цілеспрямовано, переслідуючи свої інтереси, інша сторона не зацікавлена у результаті конфлікту та діє «сліпо», цю сторону і прийнято називати «природою» [1].

У таких моделях ключовим є визначення множини можливих станів природи та відповідних їм результатів. Однак класична теорія ігор виходить з припущення, що множина стратегій природи є чітко визначеною. Це обмеження не завжди відповідає реальним умовам, оскільки на практиці інформація про майбутні стани зовнішнього середовища часто є неповною, неточною або неякісною.

В економіці, фінансах, технічних системах та соціальних процесах часто виникають ситуації, коли стани «природи» (наприклад, ринковий попит, погодні умови, надійність обладнання) не можуть бути описані чіткими категоріями. Наприклад, попит може бути не просто «високим» або «низьким», а характеризуватися ступенем належності до цих понять. Тут виникає потреба у використанні більш гнучкого математичного апарату, яким є теорія нечітких множин [2]. Вона дозволяє формалізувати невизначеність, пов'язану з розмитістю меж понять, якими оперує людина.

Застосування теорії нечітких множин до ігор з «природою» дозволяє моделювати ситуації, коли множина її стратегій є нечіткою. Це означає, що кожен можливий стан природи має певний ступінь належності до цієї множини, що відображає ймовірність або можливість його реалізації. Такий підхід робить модель більш адекватною та реалістичною, оскільки дозволяє враховувати не лише сам факт можливого настання події, а й ступінь впевненості в ній [3].

Актуальність дослідження даної теми зумовлена необхідністю розробки нових методів прийняття рішень, здатних ефективно працювати з нечіткою, неякісною та неповною інформацією, що є характерною рисою сучасних складних систем.

Розглядається гра з природою, у якій множина стратегій «природи» є нечіткою. Нехай a_1, a_2, \dots, a_n – стратегії особи, що приймає рішення, Y – універсальна множина стратегій «природи», її нечітка множина стратегій визначається функцією приналежності $\mu(y), y \in Y$. Множина Y кінцева і $Y = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$.

На множині всіх можливих ситуацій

$$(a_i, b_j), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

задана функція $f(a_i, b_j)$ – виграш особи, що приймає рішення, у ситуації (a_i, b_j) . Мета особи, що приймає рішення, (першого гравця) описується нечіткою множиною мети \mathcal{C} з функцією належності $\bar{\mu}_{\mathcal{C}}(u)$, $u \in R^1$. Якщо $u = f(a_i, b_j)$, то

$$\bar{\mu}_{\mathcal{C}}(u) = \bar{\mu}_{\mathcal{C}}(f(a_i, b_j)). \quad (2)$$

Нехай:

$$\mu_{\mathcal{B}}(a_i, b_j) = \bar{\mu}_{\mathcal{C}}(f(a_i, b_j)). \quad (3)$$

Нечітким рішенням (нечіткою множиною, що формалізує нечітке рішення) \mathcal{B} є перетин нечіткої множини стратегій і нечіткої множини мети. Функція належності нечіткого рішення \mathcal{B} :

$$\mu_{\mathcal{B}}(a_i, b_j) = \min\{\mu(b_j), \bar{\mu}_{\mathcal{C}}(f(a_i, b_j))\}. \quad (4)$$

Особа, що приймає рішення, прагне максимізації значення функції приналежності свого рішення.

Таким чином, замість одного чіткого оптимального рішення отримується множина стратегій, кожна з яких є оптимальною з певним рівнем надійності. При цьому використовуються різні критерії оптимальності: Вальда, Гурвіца, Лапласа, Севіджа. Отриманий розв'язок дозволяє особі, що приймає рішення, оцінити ступінь переваги кожної з можливих стратегій, що забезпечує більшу гнучкість в умовах невизначеності.

Список літературних джерел

1. Флегонтов А. В., Вілков В. Б., Чорних А. К. Моделювання завдань прийняття рішень при нечітких вихідних даних: Монографія. 2020. 332 с.
2. Колобашкіна Л.В., Алюшин М.В. Інформаційні технології прийняття рішень в умовах конфлікту. Частина I. Основи теорії ігор: Навчальний посібник. 2010. 164 с.
3. Nachoń J, Bondar-Nowakowska E, Nachaj PS. Application of Game Theory against Nature in the Assessment of Technical Solutions Used in River Regulation in the Context of Aquatic Plant Protection. Sustainability. 2019; 11(5):1260.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОЇ ПІДВІСКИ ТА СТРУМОПРИЙМАЧІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНО-ЗАЛЕЖНИХ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Доманський І. В

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Підвищення швидкостей руху електрорухомого складу та вимоги до стабільності живлення тягових мереж зумовлюють необхідність точного аналізу динамічної взаємодії контактної підвіски (КП) та струмоприймачів. Така взаємодія супроводжується складними коливальними процесами, що залежать від механічних, електричних і теплових параметрів системи. Для адекватного опису цих процесів застосовуються числові методи, зокрема метод кінцевих елементів і його частотно-залежні модифікації [1–4].

Сучасні моделі динамічної взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем поділяються на аналітичні та імітаційні. Моделі з розподіленими параметрами забезпечують високу точність і дозволяють визначати контактні зусилля, амплітуди коливань, а також моменти відриву струмоприймача. Однак такі моделі потребують значних обчислювальних ресурсів.

Для зменшення обчислювальної складності доцільно використовувати метод частотно-залежних кінцевих елементів, який дає змогу зменшити розмірність матриць жорсткості без втрати точності. У цій моделі контактний провід розглядається як натягнутий елемент із розподіленими параметрами, а елементи підвісу подаються у вигляді зосереджених мас. Отримана система рівнянь дозволяє визначати власні частоти, реакції в опорах та контактні зусилля.

Особливу увагу приділено поєднанню механічної та електричної моделей анкерного прольоту. Механічна частина описується у вигляді просторового графа вузлів і стержнів, а електрична – як мережа провідників, у якій визначаються напруги, струми та втрати потужності. Такий підхід дає змогу враховувати як динамічні, так і теплові процеси, що виникають при роботі струмоприймача з високими навантаженнями (5 – 10 А/мм²).

Порівняльний аналіз імітаційних моделей показав високу точність розрахунків контактного тиску та коливань проводу при швидкостях руху до 250 км/год. Запропонована квазідинамічна модель дає можливість розділити обчислення на дискретну й континуальну частини, що суттєво скорочує час моделювання без втрати точності.

Висновки

1. Для аналізу взаємодії контактної підвіски та струмоприймачів доцільно застосовувати імітаційні моделі на основі методу кінцевих елементів, які враховують розподілені параметри системи.

2. Метод частотно-залежних кінцевих елементів забезпечує оптимальне співвідношення між точністю та швидкодією розрахунків і може використовуватись для діагностики стану контактної підвіски.

3. Об'єднання механічної та електричної моделей дозволяє підвищити достовірність прогнозування стану елементів тягових мереж і зменшити ризики порушення контактного знімання струму при високих швидкостях руху.

Список літературних джерел

1. Kisilowski, J., & Raczyński, J. (2018). Modelling of contact line–pantograph interaction for high-speed trains. *Archives of Transport*, 45(1), 7 – 20.
2. Poetsch, G., Evans, J., & Schaub, H. (1997). Pantograph–Catenary Dynamics and Control. *Vehicle System Dynamics*, 28(3), 159 – 195.
3. Bruni, S., Collina, A., & Gasparetto, L. (2000). Numerical analysis of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. *Vehicle System Dynamics*, 34(2), 143 – 159.
4. EN 50318:2018. Railway applications – Current collection systems – Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line.
5. IEC 62278:2017. Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS).

ІНТЕГРАЦІЯ ПОТОКОВОЇ ТА ПАКЕТНОЇ ОБРОБКИ В КОРПОРАТИВНОМУ СХОВИЩІ ДАНИХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛЯМБДА-АРХІТЕКТУРИ

Єфімов Д. С., Осташко І. О.

Український університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Сучасні компанії оперують колосальними обсягами даних, що надходять із сотень різних джерел: бізнес-додатків, транзакційних систем, мобільних застосунків, IoT-пристроїв та аналітичних платформ. У таких умовах корпоративні сховища даних (Enterprise Data Warehouse, EDW) мають забезпечувати не лише централізоване зберігання, а й безперервну обробку даних у реальному часі. Проте класичні підходи до побудови сховищ - орієнтовані виключно на пакетну обробку - часто виявляються недостатньо гнучкими та повільними.

З іншого боку, суто потокові рішення мають низку обмежень: труднощі з історизацією, складність у побудові аналітичних зрізів і ризики втрати консистентності. Тому актуальною є проблема інтеграції потокової та пакетної обробки в єдиній архітектурі. Одним із ефективних способів вирішення цієї проблеми є застосування лямбда-архітектури (Lambda Architecture), що поєднує два підходи для досягнення одночасно високої швидкодії та точності аналітичних даних.

Традиційні сховища даних будувалися переважно на основі пакетної обробки, коли великі обсяги інформації завантажувалися певними порціями (наприклад, щогодини або щодня). Такий підхід був достатнім у період, коли обсяги даних були обмежені, а бізнес-аналітика не вимагала миттєвих результатів. Проте сучасні сценарії (моніторинг транзакцій, поведінковий аналіз, виявлення шахрайства) вимагають реакції у реальному часі.

Основні виклики при побудові сучасних EDW-систем включають: поєднання високої швидкості обробки з достовірністю результатів; забезпечення узгодженості даних між поточними й пакетними джерелами; мінімізацію затримок при одночасному збереженні масштабованості. Також важливою проблемою є підтримка єдиної моделі даних при постійному оновленні структур і схем.

Лямбда-архітектура складається з трьох взаємопов'язаних шарів: Batch Layer (пакетний), Speed Layer (поточний) і Serving Layer (сервісний). Batch Layer відповідає за глибоку обробку історичних даних і формування агрегатів для аналітики. Speed Layer обробляє потоки подій у реальному часі, а Serving Layer надає узагальнений інтерфейс для запитів користувачів, об'єднуючи результати двох попередніх шарів.

Порівняльна характеристика потокової та пакетної обробки даних наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика потокової та пакетної обробки.

Критерій	Пакетна обробка (Batch Processing)	Потокова обробка (Stream Processing)
Час обробки	Години або дні	Секунди або мілісекунди
Тип даних	Історичні, статичні дані	Безперервні потоки подій
Технології	Hadoop, Spark, dbt	Kafka, Flink, Dataflow
Точність результату	Висока, повна історія	Орієнтація на поточний стан
Затримка (latency)	Висока	Мінімальна

Завдяки такій структурі забезпечується поєднання швидкості оновлення даних і точності аналітики. У корпоративних умовах це дозволяє реалізувати сценарії типу *real-time dashboard*, виявлення аномалій, моніторинг операцій, прогнозування подій тощо.

Архітектура сховища даних безпосередньо пов'язана з обраною моделлю даних. Існують три основні підходи до моделювання: *Dimensional* (модель Кімбала), *Enterprise Data Warehouse* (модель Іномна) та *Data Vault 2.0* (модель Лінстедта). Кожен із них має свої переваги й обмеження, особливо у контексті інтеграції потокових та пакетних процесів.

Порівняльна характеристика підходів до моделювання даних наведена у таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння підходів до моделювання даних у корпоративних сховищах.

Підхід	Переваги	Недоліки	Придатність до lambda-архітектури
<i>Dimensional</i> (Kimball)	Простота для аналітики, швидкі запити	Складність масштабування, обмеження при <i>real-time</i>	Помірна – підходить для <i>Serving Layer</i>
<i>Enterprise DWH</i> (Inmon)	Цілісність і централізація даних	Висока вартість розробки, складність змін	Обмежена – підходить для <i>Batch Layer</i>
<i>Data Vault 2.0</i> (Linstedt)	Гнучкість, адаптація до змін, відстеження історії	Складна модель для кінцевого користувача	Висока – оптимальна для інтеграції потоків

У межах лямбда-архітектури різні підходи до моделювання можна комбінувати: *Data Vault* використовується для зберігання сирих даних у *Batch Layer*, *Dimensional* – для побудови аналітичних вітрин у *Serving Layer*, а потокові джерела інтегруються через *Speed Layer*. Така гібридна модель забезпечує баланс між стабільністю, гнучкістю та швидкістю оновлення.

Інтеграція потокової та пакетної обробки в межах лямбда-архітектури дозволяє поєднати оперативність з точністю, а також підвищити ефективність корпоративних сховищ даних. Використання моделей *Data Vault* та *Dimensional* спільно забезпечує гнучкість при зберіганні історії та швидкий доступ до агрегованої аналітики. Такий підхід формує основу для сучасних аналітичних платформ, орієнтованих на *Big Data* та реальний час.

Список літературних джерел

1. Marz N., Warren J. *Big Data: Principles and best practices of scalable real-time data systems*. Manning Publications, 2015.
2. Kreps J. *The Log: What every software engineer should know about real-time data's unifying abstraction*. LinkedIn Engineering, 2013.
3. Linstedt D. *Building a Scalable Data Warehouse with Data Vault 2.0*. Morgan Kaufmann, 2015.
4. Kimball R., Ross M. *The Data Warehouse Toolkit*. Wiley, 2013.
5. Inmon W.H. *Building the Data Warehouse*. Wiley, 2005.

АНАЛІЗ УМОВ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ УПРАВЛІНСЬКОГО РІШЕННЯ ЩОДО НАДАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ

Зеря С.Ю., Коряшкіна Л.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
Дніпро, Україна

У сучасних умовах розвитку національних економік транспортні підприємства відіграють важливу роль. Вони забезпечують умови для торгівлі і інвестицій, рух ресурсів, товарів, людей. Оптимізація їхньої діяльності сприяє збільшенню валового внутрішнього продукту і підвищенню економічної стійкості [1]. Пошуку шляхів підвищення економічної ефективності роботи автотранспортних підприємств (АТП), використанню інформаційних систем та комп'ютерних технологій на транспорті присвячена велика кількість наукових досліджень, зокрема [2, 3].

В даній роботі розглядається процес обґрунтування й прийняття управлінського рішення керівництвом АТП про доцільність виконання певного замовлення на перевезення вантажів з урахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів. Серед перших – наявний парк транспортних засобів, фонд заробітної плати водіїв, вартість завантаження транспортних засобів тощо, серед других – кон'юнктура ринку логістичних послуг, пропозиції придбання транспортних засобів більшої вантажомісткості, вартість палива та ін. Критерієм найкращого рішення є можливість одержання прибутку при мінімальних збитках. Рішення вибирається з чотирьох можливих: 1) погодитись на здійснення автомобільних перевезень вантажу у повному обсязі, користуючись наявними внутрішніми можливостями; 2) не виконувати замовлення, а виступити посередником між замовником і іншим АТП; 3) виконати замовлення, але не у повному обсязі, а делегувати іншому перевізнику перевезення вантажу певним клієнтам; 4) виконати замовлення у повному обсязі, додатково придбавши транспортні засоби більшої вантажомісткості. Запропонована математична модель задачі раціонального вибору управлінського рішення щодо здійснення вантажних перевезень з мінімальними фінансовими збитками, яка дозволяє визначити межу прибутковості при здійсненні вантажних автомобільних перевезень.

Список літературних джерел

1. Богуславська С.І. Передумови підвищення економічної ефективності автотранспортних підприємств / С.І. Богуславська, Д.О. Поденко. – Економіка та суспільство, 2023. – Вип. 56. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-5>
2. Кузев І.О. Інформаційні системи і комп'ютерні технології на транспорті. / І.О. Кузев, К.Г. Ковцур. – Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.І, с. 212-218.
3. Бочарова Н., Тупицька Євгенія. Розробка управлінських рішень щодо вибору антикризової стратегії АТП / Н. Бочарова, Є. Тупицька. – International Science Journal of Management, Economics & Finance. Vol. 2, No. 1, 2023, pp. 34-49. doi: 10.46299/j.isjmef.20230201.4.

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МОДЕЛІ СТАЛОГО ПОТОКОРОЗПОДІЛУ У ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ДОВІЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Козиренко С.І., Никитенко В.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У даній роботі розглядається постановка задачі оцінювання стану моделі сталого потокорозподілу (СПР) у водопровідній мережі (ВМ) і пропонується методи її розв'язання.

При управлінні режимами функціонування реальних ВМ, при їх реконструкції, в практиці диспетчерського обліку і контролю, а також при розв'язанні оптимізаційних задач на реальних ВМ необхідно знати повний потокорозподіл..

Сучасні засоби контролю і відображення інформації не забезпечують можливості вимірювання всіх режимних параметрів. Є можливість вимірювання лише значень тисків і витрат на входах і виходах мереж, які здійснюються з випадковими помилками. У зв'язку з цим виникає необхідність при розв'язанні режимних задач на реальних об'єктах користуватися задачею оцінювання стану моделі СПР, розв'язання якої дозволяє отримувати повний потокорозподіл ВМ з урахуванням наявності випадкових помилок вимірювання.

Основою для формулювання задачі оцінювання стану є система нелінійних рівнянь моделі СПР.

Розглядається ВМ, структура якої задається у вигляді графа $G(V, E)$, що містить $e = \text{Card}(E)$ дуг і $v = \text{Card}(V)$ вершин. Множину E дуг графа мережі можна представити як $E = M \cup K$, де M – множина дуг графа мережі, що відповідають реальним ділянкам; $K = L \cup N$ – множина фіктивних ділянок мережі; L – множина дуг, що відповідають входам мережі; N – множина дуг, що відповідають виходам мережі.

Відомі параметри реальних ділянок мережі $c_i, i \in M$, а також виміряні значення тиску $P_i^0, i \in L^P \cup N^P$ і витрат $q_j^0, j \in L^q \cup N^q$, де L^P, N^P – множини фіктивних дуг, що відповідають входам і виходам мережі, де проводилося вимірювання тиску; L^q, N^q – множини фіктивних дуг, що відповідають входам і виходам мережі, де проводилося вимірювання витрат. Відомі також дисперсії виміряних величин тиску $\sigma_{P_i}^2, i \in L^P \cup N^P$ і витрат $\sigma_{q_j}^2, j \in L^q \cup N^q$. Кількість вимірювань перевищує сумарну кількість входів і виходів ВМ. Виконання даної умови відповідає виконанню умов топологічної ідентифікованості ВМ.

Потрібно отримати оцінки дійсних значень вимірюваних тисків $P_i, i \in L^P \cup N^P$ і витрат $q_j, j \in L^q \cup N^q$, а також всіх функціонально пов'язаних з ними змінних $q_i, i \in M \cup L \cup N$; $P_j, j \in L \cup N$, що характеризують потокорозподіл у ВМ, тобто оцінити всі компоненти вектора стану.

Для побудови процедури оцінювання використовуватимемо метод максимальної правдоподібності [1], згідно з яким формальна постановка задачі

матиме вигляд:

$$y = \min_{q_j, P_i} \left(\sum_{i \in L^P \cup N^P} \sigma_{P_i}^{-2} (P_i^0 - P_i)^2 + \sum_{j \in L^q \cup N^q} \sigma_{q_j}^{-2} (q_j^0 - q_j)^2 \right) \quad (1)$$

де Ω – область, що визначається рівняннями моделі СПР.

Вибір методу розв’язання задачі (1) істотно залежить від конкретного представлення рівнянь моделі СПР [2].

Пропонується область Ω описувати системою рівнянь моделі СПР такого вигляду:

$$c_r q_r |q_r| + \sum_{j \in N} b_{1rj} P_j - \sum_{j \in L} b_{1rj} P_j = 0, \quad r \in M; \quad (2)$$

$$q_i = \sum_{r \in M} b_{1ri} q_r, \quad i \in L \cup N; \quad (3)$$

де P_j – тиск на початку ($j \in N$) або кінці ($j \in L$) j -ої фіктивної дуги; b_{1ri} – елемент цикломатичної матриці B_1 , побудованої для гілок дерева графа мережі; q_i – витрата по i -ій ділянці мережі.

Розділимо змінні задачі на залежні і незалежні. До незалежних змінних віднесемо тиск в дугах, що відповідають входам і виходам мережі $P_j, j \in L \cup N$, до залежних – витрати $q_i, i \in M \cup L \cup N$.

Тоді задача умовної мінімізації з нелінійними обмеженнями зводиться до задачі безумовної мінімізації тільки відносно незалежних змінних:

$$y(P_i, i \in L \cup N) \rightarrow \min_{P_i, i \in L \cup N} \quad (4)$$

Для розв’язання задачі (4) доцільно використовувати модифікації методів багатовимірної безумовної мінімізації функції другого порядку, що дозволяють розв’язувати задачу мінімізації багатоекстремальних функцій, зокрема, узагальнений метод Ньютона з приведенням матриці Гессе до діагонального вигляду, узагальнений метод Ньютона на основі лінеаризованих рівнянь моделі сталого поточкорозподілу, модифікований метод найшвидшого спуску. Дані методи дозволяють встановити напрям зменшення цільової функції, якщо поточне наближення знаходиться в околі або безпосередньо в точці максимуму, або в сідловій точці.

Список літературних джерел

1. Yonathan Bard. Nonlinear Parameter Estimation. Academic Press, 1974. 341 pp.
2. Козиренко С. І., Ільницький В.Б. Ідентифікація стану моделі сталого поточкорозподілу у інженерних мережах // Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід: матеріали V міжнародної конференції, 29 листопада 2022 р. Дніпро, 2022. С 169-172.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ПОСТІЙНОГО ТИСКУ ДЛЯ ЛУЖНИХ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІВ

Котенко Д.А.

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України, Харків, Україна

Вступ

Лужна технологія електролізерів залишається провідною, на неї припадає 60 % законтракованих та встановлених світових потужностей зеленого водню [1]. Водночас техніко-економічний аналіз показує, що ефективність може коливатися в межах 58–70 % [2]. Підвищення ефективності є ключовою метою цього дослідження, оскільки точний контроль тиску в камері дозволяє електролізеру працювати в оптимальних умовах.

Хоча виділення водню теоретично визначається законом Фарадея, реальні значення відхиляються від ідеальних. На ефективність електролізера за Фарадеєм впливають кілька стохастичних факторів, зокрема надпотенціал (де вищий надпотенціал збільшує напругу комірки та зменшує загальну ефективність), покриття бульбашками (повільне або неефективне відокремлення призводить до блокування поверхні електрода, зменшуючи кількість активних місць реакції) та оборотна напруга (термодинамічна напруга розкладу).

Основний матеріал

Результати експериментальних даних наведених в дослідженні [3] демонструють що діаметр бульбашок і ступінь покриття зменшуються зі збільшенням тиску, а омичним надпотенціал повільно зменшується зі збільшенням тиску, а потім майже не змінюється. В той час як оборотна напруга більше залежить від температури ніж від тиску. На основі цих даних було визначено ідеальний тиск, та зроблено імітаційну модель ефективності електролізера.

Відповідно система управління клапанами призначена для підтримки оптимального тиску після його досягнення і підтримання його до кінця генерації газу протягом відповідного напівциклу. Для спрощення під час активації контролер працює на основі тиску, визначеного законом Фур'є і законом втрати через клапан, тоді як такі ефекти, як надпотенціал, покриття бульбашками та оборотна напруга, розглядаються як помилки і в процесі імітації обираються випадковим чином відповідно до розподілу ефективності наведеного у літературі формуючи рівняння стану за якого буде підтримуватись ідеальний тиск (1).

$$V_{loss} = F - error \quad (1)$$

Оскільки регулюючим параметром для підтримки постійного тиску є розмір клапана, то регулююча функція має вигляд (2), де рівняння для розміру отвору для випуску виробленого водню і компенсації недовиробництва визначаються законом втрат клапана (3).

$$A = A_F - A_{error} = \frac{F}{Cd \cdot \rho \cdot v} - \frac{error}{Cd \cdot \rho \cdot v} \quad (2)$$

$$V_{loss} = \frac{dm}{dt} = Cd \cdot A \cdot \rho \cdot v \quad (3)$$

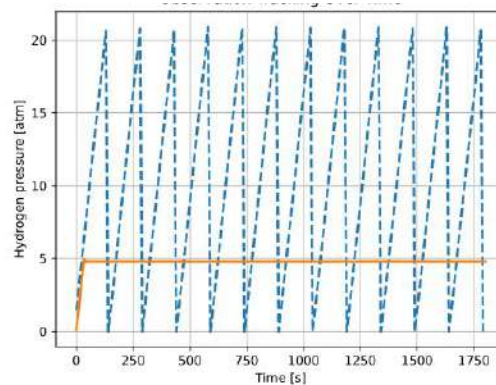


Рисунок 1 - Порівняння змін тиску в електролізері з постійним тиском (помаранчева суцільна лінія) та електролізері без постійного регулювання тиску (синя пунктирна лінія)

Висновки

Результати дослідження показані на рисунку 1 ілюструють зміну тиску в електролізері з регулювальним клапаном і без нього. Результати показують, що цей варіант регулювання дозволяє досягти бажаних результатів. Хоча середня ефективність залишається відносно однаковою — 71,3 % при використанні моделі без регулювання і 72,8 % з регулюванням — різниця збільшується зі збільшенням параметрів конфігурації, таких як максимальний робочий тиск або розмір сепаратора. Варто також зазначити, що за допомогою такого типу регулювання ми отримуємо більш стабільний потік газу, що зменшує ймовірність захоплення турбулентним електролітом і, як результат, підвищує якість отриманого газу. Крім того, постійна і регульована продуктивність отриманого газу дозволяє передбачувати і безпечніше заповнювати газові балони, а застосування імітаційної моделі зменшити витрати на перевірку експериментальним шляхом.

Список літературних джерел

1. IEA. Global Hydrogen Review 2025 / IEA, Paris. - 2025.
2. Techno-economic analysis of temperature influence and control / Матеріали 36-ї міжнар. конф. Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS) ; 2023, 908–919. - <https://doi.org/10.52202/069564-0082>
3. Hao X., Wu X., Pan Q., Xiu T., Zhang Z., Qian H. Simulation of a pressurized alkaline water electrolysis electrolyzer cell and its system / ACS Omega. - 2025. - Т. 10. — С. 2476–2488. — <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c02476>

ФОРМУВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО РІЗНОШВИДКІСНОГО СПЛАЙН СИГНАЛУ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ 7 РОЗРЯДНИХ ВІДЛІКІВ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛУ НА STM32

Кутін А.І., Науменко Н. Ю.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Розглянемо процес формування багатоканального різношвидкісного сплайн сигналу з використанням особливостей мікропроцесорної техніки на прикладі мікроконтролера (МК) STM32.

Приймемо наступні початкові умови:

- Вхідними даними що передаються є цифрові відліки аналогового сигналу, які зберігається на комп'ютері, але можуть бути отримані шляхом аналого-цифрового перетворення безпосередньо в МК в режимі реального часу (в роботі реалізований перший варіант).
- Для формування групового сигналу застосовується МК STM32F303 із вбудованим цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП).
- Багатоканальний сигнал утворюється шляхом об'єднання трьох каналних сигналів із співвідношенням швидкостей кратне степені двійки V_1 - швидкість першого каналу, $V_2=2^1 V_1$, $V_3=2^2 V_1$. Швидкість першого каналу визначається частотою синхросигналів МК (для даного ЦАП не може перевищувати 333 kSa/s) [1] та кількістю відліків формуючої функції (для прикладу вибрано кількість відліків 128).

Обмін даними між персональним комп'ютером та МК відбувається з використанням інтерфейсу UART за допомогою програми верхнього рівня, що по запиті вичитує та надсилає відліки з файла.

Вхідне 7 розрядне значення відліку (DATA FRAME) представлено на рис. 1, яке надсилається в МК з додаванням біту паритету (P) розміщується ними у п'ятих однакових буферів даних (масиві [5,n]). Де n кількість відліків у формуючої функції відповідного каналу.

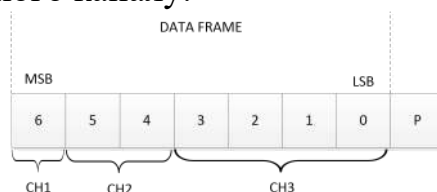


Рисунок 1 – Представлення інформаційної посилки та її розподіл між каналами системи

Перші чотири буфери зберігають значення даних які передаються в поточний час, а п'ятий зберігатиме наступну посилку для виключення переривання в передачі. Інформація у буферах оновлюється циклічно.

Старший значущий біт (MSB) даних, що має найбільший енергетичний внесок на величину відліку передаватиметься каналом 1 (CH1). Два слідуючих за ним біти мають менший внесок у відліку і передаватимуться другим каналом (CH2) з більшою швидкістю, але меншою достовірністю. Останні чотири біти з ще меншим впливом передаватимуться найбільш швидкісним каналом 3 (CH3) і ще меншою достовірністю.

Для передачі даних із максимальною швидкістю і мінімальною між символною інтерференцією в кожному з трьох каналів застосовується формуюча функція ермітового кубічного сплайну, що відповідає вимогам до імпульсів Котельникова з різною кількістю відліків у відповідному каналі. Вона складатиметься з чотирьох однакових фрагментів кожен з яких має нульове значення з одного або обох сторін, що зберігаються у масиві відповідного каналу.

Процес формування сигналу в каналі відбувається шляхом послідовного вчитування відліку формуючої функції та множення на значення 0 або 1 відповідно першого біта даних. Одночасно із цим із зсувом формуючої функції на чверть вліво відбувається зчитування відліку тієї самої формуючої функції та множення на другий біт, далі аналогічно для третього та четвертого біта.

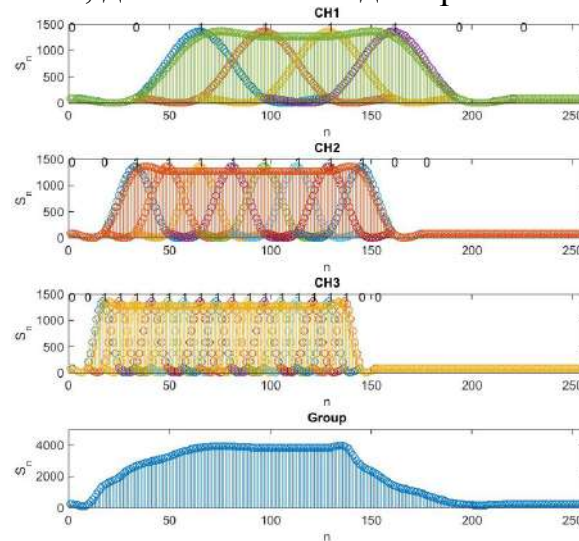


Рисунок 2 – Окремі складові та сформований каналний сигнал першого (CH1), другого (CH2) та третього (CH3) каналу а також груповий сигнал.

Отримані добутки для кожного з бітів додаються між собою та зберігаються у масиві каналного сигналу циклічно оновлюючи значення лише одного елемента на кожній ітерації. Масиви сигналів другого та третього каналів формуються аналогічно, але для своїх формуючих функцій і бітів даних та утворюють значення групового сигналу шляхом додаванням елементів масивів каналних сигналів ітераційно.

Результуючий груповий багатоканальний сигнал записується у регістр ЦАП що формує відповідне значення напруги.

Для синхронізації роботи усіх каналів та ЦАП використовується переривання таймера, в обробнику якого відбувається виклик функцій формування значень каналних та групового сигналів та відправка даних у ЦАП тим самим визначаючи швидкість усіх каналів. Розрядність ЦАП складає 12 біт [1] тому розмах кожного з каналних сигналів в 1365, а групового 4095.

Список літературних джерел

1. **RM0316 STM32F3 Series Reference Manual** [Електронне джерело]. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0316-stm32f303xbcd-stm32f303x68-stm32f328x8-stm32f358xc-stm32f398xe-advanced-armbased-mcus-stmicroelectronics.pdf

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ, РОЗРОБЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Латанська Л.О., Корнієнко А.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Сучасні програмні системи, в тому числі і ті, що базуються на технологіях штучного інтелекту, характеризуються високою складністю архітектури, великою кількістю взаємопов'язаних компонентів і адаптивною поведінкою. Це ускладнює їхнє тестування, супроводження та оцінювання якості. Тому виникає потреба у побудові математичних моделей, які дозволять оцінити якість програмних продуктів за допомогою об'єктивних метрик.

У об'єктно-орієнтованій розробці для оцінювання якості програмних систем використовуються, серед інших, і СК метрики [1, 2]. Одним із інструментів такого оцінювання є регресійне моделювання.

Для побудови регресійних моделей на GitHub були відібрані проекти, які розроблені з використанням штучного інтелекту. Для зібраних проектів були отримані дані на рівні застосунків з наступних СК метрик: RFC (Response for a Class), CBO (Coupling Between Objects) та WMC (Weighted Methods Per Class). Згідно з результатами досліджень Чидамбера та Кемерера, між цими метриками існує статистично значущий взаємозв'язок [1]. Тому, використовуючи модифіковану методику визначення якості програмної системи [3], планується побудувати три регресійні моделі з RFC, CBO та WMC у якості залежних змінних, розрахувати їх інтервали довіри та прогнозу і використовувати отримані інтервали для оцінювання якості зазначених програмних систем.

Зазвичай розподіл емпіричних даних не є гаусівським. Тому планується розробити нелінійні регресійні моделі з використанням методу нормалізуючих перетворень та вилучення викидів.

Розглянуто проблему оцінювання якості сучасних програмних систем. Запропоновано застосувати для оцінювання якості програмних систем, що базуються на технологіях штучного інтелекту, модифіковану методику з використанням регресійного аналізу та метрик RFC, CBO та WMC.

Список літературних джерел

1. Chidamber S. R., Kemerer C. F. A metrics suite for object oriented design. IEEE Transactions on Software Engineering. 1994. Vol. 20(6), pp. 476-493. <https://doi.org/10.1109/32.295895>
2. Briand L. C., Wüst J., Ikonomovski S. V., Lounis H. Investigating quality factors in object-oriented designs: An industrial case study. In Proceedings of the 21st International Conference on Software Engineering. 1999, pp. 345-354. ACM. <https://doi.org/10.1145/302405.302654>
3. Prykhodko S. Evaluating quality of software systems by the confidence and prediction intervals of regressions for RFC, CBO, and WMC metrics. WSEAS Transactions on Systems. 2024. Vol. 23(36), pp. 322-330. <https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.36>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ РОЗРОБКИ БАНКІВСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Латанська Л.О., Половинка А.В.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Одним з основних чинників, який визначає успішність реалізації проєктів з розробки банківського ПЗ, є достовірність оцінювання тривалості цих проєктів, яка значною мірою залежить від обраних моделей і методів.

Як було показано у роботі [1], набір емпіричних даних реальних проєктів з розробки банківського ПЗ, що розглядається, не відповідає багатовимірному нормальному закону розподілу. Якість моделей СОСОМО та ISBSG для оцінювання тривалості проєктів з розробки банківського ПЗ, побудованих для цього набору даних, також недостатня для достовірного оцінювання існуючих емпіричних даних тривалості та трудомісткості розробки. Тому виникає необхідність побудови спеціалізованих регресійних моделей, які зможуть врахувати особливості даних проєктів та забезпечити необхідну достовірність оцінювання.

Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання тривалості проєктів з розробки банківського ПЗ за допомогою побудови відповідних нелінійних регресійних моделей за допомогою нормалізуючих перетворень.

Для побудови нелінійних регресійних моделей усі 482 проєкти були розділені на дві групи: 321 проєкт для побудови моделей та 161 проєкт для перевірки якості побудованих моделей.

Оскільки емпіричні дані не відповідають багатовимірному нормальному розподілу, їх подальша обробка була виконана у відповідності з методикою, наведеною у [2]. В якості нормалізуючого перетворення розглядалися десятковий логарифм, багатовимірне перетворення Бокса-Кокса та одновимірне перетворення Джонсона.

У моделі з десятковим логарифмом 290 точок даних є викидами, у моделі з використанням перетворення Бокса-Кокса 240 точок даних є викидами, у моделі з використанням перетворення Джонсона 216 точок даних є викидами.

Тобто, як видно із наведених даних, побудова регресійних моделей за даними всіх проєктів без їх диференціації за певними критеріями не має практичної цінності. Для оцінювання тривалості розробки потрібно враховувати кількість команд розробників (однокомандні та багатокомандні проєкти) і, в подальшому, кількість розробників, залучених до проєкту.

Список літературних джерел

1. Latanska L., Polovynka A. Analysis of methods and models for estimating the duration of banking software development projects. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Issue 3, part 2, 2025 (353). P.140-145.
2. Prykhodko N.V., Prykhodko S.B. Constructing the Nonlinear Regression Models on the Basis of Multivariate Normalizing Transformations. Electronic Modeling. 2018. V.40. №6. P. 99-108.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ МІДНОГО КУПОРОСУ

Левчук І.Л., Банник Н. Г., Гнатко О. М., Сербулова І. В.

Український державний університет науки і технологій

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Вступ. Сучасні автоматизовані інформаційно-керуючі системи є невід'ємною складовою сучасних промислових виробництв. Вони дозволяють підвищити надійність та ефективність роботи технологічного обладнання, покращити умови роботи персоналу, підвищити ефективність та безпеку технологічних процесів. Тому актуальність даного питання не викликає сумнівів.

Осередком підходу, який спрямований на людину-оператора при розробці автоматизованих систем є SCADA [1].

Продуктивність процесу отримання мідного купоросу, який широко використовується в хімічній промисловості та сільському господарстві, залежить від ефективності системи управління, для якої потрібна математична модель у складі:

1. Алгоритмів керуючої підсистеми;
2. Людино-машинного інтерфейсу системи керування;
3. Підсистеми зв'язку, що забезпечує інформаційний обмін в реальному часі між всіма компонентами системи керування.

Основний матеріал. Використання системи керування на базі SCADA дозволяє вирішувати наступні задачі:

- надання інформації про перебіг процесу в зрозумілій людині формі;
- надання можливості відстежувати стан системи керування управляти режимами роботи.

Основні параметрів, які характеризують процес отримання розчину CuSO_4 [2]:

- вміст CuSO_4 в реакційному розчині в реакторі, г/л;
- вміст H_2SO_4 в реакційному розчині в реакторі, г/л;
- густина розчину, г/см³, відбір реакційного розчину на кристалізацію починається при досягненні густині 1,42 г/см³;
- температура реакційної суміші в реакторі, °С;
- об'єм рідини в реакторі, л.

В роботі визначені параметри, що забезпечують функціональні можливості оператора системи.

Для вирішення поставлених задач в програмному середовищі SCADA системи були розроблені елементи людино-машинного інтерфейсу, що надають інформацію про процес та дозволяють змінювати налаштування регуляторів.

Загальний вигляд розробленого людино-машинного інтерфейсу системи керування процесом отримання розчину мідного купоросу наведений на рисунку 1.

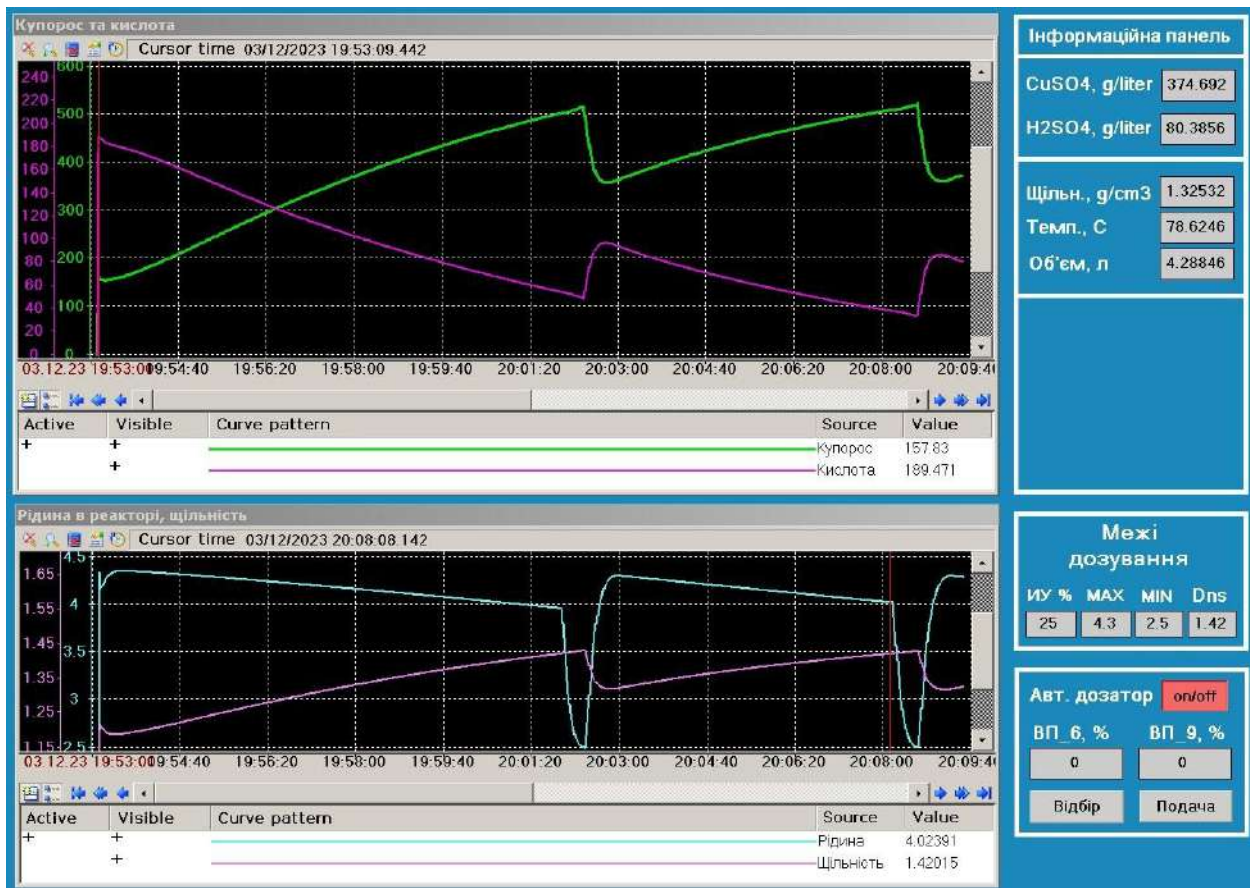


Рисунок 1 — Людино-машинний інтерфейс системи керування, загальний вигляд

Висновки. Розроблений людино-машинний інтерфейс в реальному часі надає оператору інформацію про процес. Це дозволяє спостерігати значення всіх технологічних змінних в цифровій та графічній формі. Оператор має можливість виконувати налаштування параметрів керування та здійснювати ручне керування процесом. Працездатність розробленого людино-машинного інтерфейсу перевірена та доведена шляхом порівняльного аналізу з даними отриманими з реальної лабораторної установки.

Список літературних джерел

1. Маслов В.Д., Сачков І.М. Актуальні проблеми автоматизації в сучасному світі // Вісник науки і освіти №2 (56), 2019, 381с.
2. Левчук І.Л. Розробка комп'ютерної моделі процесу отримання розчину мідного купоросу, адаптованої для розв'язання задач управління / О.П. Мисов, І.Л. Левчук, К.О. Фесенко, М.О. Савченко, О.М. Гнатко / Вісник ХНУ/Хмельницький, 2021, № 4(299), с. 59-66.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ SCADA

Левчук І.Л., Дубовик Т.М., Гузь Г.М., Лук'янов І.І.

Український державний університет науки і технологій,

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

SCADA – одна з найбільш сучасних та перспективних технологій у світі промислової автоматизації у наш час [1]. Однак на етапі впровадження та налаштування система керування на базі SCADA вимагає зупинки технологічного процесу. Причому час зупинки може бути досить тривалим і його складно прогнозувати.

Для рішення цієї проблеми зазвичай застосовуються математичні моделі технологічних процесів, котрі дозволяють виконувати всі потрібні дії без залучення реального технологічного процесу. Однак створення точних та адекватних математичних моделей технологічних процесів є складною задачею та вимагає багато часу та ресурсів. Тому в останні роки для вирішення цієї проблеми поширення набули комп'ютерні моделі, створені в універсальних моделюючих програмах [2].

Метою даної роботи є створення в середовищі SCADA програмної структури системи керування процесом отримання мідного купоросу, у складі системи інформаційних каналів та внутрішніх змінних котрі забезпечують роботу НМІ та дозволяють, спостерігати значення всіх цільових технологічних параметрів у реальному часі, дають можливість здійснювати ручне керування процесом та налаштовувати алгоритми керування. Розроблена структура програмного забезпечення системи керування представлена на рис. 1

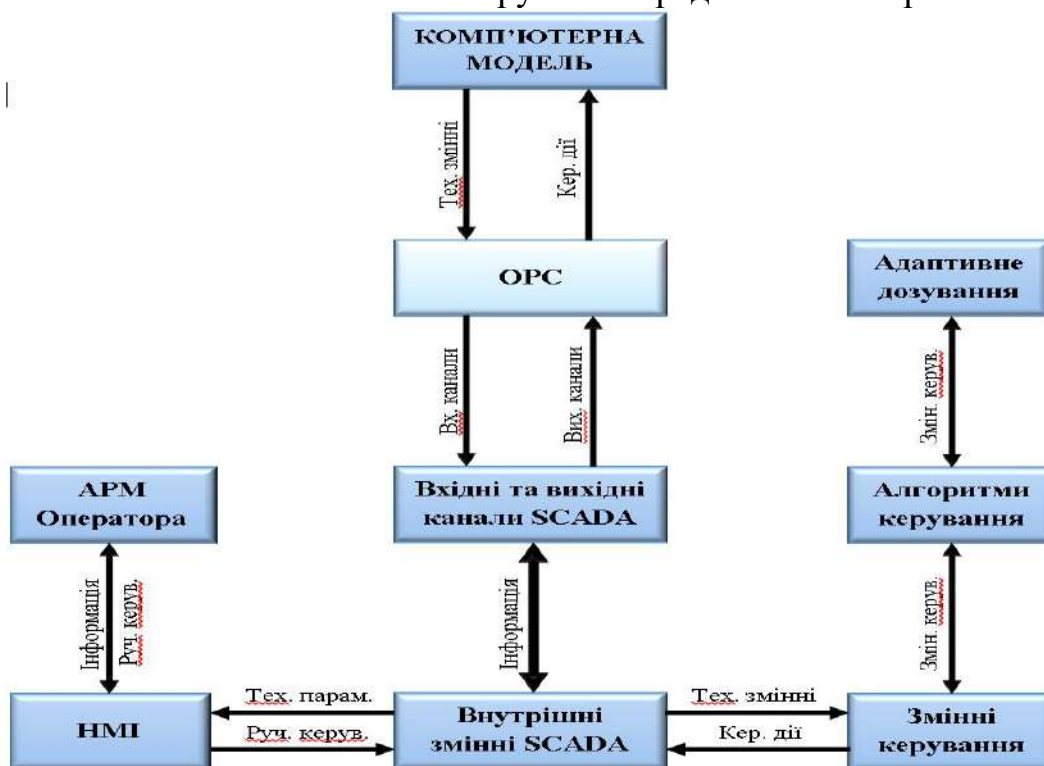


Рисунок 1 - Структура програмного забезпечення системи керування

На рис.1 використані наступні скорочення та умовні позначення:

«**Тех. змінні**» - технологічні змінні, котрі описують цільові параметри керованого процесу (температура, щільність, об'єм, вміст кислоти або сульфату міді в розчині та ін.);

«**Кер. дії**» - керуючі дії, значення котрі надходять на виконавчі пристрої та забезпечують відповідний відсоток їх відкриття;

«**Вх. канали**» - вхідні канали SCADA, інформаційні структури за допомогою яких SCADA отримує інформацію з зовнішнього світу (датчики, контролери);

«**Вих. канали**» - вихідні канали SCADA, інформаційні структури за допомогою яких SCADA передає інформацію до зовнішніх споживачів (контролери, виконавчі пристрої та ін.);

«**Тех. парам.**» - технологічні параметри, це технологічні змінні адаптовані до сприйняття їх людиною, тобто переведені у відповідні одиниці вимірювання, масштабовані та ін.;

«**Руч. керув.**» - ручне керування, змінні системи пов'язані з функціоналом ручного керування, тобто змінні котрі перемикають режими функціонування, вмикають або вимикають алгоритми керування;

«**Змін. керув.**» - змінні керування, змінні котрі забезпечують роботу алгоритмів керуючої підсистеми;

«**АРМ Оператора**» - автоматизовано робоче місце оператора системи керування, обладнане необхідними технічними засобами для здійснення оператором всіх його функцій.

Для перевірки працездатності запропонованої програмної структури, системи інформаційних каналів та внутрішніх змінних системи керування процесом отримання мідного купоросу, був виконаний тестовий «прогін» програмної складової у програмному середовищі SCADA. Отримані графічні залежності цільових параметрів процесу (вміст CuSO_4 та H_2SO_4 у реакційному розчині), достовірність яких підтверджена шляхом їх порівняння з даними лабораторної установки для отримання розчину мідного купоросу, котра працює в «НДЛ Метрологічного забезпечення екологічного контролю зовнішнього середовища» ННІ УДХТУ, УДУНТ.

Розроблена структура програмного забезпечення є універсальною та може бути використана для опису функцій, структури та принципів інформаційної взаємодії будь якої сучасної SCADA-системи з зовнішньою комп'ютерною моделлю будь якого технологічного процесу.

Список літературних джерел

1. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
2. Левчук, І.Л. Моделювання хіміко-технологічних процесів у SCADA за допомогою технології OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS / І.Л. Левчук, О.П. Мисов, К.О. Фесенко, А.Р. Шейкус // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2020. – Вип. 2. – с. 59-66.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ В ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІЙ ПІВПЛОЩИНІ З ПРИПОВЕРХНЕВОЮ ТРІЩИНОЮ НОРМАЛЬНОГО ВІДРИВУ ДЛЯ МАТЕРІАЛУ З КВАДРАТИЧНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ

Лесик О. І.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, Україна

Розглянуто плоску задачу механіки руйнування для півплощини з приповерхневою тріщиною нормального відриву за дії спрямованих вздовж тріщини початкових (залишкових) напружень. В рамках підходів лінеаризованої механіки деформівного твердого тіла виконано математичну постановку крайової задачі, із застосування представлень загальних розв'язків через потенціальні гармонічні функції [1] та з використанням апарату інтегральних розкладів Фур'є її зведено спочатку до парних інтегральних рівнянь, а потім до системи неоднорідних інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. З аналізу асимптотичного розподілу напружень біля вершини тріщини отримано аналітичні вирази для коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН). Зроблено висновки щодо впливу на них початкових (залишкових) напружень, ефекту взаємодії тріщини та вільної межі півплощини, а також стисливості матеріалу, що характеризується коефіцієнтом Пуассона. Для нелінійно пружного матеріалу з квадратичним потенціалом проведено обчислення та аналіз КІН для різних значень параметрів початкових напружень та нормованої на довжину тріщини відстані від неї до поверхні тіла.

Квадратичний потенціал [2], яким описуються стисливі високо еластичні матеріали, представляється через алгебраїчні інваріанти тензора деформацій Гріна A_i ($i = 1, 2$) у вигляді

$$\Phi = \frac{1}{2} \lambda A_1^2 + \mu A_2, \quad (1)$$

де λ , μ – константи матеріалу. Якщо ці сталі вважати сталими Ламе, квадратичний потенціал при малих деформаціях переходить в пружний потенціал класичної лінійної теорії пружності ізотропного тіла. Тобто, цей потенціал у випадку другого варіанту теорії малих деформацій [2], який будемо застосовувати при дослідженні, відповідає закону Гука для ізотропного тіла у загальноприйнятій формі. При чисельних розрахунках переходимо від сталих Ламе λ , μ до технічних сталих (модуля Юнга E та коефіцієнта Пуассона ν).

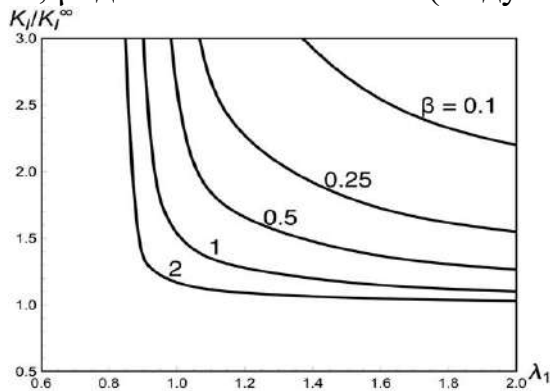


Рис. 1

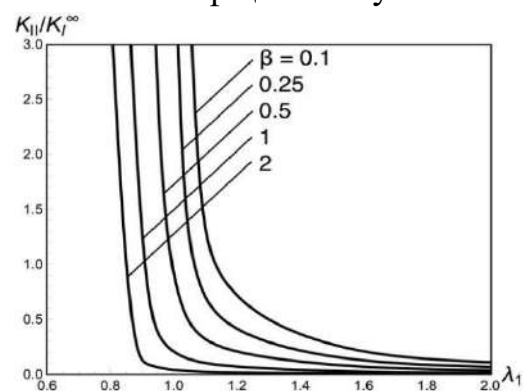


Рис. 2

На рис. 1 та 2 для різних значень нормованої на половину довжини тріщини відстані між тріщиною і границею тіла $\beta=h/a$ продемонстровано характер залежності, відповідно, нормованих КІН K_{II}/K_I^∞ та K_{III}/K_I^∞ (де K_I^∞ – КІН для випадку тріщини нормального відриву в нескінченній площині, який не залежить від початкових напружень). Параметр λ_1 характеризує подовження (скорочення) матеріальних волокон тіла вздовж координатних осей внаслідок дії розтягуючих (стискаючих) початкових (залишкових) напружень. Значення цього параметра в діапазоні $0 < \lambda_1 < 1$ відповідають стискаючим початковим напруженням, при $\lambda_1 > 1$ – розтягуючим, при $\lambda_1 = 1$ початкові напруження відсутні. При розрахунках вибиралося значення коефіцієнта Пуассона $\nu = 0,3$. Як випливає з цих рисунків, обидва КІН K_I та K_{II} суттєво залежать від початкових напружень, причому вплив стискаючих початкових напружень є сильнішим, ніж розтягуючих.

Також з рисунків видно, що при певних значеннях стискаючих початкових напружень криві мають яскраво виражені вертикальні асимптоти. Це свідчить про різке (резонансне) зростання значень КІН при досягненні початковими стискаючими напруженнями значень, що відповідають втраті стійкості частини матеріалу в локальній області біля тріщини [1].

Обчислення залежності КІН K_{II}/K_I^∞ та K_{III}/K_I^∞ від безрозмірної відстані між тріщиною та границею тіла $\beta=h/a$ показали, що при зменшенні цієї відстані взаємодія тріщини і граничної поверхні призводить до помітного зростання значень КІН. В той же час при віддаленні тріщини від границі тіла їх взаємний вплив помітно зменшується, а відповідні значення КІН прямують до значень, які отримуються для ізольованої тріщини в нескінченній площині. Так, розрахунки показують, що при значеннях $\beta=2,5$ і вище, відмінність значень K_I та K_I^∞ у всьому діапазоні досліджених значень параметра λ_1 не перевищує 5%. Таким чином, ефект взаємодії тріщини та вільної границі тіла проявляється у суттєвому впливі цієї взаємодії на значення КІН.

Висновки. Дослідження плоскої задачі про попередньо напружену півплощину з приповерхневою тріщиною нормального відриву показало, що діючі вздовж тріщини початкові (залишкові) напруження виявляють суттєвий вплив на значення КІН в околі вершини тріщини. Також значення КІН залежать від відстані між тріщиною і границею півплощини.

Список літературних джерел

1. Guz A.N., Bogdanov V.L., Nazarenko V.M. Fracture of Materials Under Compression Along Cracks. In: Advanced Structure Materials, vol. 138. - Cham: Springer, 2020. – 490 p. - doi.org/10.1007/978-3-030-51814-1.
2. Guz A.N. Fundamentals of the Three-Dimensional Theory of Stability of Deformable Bodies. – Berlin-Heidelberg – New York: Springer, 1999. – 555 p.

РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ У МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ ВАЛКОВОЇ РОЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ МЕТАЛІВ

Ляшенко В.П.¹, Кобильська О.Б.¹, Дем'янченко О. П.²

¹ Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, Кременчук,
Україна

² Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Вступ. Виготовлення металеві стрічки з рідкого стану шляхом двухвалкової прокатки – це технологія виробництва, яка дозволяє безпосередньо розливати розплавлений метал у стрічку товщиною кілька міліметрів з наступною одночасною гарячою прокаткою або без неї [1]. Як показав аналіз робіт [1-2] технологія використання валкових кристалізаторів (ВК) є досить перспективною з точки зору зниження енергетичних витрат та у порівнянні з традиційною технологією має багато переваг, серед яких є низька вартість стрічки і рівномірна розчинність домішок в ній. У процесі валкової розливки-прокатки металу стрічка формується шляхом прямої кристалізації розплавленого металу у ВК, який охолоджується водою. Охолоджувальна здатність валків у ВК може бути кількісно визначена тепловим потоком на межі розділу між валками і розплавом або затверділою кіркою. Умови теплообміну на межі розділу між валками і розплавом або затверділою кіркою дозволяють контролювати тепловий потік на межі розділу і, таким чином, значно впливають на процес переходу розплавленого металу з рідкої фази у тверду. [2]. У валковому кристалізаторі рідкий метал потрапляє у простір між рухомими валками і при контакті з ними кристалізується віддаючи своє тепло рухомих валкам, виходячи у формі твердої стрічки. Розрахунок розподілу температури у валках ВК має важливе прикладне значення. Він дозволяє прогнозувати життєвий цикл ВК та якість стрічки.

За рахунок тепла деформації підвищується температура валків, що сприяє їх нерівномірному тепловому розширенню уздовж радіуса і, як наслідок, зменшується товщина стрічки та порушуються її розміри.

У науковій літературі розглядається цілий ряд математичних моделей, що описують процес теплообміну під час прокатки стрічки на прокатному стані [1–3]. В [1] авторами досліджувався вплив температурного поля на мікроструктуру сплаву А2017 під час безперервного процесу напівтвердої прокатки. В математичних моделях температурного поля розплавлений метал і стрічка розглядаються як ізотропне середовище зі сталими або залежними від температури теплофізичними властивостями. В запропонованих математичних моделях відсутня нелінійна гранична умова Стефана-Больцмана, не враховується щільність теплового контакту між валками та стрічкою.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі температурного поля валків під час виробництва металеві стрічки за технологією валкового розливу-прокатки ВК при умові щільного теплового контакту із врахуванням складних умов теплообміну між розплавом, стрічкою та валками у ВК.

Матеріали і результати дослідження.

Визначення температурного розподілу $T_i(r, z, \varphi, t)$ у тришаровому циліндрі валкового кристалізатора, де частина зовнішнього шару в умовах щільного теплового контакту сприймає тепловий потік від розплавленого металу та передає його до наступного, а внутрішній шар, що має сталу температуру меншу від температури зовнішніх шарів, приймає участь у теплообміні із зовнішніми шарами має вигляд крайової задачі для однорідного рівняння теплопровідності у циліндричній області з циклічно діючими умовами теплообміну $\Omega \quad t: \{0 < r < r_0, 0 < z < l, 0 < \varphi < 2\pi, 0 < t < t_0\}$.

$$\lambda_i \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial T_i}{\partial r} + \lambda_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} + \lambda_i \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_i}{\partial \varphi^2} - c_i \rho_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$T_i(r, z, \varphi, 0) = T_0, \quad (2)$$

$$T_i(r, 0, \varphi, t) = T_0, \quad T_i(r, l, \varphi, t) = T_0, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \lambda_3 \left. \frac{\partial T_3}{\partial r} \right|_{r=r_3} = F(r, z, \varphi, t, T) = \begin{cases} q, \forall \omega t < \varphi < \varphi_0 + \omega t, \\ \alpha_1 (T_c - T) + \varepsilon \sigma (T_c^4 - T^4) \end{cases} \quad (4)$$

$$T_i(r_{i-0}, z, t) = T_{i+1}(r_{i+1}, z, t), \quad i = 1 \dots 3, \quad (5)$$

$$\lambda_i \left. \frac{\partial T_i}{\partial r} \right|_{r=r_i-0} = \lambda_{i+1} \left. \frac{\partial T_{i+1}}{\partial r} \right|_{r=r_i+0}, \quad i = 1 \dots 3, \quad (6)$$

Для розв'язання задачі (1) – (6) розроблено метод розв'язання крайових задач для рівняння теплопровідності у багатошаровому циліндрі в умовах невизначеності однієї з граничних умов на межі розділу шарів та при кондуктивному теплообміні між шарами.

Висновки. Результати дослідження дають можливість практичного застосування отриманої математичної моделі під час проектування валкових кристалізаторів (ВК) та оптимізації параметрів процесу виготовлення стрічки у ВК.

Список літературних джерел

1. Guan, Ren-guo. Effect of the casting temperature on temperature field and microstructure of A2017 alloy during an innovative continuous semisolid rolling process with a vibrating sloping plate device/ Guan Ren-guo, Zhao Zhanyong, Zhang Q., Lee Chong Soo, Liu C. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology–2012. – V.67. –P. 917–923.
2. Lu J. Novel model for calculating the interface heat flux between roller and molten steel/solidified shell during twin-roll strip casting/ J. Lu, W. Wang, P. Lyu, A.Chen, H. Li // Case Studies in Thermal Engineering. –2025. – V.73. –P. 106637.
3. Zheng L. Numerical and experimental research on solidification of T2 copper alloy during the twin-roll casting/ Zheng L., Zhen-Jun S., Zhi-Hui Hou, Zhou-Yi Yang, Xi-Liang Zhang, Yin-Dong Shi // High Temperature Materials and Processes. . –2022. – V.41. –P. 1–7.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР ДЛЯ ОЦІНКИ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ

Мазничко М.В., Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

Теорія ігор є потужним інструментом системного аналізу, який дозволяє досліджувати взаємодію між суб'єктами, що приймають рішення в умовах конфлікту, конкуренції або взаємного стримування. У випадку ядерного озброєння така взаємодія описується як гра двох гравців, де кожна сторона має власний набір стратегій і прагне мінімізувати свої втрати або максимізувати вииграш, залежно від дій опонента [1].

У розробленій моделі гравцями є дві держави: А – держава з ядерним потенціалом P_A , та В – держава з потенціалом P_B . Для кожного гравця визначено множину стратегій:

$$S_A = \{Armament, Deterrence, De-escalation\},$$

$$S_B = \{Armament, Deterrence, De-escalation\}. \quad (1)$$

Таким чином, система описує типову структуру конфлікту, у якій дії одного гравця безпосередньо впливають на результати іншого.

Матриця вииграшів для двох гравців має вигляд:

$$U_A = \begin{pmatrix} -5 & 1 & 3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & -2 & 1 \end{pmatrix}, \quad U_B = -U_A, \quad (2)$$

Негативні значення вказують на ризики або стратегічні втрати, тоді як додатні відповідають вииграшам – посиленню впливу, зростанню політичної ваги або покращенню безпекової позиції. Така структура відображає ситуацію антагоністичної гри з нульовою сумою, коли вииграш одного гравця дорівнює втратам іншого [2].

Формалізація задачі оцінки стратегічної поведінки базується на максимізації очікуваного вииграшу кожного гравця:

$$\max_{S_A, S_B} E(U_A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} U_A(S_i^A, S_j^B), \quad (3)$$

де p_{ij} – ймовірність реалізації певної комбінації стратегій. Для визначення рівноваги використовується критерій Неша:

$$U_A(S_A^*, S_B^*) \geq U_A(S_A, S_B^*), \quad U_B(S_A^*, S_B^*) \geq U_B(S_A^*, S_B), \quad (4)$$

що означає: жоден гравець не має стимулу змінювати свою стратегію, якщо стратегія опонента залишається сталою. Рівновага Неша у цьому контексті відповідає стабільному стану міжнародної системи, коли обидві сторони зберігають поточний рівень ядерного потенціалу та не мають мотивів до ескалації.

Для оцінки динаміки взаємодії введено коефіцієнт стабільності системи:

$$K_S = 1 - \frac{|\Delta P_A - \Delta P_B|}{P_A + P_B}, \quad (5)$$

де ΔP_A та ΔP_B – зміна ядерного потенціалу сторін за одиницю часу. Якщо $K_S \rightarrow 1$, система знаходиться у стані рівноваги – балансу сил. Якщо ж $K_S \rightarrow 0$, це свідчить про порушення стратегічної стабільності та наближення до конфлікту. Такий підхід дозволяє перейти від якісного опису політичних процесів до кількісної оцінки стабільності системи.

Було проведено сценарний аналіз із варіацією ключових параметрів: коефіцієнтів агресивності α_A, α_B і рівня взаємної довіри β . Розглянуто три основні сценарії: базовий (взаємне стримування), ескалаційний (збільшення агресивності) та дестабілізуючий (порушення довіри). Результати моделювання показали, що система залишається стійкою за умов, коли обидві сторони обирають політику стримування. У цьому випадку динаміка потенціалів $P_A(t)$ та $P_B(t)$ набуває демпфваного характеру: коливання затухають, а коефіцієнт стабільності наближається до одиниці. Навпаки, при переході однієї зі сторін до стратегії озброєння, рівновага порушується, що призводить до зростання нестабільності й циклічних кризових коливань [3].

Особливо показовим є сценарій із порушенням довіри, коли навіть при незмінному рівні агресивності втрата взаємної впевненості у намірах сторін призводить до різкого зниження K_S і хаотичних коливань потенціалів. Така поведінка моделі узгоджується з емпіричними спостереженнями у міжнародних відносинах, коли інформаційна непрозорість або порушення угод викликають дестабілізацію навіть за відсутності реальних змін у силовому балансі. Таким чином, параметр довіри є критичним чинником стійкості системи, а його зниження нижче певного порогу ($\beta_{кр} \approx 0.4$) переводить систему у фазу ескалації незалежно від інших умов [4].

У результаті проведених досліджень розроблена модель демонструє, що застосування теорії ігор у сфері ядерного стримування дає змогу:

визначити умови досягнення рівноваги між державами з урахуванням факторів довіри та агресивності;

кількісно оцінити стабільність стратегічної системи за допомогою коефіцієнта K_S ;

прогнозувати наслідки зміни стратегій однієї зі сторін;

Отже, теорія ігор є ефективним засобом системного аналізу стратегічних процесів, який дозволяє поєднати формальні методи оптимізації, стохастичне моделювання та поведінкові аспекти прийняття рішень. Розроблений підхід може бути використаний у системах підтримки рішень у сфері оборони та безпеки, а також як основа для побудови моделей стратегічної стабільності в багатопольному світі.

Список використаних джерел

1. Фон Нейман, Дж., Моргенштерн, О. Теорія ігор та економічна поведінка / пер. з англ. — Принстон : Princeton University Press, 1944.
2. Неш, Дж. Некоперативні ігри // *Annals of Mathematics*. — 1951.
3. Рапопорт, А. Теорія ігор як теорія розв'язання конфліктів. — Дордрехт : D. Reidel Publishing, 1974.
4. Майерсон, Р. Теорія ігор: аналіз конфлікту. — Гарвард : Harvard University Press, 1997.

ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНОСТІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ JAVA-ЗАСТОСУНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТРИК RFC ТА СВО

Макарова Л.М., Бризгалов М.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Сучасні методи аналізу складності ПЗ пропонують різні моделі, але більшість з них недостатньо враховує багатofакторний характер архітектурних залежностей. Отже, актуальним є завдання розробки математичної моделі у вигляді трансформованого еліпса прогнозування, що базується на метриках RFC і СВО та дозволяє врахувати взаємну залежність вказаних метрик.

Відповідно до результатів дослідження [1], побудова еліпса прогнозування є ефективним інструментом для виявлення не типових значень у багатовимірних наборах даних. Однак його традиційне застосування ґрунтується на припущенні про нормальний розподіл даних, що не властивий розподілу метрик Java-застосунків. Тому у запропонованій моделі використано двовимірне нормалізуюче перетворення Бокса–Кокса, яке дозволяє нормалізувати вихідні значення [2].

У межах дослідження було здійснено аналіз Java- застосунків з відкритим вихідним кодом. На основі отриманих даних виконано побудову трансформованого еліпса прогнозування для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування Java-застосунків з використанням таких метрик: RFC/NCL та СВО/NCL (NCL – кількість класів) згідно наступного рівняння [2]:

$$\frac{(\psi_1(X_1) - 1.98)^2}{0.82} + \frac{(\psi_2(X_2) - 2.82)^2}{0.31} - \frac{0.64(\psi_1(X_1) - 1.98)(\psi_2(X_2) - 2.82)}{0.32} = 6.54$$

де ψ – нормалізуюче перетворення за допомогою двовимірної нормалізації Бокса-Кокса.

Розроблений підхід демонструє високу ефективність у виявленні нетипових значень метрик RFC і СВО для оцінювання складності архітектури Java-застосунків, а також дозволяє візуалізувати межі типових проектних рішень. Його використання під час аналізу нових програмних проєктів дає змогу своєчасно виявляти потенційно проблемні компоненти, які потребують додаткової уваги під час удосконалення архітектури ПЗ.

Список літературних джерел

1. S. Prykhodko, L. Makarova, K. Prykhodko, A. Pukhalevych. Application of Transformed Prediction Ellipsoids for Outlier Detection in Multivariate Non-Gaussian Data. Proceedings of the IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2020, pp. 359–362. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235454.
2. Prykhodko S., Makarova L., Latanska L., Bryzghalov M. Mathematical Model for Detecting Outliers in the Two-Dimensional Data of Software Metrics RFC and CBO from Applications in Java. Proceedings of the 13th International Conference on Information Control Systems & Technologies (ICST), 2025. CEUR, Vol-4048, pp. 509-519.

ДО РОЗРАХУНКУ ТОНКИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ В ТРИВИМІРНІЙ ПОСТАНОВЦІ ВАРІАЦІЙНО-РІЗНИЦЕВИМ МЕТОДОМ Максимюк В.А.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, Україна

Вступ. Тривимірні підходи до розрахунку тонких оболонок приваблюють простотою дискретизації задачі. Але це може привести до так званої проблеми замикання (locking) [1]. Достатньо загальним способом покращення збіжності є використання змішаних функціоналів, в яких додатково варіюються апріорно малі величини. Покажемо застосування способу стосовно моделювання вісесиметричного деформування тонкої оболонки обертання.

Основний матеріал. Розглянемо в системі координат (s, θ, γ) тонку оболонку обертання під дією статичного навантаження. В такій тонкій оболонці апріорно малими будуть зсувна $(e_{s\gamma})$ і поперечна $(e_{\gamma\gamma})$ деформації. Щоб уникнути зсувного і товщинного замикання можна побудувати змішаний функціонал, у якому додатково варіюються зсувна $(e_{s\gamma}^f)$ і поперечна $(e_{\gamma\gamma}^f)$ деформації. Його можна подати через функціонал Лагранжа (u, w) , у якому варіюються тільки переміщення, у такий спосіб:

$$(u, w, e_{s\gamma}^f, e_{\gamma\gamma}^f) = (u, w) - \pi \int_0^{s_n} \int_0^h \left[G_{s\gamma} (e_{s\gamma} - e_{s\gamma}^f)^2 + E_{\gamma\gamma} (e_{\gamma\gamma} - e_{\gamma\gamma}^f)^2 \right] H_s H_\theta ds d\gamma, \quad (1)$$

де $H_s = 1 + k_s \gamma$; $H_\theta = r(1 + k_\theta \gamma)$; k_s і k_θ – кривини внутрішньої поверхні оболонки; s_n і $h(s)$ – довжина меридіана і товщина оболонки; $G_{s\gamma}$ і $E_{\gamma\gamma}$ – модулі поперечного зсуву і стиску.

Систему розв'язувальних рівнянь отримаємо з умов стаціонарності змішаного функціоналу (1) варіаційно-різницевим методом. При цьому область оболонки розбивається на K_s K_γ вузлових точок. Виконано ряд розрахунків напружено деформованого стану (НДС) тонкостінного ($R/h = 275$) сферичного днища [2]. Вже на розбитті 43×3 було відтворено результати, отримані на основі гіпотез Кірхгофа–Лява. У випадку $K_\gamma = 2$ збігу з [2] досягти неможливо.

Висновок. Застосування змішаного функціоналу, в якому додатково варіюються апріорно малі величини, дозволяє розраховувати НДС тонких оболонок в тривимірній постановці за умови розбиття на три точки по товщині, що відповідає квадратичній апроксимації.

Список літературних джерел

1. Belytschko T., Liu W.K., Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2000. – 660 p.
2. Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Шнеренко К.И. Сферические днища, ослабленные отверстиями. – Киев: Наук. думка, 1970. - 324 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛІВ**Надригайло Т.Ж. , Моргун Є.М.**

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Вступ. Застосування методів моделювання в галузі переробки металів відіграє вирішальну роль у оптимізації процесів, підвищенні якості продукції та підвищенню ефективності експлуатації. Різні підходи моделювання використовуються на різних етапах переробки металу, кожна з яких служить чіткими цілями, що сприяють загальній продуктивності та стійкості [1].

Математичні моделі відіграють вирішальну роль у процесі переробки металу. Ці моделі використовують математичні рівняння для представлення зв'язків між різними змінними, що беруть участь у видобутку та очищенні металу.

Основний матеріал. Процес рафінування металу є важливою складовою виробництва сталі, спрямованою на поліпшення якості продукту та оптимізацію виробничих процесів. Цей процес включає в себе кілька етапів, які спрямовані на видалення небажаних домішок і відновлення потрібних характеристик металу.

Для формування шлаку, що рафінує метал, на стадії випуску сталі в ківш додається тверда шлакоутворювальна суміш (ТШС), яка містить 80 % вапна (CaO) та 20 % плавикового шпату (CaF₂) [2]. Щоб досягти максимальної десульфуровальної ефективності синтетичного шлаку, важливо забезпечити його швидке утворення — бажано до завершення процесу наповнення ковша, коли розплав піддається дії металевого струменя. Це висуває завдання визначення оптимального часу, місця введення та розмірів частинок ТШС, що гарантують виконання цієї умови.

На практиці розміри частинок компонентів ТШС можуть перевищувати 50 мм, тому їх інерційними властивостями вже не можна нехтувати. Це зумовлює необхідність або аналізу руху окремих частинок ТШС, їх траєкторій і процесу плавлення, або застосування розробленої колективної двошвидкісної моделі для опису руху та перетворень твердої дисперсної фази (в даному випадку — частинок ТШС). При цьому враховується, що траєкторії руху частинок є нестійкими та сильно залежать від навіть незначних змін місця і часу введення ТШС, що ускладнює точне прогнозування моменту та місця їх плавлення.

Повітря, що захоплюється металевим струменем, суттєво змінює характер циркуляції розплаву в ковші. Зокрема, в зоні поблизу струменя — саме там, куди зазвичай подають кускові матеріали — формуються інтенсивні висхідні потоки розплаву. Очевидно, що такі потоки негативно впливають на процес засвоєння кускових матеріалів, особливо тих, чия густина менша за густину рідкого металу. Тому надзвичайно важливо враховувати наявність цих потоків задля мінімізації їхнього несприятливого впливу. Варто зазначити, що в більшості моделей введення кускових матеріалів під час наповнення ковша явище захоплення повітря струменем, як правило, ігнорується.

Оскільки температура плавлення плавикового шпату (1420 °С) значно нижча за температуру рідкої сталі (близько 1600 °С), він плавиться практично миттєво. Після цього розпочинається дифузійне плавлення вапна у вже рідкому плавиковому шпаті.

Суть дифузійного плавлення полягає в наступному. Температура плавлення вапна становить 2570 °С, що значно перевищує температуру сталі. Проте за наявності рідкого CaF_2 , який проникає в поверхневі шари вапна, локальна температура плавлення знижується, що й забезпечує розплавлення твердого вапна.

Діаграма стану системи $\text{CaO}-\text{CaF}_2$ подана в роботі [3]. Відповідно до неї, плавлення поверхневого шару вапна розпочинається за умови, що його масовий вміст CaF_2 досягає щонайменше 45 %. Температуру плавлення цього шару можна описати кусочно-лінійною функцією залежно від відносного масового вмісту CaF_2 χ :

$$T_f = \begin{cases} 2050 - 10\chi, & \chi < 0,6, \\ 1740 - 4,8\chi, & \chi > 0,6. \end{cases}$$

Результати чисельного моделювання процесу плавлення окремих кусків твердої шлакоутворювальної суміші (ТШС) свідчать, що тривалість цього процесу в основному визначається часом плавлення вапна. Цей час перевищує час плавлення плавикового шпату приблизно на два порядки, тож вплив останнього у подальших розрахунках приймається несуттєвим і ним нехтують.

Отже, крім основної рідинної фази (розплаву), у розрахунковій схемі необхідно також враховувати такі дисперсні фази: газову фазу (повітря, що захоплюється струменем), тверду фазу (вапно), а також рідку фазу, що утворюється внаслідок дифузійного плавлення вапна.

Висновки. Розроблена математична модель достовірно відтворює процес утворення синтетичного шлаку з використанням ТШС, з урахуванням гідродинаміки та процесів тепломасопереносу в об'ємі ковшової ванни. При цьому враховується захоплення повітря струменем розплаву, а для опису руху частинок ТШС застосовано колективний підхід. Моделювання показало, що оптимальним є введення ТШС під струмінь металу впродовж першої половини циклу наповнення ковша, при цьому бажано використовувати шматки розміром 5–25 мм. Отримані результати узгоджуються з наявними промисловими даними щодо рафінуючої ефективності ТШС.

Список літературних джерел

1. Stouffer D. M. Industrial Applications of Metal Refining Models / D. M. Stouffer // International Journal of Mineral Processing. – 2006. – Vol. 78, № 1-4. – pp. 217-228.
2. Огурцов А.П., Самохвалов С.Є. Математичне моделювання теплофізичних процесів у багатофазних середовищах. – К.: Наукова думка. – 2001. – 412 с.
3. Самохвалов С.Є., Віхлевщук В.А., Толстих Ю.М. Тепломасопереносні процеси у наповнюваному ковші під час подачі твердої шлакоутворюючої суміші // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 1994.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

Назаренко П.М., Катан В.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Сучасна економічна нестабільність зумовлює потребу підприємств у швидкому реагуванні на зміни зовнішніх і внутрішніх факторів. Для підвищення ефективності управління та забезпечення стабільного розвитку дедалі ширше застосовується математичне моделювання, яке забезпечує кількісну оцінку економічних процесів і виявлення закономірностей їх динаміки.

Математичні моделі дозволяють здійснювати аналіз взаємозв'язків між показниками діяльності підприємства, прогнозувати їх зміну під впливом різних факторів та обґрунтовувати управлінські рішення на науковій основі. Особливу роль у цьому процесі відіграє прогнозування ключових економічних показників, таких як прибуток, витрати, активи чи резерви, що є базою для стратегічного планування.

Впровадження підходів математичного моделювання й прогнозування забезпечує підґрунтя для підвищення стійкості підприємства, зменшення впливу ризиків і забезпечення його сталого функціонування в умовах ринкової конкуренції.

Методи математичного моделювання відіграють ключову роль в аналізі та прогнозуванні економічних процесів, оскільки вони забезпечують кількісну оцінку взаємозалежностей між економічними змінними. Найпоширенішими серед них є регресійний аналіз, аналіз часових рядів та імітаційне моделювання. Застосування цих методів дозволяє підприємствам не лише виявляти тенденції розвитку, але й передбачати зміни основних показників, таких як прибуток, витрати чи обсяги активів.

Регресійний аналіз використовується для визначення залежностей між економічними змінними, наприклад, як витрати на рекламу або інвестиції впливають на обсяг продажів. Цей підхід дає змогу оцінити силу впливу окремих факторів і визначити напрями, у яких варто змінювати політику управління. Аналіз часових рядів ґрунтується на дослідженні минулих даних з метою передбачення подальших тенденцій розвитку. Він застосовується при оцінюванні темпів зростання прибутку, рівня інфляції, ВВП або зміни фінансових результатів підприємства у часі[1].

Імітаційне моделювання розширює можливості дослідження складних економічних систем, оскільки дає змогу відтворювати різні сценарії розвитку подій та аналізувати їх вплив на діяльність підприємства. Це особливо корисно для оцінки ризиків, оптимізації витрат і пошуку ефективних стратегій управління.

Практичне застосування математичних моделей охоплює різноманітні напрями — від прогнозування прибутку до управління активами. Наприклад, регресійні моделі дозволяють передбачити майбутні обсяги доходів на основі

історичних даних продажів, тоді як моделі часових рядів допомагають оцінювати динаміку вартості активів і приймати обґрунтовані інвестиційні рішення.

Вагому роль у реалізації моделей відіграють сучасні комп'ютерні технології. Програма MS Excel широко використовується для побудови базових моделей і статистичного аналізу даних. Більш складні розрахунки виконуються в середовищах R та Python, які пропонують потужні інструменти для статистичного аналізу, обробки великих даних і машинного навчання[2]. Використання цих технологій підвищує точність прогнозів і дозволяє автоматизувати процеси прийняття управлінських рішень.

Отже, математичне моделювання є ефективним засобом структурованого аналізу складних економічних процесів. Воно дає можливість підприємствам підвищувати операційну ефективність, прогнозувати результати діяльності та адаптуватися до змін ринкового середовища. Водночас надмірна залежність від моделей може призвести до недооцінки якісних факторів, тому важливо поєднувати кількісні підходи з експертним аналізом.

Математичне моделювання виступає дієвим засобом аналізу економічних процесів, адже забезпечує здатність підприємств своєчасно реагувати на зміни ринкового середовища та формувати ефективні управлінські дії. Застосування методів регресійного аналізу, моделей часових рядів і технологій імітаційного моделювання забезпечує підвищення точності прогнозів щодо прибутковості, витрат та фінансової стабільності підприємства. Такі підходи сприяють покращенню ефективності управління, скороченню ризиків і забезпеченню стабільного розвитку. Поєднання математичних методів із сучасними цифровими технологіями формує гнучку систему підтримки прийняття рішень, що є необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності підприємств у сучасних економічних реаліях.

Список літературних джерел

1. Reznikov R. DATA SCIENCE METHODS AND MODELS IN MODERN ECONOMY [Електронний ресурс] / Roman Reznikov // SSRN Electronic Journal. – 2024. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4851627> (дата звернення: 15.10.2025).
2. Zhao X. Research on the Application of Mathematical Models in Economic Forecasting [Електронний ресурс] / Xiaoqian Zhao // Journal of Modern Business and Economics. – 2024. – Т. 1, № 1. – Режим доступу: <https://doi.org/10.70767/jmbe.v1i1.124> (дата звернення: 15.10.2025).

СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНАХОДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИТОКІВ**Павлюк О.В., Гусарова І.Г.**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Трубопроводи є ключовим елементом транспортування природного газу, тому моніторинг їхнього стану критично важливий для запобігання надзвичайним ситуаціям протягом усього терміну експлуатації. Моделювання перехідних режимів течії газу визначається необхідністю своєчасного прийняття коректних та обґрунтованих рішень при виникненні аварійних ситуацій, підвищенню безпечної та надійної роботи газотранспортної системи, здійсненню контролю цілісності трубопроводу. Визначити місце розташування витоку, а також спрогнозувати потенційні ризики для навколишнього середовища, дозволяє моделювання нестационарних неізотермічних режимів течії газу по ділянці трубопроводу з витоком з використанням різних математичних моделей з урахуванням різних факторів. Незважаючи на те, що існує значна кількість методів і способів виявлення витоків, є й велика ймовірність виникнення аварій на газопроводах, тому актуальною лишається задача розробки нових та удосконалення існуючих методів ідентифікації аварійних ділянок.

Мета роботи полягає в огляді існуючих сучасних методів знаходження витоків для створення нових підходів при моделюванні перехідних режимів течії газу, чисельного розв'язання оптимізаційної задачі визначення місцезнаходження витоку або несанкціонованого відбору газу на ділянці трубопроводу.

Витоки виникають через гідроудари, перепади тиску, корозію, дефекти зварювання, зовнішні втручання, природні фактори чи форс-мажори. В Україні статистика аварій частково конфіденційна, але дані European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) за 1970–2022 рр. показують, що корозія спричиняє 25,7% інцидентів, зовнішні втручання – 22,8%, зсуви ґрунту – 19,3%, а будівельні дефекти – 17,5% [1].

Для забезпечення безпеки застосовують методи виявлення витоків, які повинні відповідати таким вимогам: висока точність локалізації, швидкодія, чутливість, надійність, автоматизація, достовірність, незалежність від режимів транспортування, погодних умов, безпечність, економічність та покриття великих ділянок.

Критерії вибору методів включають доступ до трубопроводу, його параметри, можливості моніторингу та точність. Методи поділяються на біологічні (використання персоналу чи собак для фіксації запаху), апаратні (інфрачервоні камери, акустичні пристрої для шумів, датчики тиску для градієнтів) та програмні (моделі на основі гідродинаміки чи даних). Програмні поділяються на модельні (порівняння розрахункових і вимірюваних значень) та data-driven (машинне навчання).

Моделі реального часу (RTTM) моделюють гідравліку на основі граничних умов, що надаються системами диспетчерського керування та збору даних (SCADA-даних), виявляючи витoki через відхилення тиску та потоку [2].

Статистичний баланс об'єму (SVB) застосовує тест ймовірностей (SPRT) для оцінки з 99% впевненістю, але вимагає складних моделей і кваліфікованого персоналу. Метод зворотного аналізу (ІТА) з генетичними алгоритмами оптимізує параметри для локалізації та швидкості витoku.

Комбіновані системи, такі як система виявлення витоків PipePatrol, поєднують динамічне моделювання (E-RTTM) з розпізнаванням шаблонів для аналізу стаціонарних і перехідних станів [3]. Однак динамічне моделювання може створювати труднощі для виявлення витоків в режимі реального часу, оскільки швидке реагування є важливим.

З розвитком штучного інтелекту (ШІ), data-driven методи набули популярності. Порівняння дерев рішень і методу опорних векторів (SVM) показує їхню ефективність для регресії в стаціонарних умовах. Дослідження п'яти моделей (градієнтний бустінг (Gradient Boosting), дерева рішень (Decision Trees), випадковий ліс (Random Forest), SVM, нейронні мережі) виділило SVM і нейронні мережі як найкращі [4]. Гібридні моделі, які називаються «регресорами голосування» (випадковий ліс та екстремальний градієнтний бустінг (XGBoost)), прогнозують тиск і місце витoku за температурою, тиском і швидкістю, перевершуючи окремі моделі.

Таким чином, сучасні методи моніторингу, особливо з використанням ШІ, забезпечують надійний і ефективний контроль стану трубопроводів, зменшуючи ризики аварій. Подальші дослідження будуть спрямовані на проведення моделювання перехідних режимів течії газу з метою оцінки виявлення місцезнаходження витoku.

Список літературних джерел

1. European Gas Pipeline Incident Data Group. Gas pipeline incidents. 12-th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2022) [Електронний ресурс] // European Gas Pipeline Incident Data Group. – 2022. – Режим доступу: [https://www.egig.eu/reports/\\$60/\\$178](https://www.egig.eu/reports/$60/$178) (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.
2. Zhang J. Real-Time Leak Detection in Gas Pipelines [Електронний ресурс] / J. Zhang, G. Milano // Proceedings of the PSIG Annual Meeting. – Seattle, Washington, 2025. – Режим доступу: <https://onepetro.org/PSIGAM/proceedings-abstract/PSIG25/PSIG25/PSIG-2512/681186> (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.
3. PipePatrol Leak Detection. Pipeline Management Solutions For Liquid, Gas And Multiproduct Pipelines, On- And Offshore [Електронний ресурс] – 2024. Режим доступу: <https://pipeline management.com/leak-detection/> (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.
4. Prediction of Leak on Gas Pipeline Using a Hybrid Machine Learning Model [Електронний ресурс] // Improved Oil and Gas Recovery. – 2024. – Т. 8. – Режим доступу: <https://doi.org/10.14800/iogr.1344> (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОМУ ТЕПЛИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Подолінний І.О., Козлов Я.М.

ННІ «Український держаний хіміко-технологічний університет»
Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Вступ. Сучасні тенденції розвитку енергетики та агропромислового комплексу України зумовлюють необхідність переходу до інтелектуальних енергоощадних систем, здатних забезпечити стабільне функціонування об'єктів навіть за умов енергетичної нестабільності та високої вартості енергоносіїв. Особливо гостро ця проблема проявляється у сфері тепличного господарства, яке потребує значних обсягів теплової та електричної енергії для підтримання оптимального мікроклімату впродовж усього року [1].

Водночас саме аграрний сектор має значний потенціал інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) - сонячної, вітрової, геотермальної - з метою зниження енергоспоживання, собівартості продукції та викидів парникових газів. Проте ефективне впровадження таких систем потребує точних математичних моделей і комп'ютерного моделювання для прогнозування теплових потоків, накопичення та відбору енергії, а також для оптимізації параметрів конструкцій і режимів роботи [2].

Актуальність дослідження полягає у розробленні математичної моделі тепломасообмінних процесів у гібридному тепличному комплексі, який поєднує повітряний полімерний сонячний колектор, ґрунтовий теплоакумулятор і LED-систему досвічування на основі гібридної фото-вітрової енергосистеми. Таке моделювання дає змогу обґрунтувати раціональні конструктивно-теплотехнічні параметри системи, зменшити енергетичні втрати та підвищити рівень автономності тепличних господарств.

Основний матеріал.

Для опису тепломасообмінних процесів у системі «повітряний колектор – акумулятор – теплиця» побудовано спрощену тривимірну математичну модель, що ґрунтується на рівняннях Нав'є-Стокса та енергії в наближенні осереднених параметрів.

Балансна модель теплової енергії має вигляд:

$$C_{ef} \frac{dT}{dt} = \dot{m} c_p (T_{вх} - T_{вих}) + Q_{сон} - Q_{вт} \quad (1)$$

де C_{ef} – ефективна теплоємність системи,

\dot{m} – масова витрата повітря,

$Q_{сон}$ – надходження сонячної енергії,

$Q_{вт}$ – втрати тепла через огорожувальні конструкції.

Чисельну реалізацію моделі виконано у середовищах SolidWorks Flow Simulation та Scilab/Xcos, що дало змогу оптимізувати геометрію каналів колектора, товщину теплоакуючого шару і швидкість повітряного потоку.

Моделювання показало, що максимальна ефективність системи досягається при комбінованому режимі роботи: у денний час колектори заряджають ґрунтовий акумулятор, а вночі теплота повертається у повітряний контур теплиці. Енергетичний баланс системи дозволяє зменшити споживання електроенергії до 70 %, а також забезпечити повну автономність протягом 260–280 днів на рік.

Додаткове досвічування на основі LED-панелей спектру Full Spectrum UV/IR забезпечує приріст урожайності до 15–20 %.

Економічні розрахунки, проведені на основі локального кошторису для теплиці площею 50 м², свідчать про термін окупності 1,6–1,8 року та річну рентабельність інвестицій на рівні ≈ 60 %/рік, що підтверджує доцільність інтеграції системи у малих фермерських господарствах [3].

Висновки.

Комп'ютерне моделювання теплових процесів у гібридному тепличному комплексі підтвердило ефективність застосування полімерних колекторів ПСК-ВС2-2 та ґрунтового теплоакуючого. Розроблена модель є базою для подальшої оптимізації систем управління мікрокліматом і може бути інтегрована в системи автоматизованого керування на основі алгоритмів нечіткої логіки чи нейромережевого прогнозування.

Список літературних джерел

1. Енергоощадні тепличні комплекси/ Козлов Я.М., Ковальов С.В., Подолинний І.О. // 50 Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційна освіта: проблеми та перспективи наукових досліджень» (4-6 грудня 2024 р.) Штутгарт, Німеччина – с. 246-248;
2. Сухий К.М., Козлов Я.М., Беяновська О.А., Сухий М.П. Системи акумуляції і трансформації сонячної енергії: Монографія/ Сухий К.М., Козлов Я.М., Беяновська О.А., Сухий М.П. – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2017. – 168 с;
3. Подолинний І.О., Козлов Я.М. Економічна доцільність впровадження автономних енергосистем у тепличних господарствах // XIV Міжнародна науково-практична конференція «Економіка підприємства: сучасні проблеми теорії та практики» (12 вересня 2025 р.), Одеса, Україна – с. 436-437.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕГАУСІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ БІЕКТИВНИХ НОРМАЛІЗУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Приходько С.Б.^{1,2}

¹Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

²Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

Вступ. Як відомо, негаусівські випадкові процеси (НВП) – це випадкові процеси, розподіл яких відрізняється від нормального (гаусівського). Вони часто зустрічаються у океанології, сейсмології, фінансах, інформаційних технологіях та інших галузях. Математичне моделювання зазначених процесів вимагає побудови відповідних математичних моделей, що досі залишається нетривіальною задачею.

Основний матеріал. У якості математичних моделей НВП у багатьох випадках застосовують нелінійні стохастичні диференціальні рівняння (СДР) в першу чергу тому, що ці рівняння дозволяють врахувати фізику тих процесів, які моделюються. В [1, 2] для побудови нелінійних СДР був запропонований метод структурної ідентифікація нелінійних стохастичних диференціальних систем (СДС) на основі нормалізуючих перетворень. Суть цього методу полягає у наступному. За допомогою спеціального нормалізуючого перетворення, що є оборотним (має зворотне або обернене перетворення), НВП перетворюють у гаусівські випадкові процеси (ГВП). Далі за методом формуючих фільтрів отримують лінійні СДР для ГВП. Після чого за допомогою оберненого перетворення будують нелінійні СДР. При чому, якщо СДР розуміти в сенсі Іто, то треба додатково використовувати ще формулу Іто. Також слід наголосити на тому, що для побудови нелінійних СДР для НВП за вказаним методом бажано застосовувати не просто оборотні нормалізуючі перетворення, а так звані біективні нормалізуючі перетворення (БНП), тобто такі, що є не тільки оборотними, а дозволяють ще отримувати ізоморфні множини. Використання БНП в першу чергу призводить до відсутності (при найме теоретичної) втрати інформації при перетворенні даних. Тому треба прагнути до їх застосування у тому числі і для побудови нелінійних СДР для НВП.

Але на сьогодні, на жаль, БНП відомо не так вже і багато. Одним з таких є перетворення Джонсона сім'ї S_U , яке використовує функцію гіперболічного синусу. В [1, 2] на основі цього перетворення були побудовані нелінійні СДР для трьох НВП: мовного сигналу, екстремального морського хвилювання, інтенсивної бортової хитавиці моделі судна на нерегулярних хвилях.

Зокрема за допомогою побудованого нелінійного СДР 2-го порядку для інтенсивної бортової хитавиці моделі судна на нерегулярних хвилях може бути пояснений феномен появи більшого крену на той борт, що розташований до нерегулярних хвиль. Цей феномен спостерігався в експериментах різних дослідників і не міг бути пояснений існуючими рівняннями бортової хитавиці.

Отримана математична модель морського хвилювання у вигляді нелінійного СДР 4-го порядку дозволяє враховувати двох пікову форму

частотного спектра ординат морських хвиль, в тому числі і екстремальних. Зазначене СДР дозволяє моделювати появу на фоні вітрового хвилювання як екстремальних хвиль, так і хвиль, що прийшли від шторму з іншого району.

Побудована математична модель мовного сигналу у вигляді нелінійного СДР 8-го порядку надає можливість враховувати чотирьох пікову форму частотного спектра ординат мовного сигналу. Це дозволяє застосувати вказане СДР у якості математичної моделі фільтру (СДС) для розпізнавання мовного сигналу в умовах інтенсивного шуму.

За вказаними трьома нелінійними СДР методом Ейлера були побудовані відповідні різницеві рівняння, за якими було виконано моделювання на комп'ютері зазначених трьох НВП. Виконане порівняння результатів цього моделювання з експериментальними даними показало їх задовільну якість. Зокрема відносна похибка за середнє квадратичним відхиленням ординат НВП не перевищувала 5%.

Висновки. Розглянутий метод для математичного моделювання НВП на основі нормалізуючих перетворень, які є оборотними, дозволяє отримувати нелінійні СДР різноманітних НВП, що надає можливість врахувати фізику тих процесів, які моделюються, а в деяких випадках – і пояснити певні фізичні явища. У зазначеному методі бажано застосовувати БНП, одним із яких є перетворення Джонсона сім'ї S_U , що дозволяє моделювати НВП з ексцесом більшим за 3. Застосування БНП призводить до відсутності (при найме теоретичної) втрати інформації при перетворенні даних. Виконане порівняння результатів чисельного моделювання трьох НВП з експериментальними даними показало їх задовільну якість. Це, у тому числі, вказує на працездатність розглянутого методу.

В подальшому планується за вказаним методом здійснити математичне моделювання інших НВП, зокрема сейсмічних. Також планується порівняти наші результати з тими, що можуть бути отримані за допомогою так званих нормалізуючих потоків (Normalizing Flows), які були запропоновані в роботі [3].

Список літературних джерел

1. Приходько С. Б. Структурна ідентифікація нелінійних стохастичних диференціальних систем на основі математичних моделей нормалізованих сигналів [Текст] / С. Б. Приходько // Вісник ВПІ. – 2010. – Вип. 3 (Листоп.). – С. 86–92.
2. Приходько С. Б. Методи ідентифікації нелінійних стохастичних диференціальних систем на основі нормалізуючих перетворень [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 01.05.02 / Приходько Сергій Борисович ; Нац. акад. наук України, Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. – К., 2012. – 44 с.
3. Jimenez Rezende D. Variational inference with normalizing flows / D. Jimenez Rezende, S. Mohamed // Machine Learning : Proceedings of the 32nd International Conference (ICML'15), [Lille, France], July 6-11, 2015. – Vol. 37. – JMLR.org, 2015. – P. 1530-1538.

АНАЛІЗ ВИКЛИКІВ І ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОСТКВАНТОВИХ АЛГОРИТМІВ В ЦИФРОВУ ІНФРАСТРУКТУРУ

Радуль О.А., Ляшенко О.А.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Сучасна цифрова інфраструктура, що охоплює фінансові операції, захищені комунікації, системи електронного документообігу та державного управління, значною мірою базується на криптографії з відкритим ключем (RSA, ECDSA). Саме ці механізми забезпечують конфіденційність, автентичність і цілісність даних у більшості протоколів безпеки, таких як TLS, HTTPS, PGP чи цифровий підпис документів. Безпека таких алгоритмів ґрунтується на складності розв'язання певних математичних задач, зокрема факторизації великих чисел і обчислення дискретного логарифму [1]. Для класичних обчислювальних систем ці задачі вважаються практично нерозв'язними за прийнятний час, що й гарантує надійність сучасних криптографічних схем.

Однак поява достатньо потужного квантового комп'ютера змінює цю парадигму. Використовуючи алгоритм Шора [2], квантова машина здатна розв'язувати згадані задачі експоненційно швидше, ніж класичні обчислювальні системи. Це означає, що алгоритми RSA та ECDSA можуть бути повністю скомпрометовані, а їх ключі – розкриті у прийнятний для зловмисника час. Загроза не є суто теоретичною: наукова спільнота активно працює над створенням стійких квантових процесорів, і на горизонті найближчих десятиліть очікується досягнення порогу, за якого квантові обчислення можуть зруйнувати основи сучасної криптографії.

Крім того, вже сьогодні існує реальна стратегічна загроза, відома як «зберігання зараз – розшифрування потім» (store now, decrypt later) [3]. Це означає, що потенційний противник може перехоплювати й архівувати зашифровані комунікації або документи, маючи на меті дешифрувати їх у майбутньому, коли квантові потужності стануть доступними. З огляду на тривалий життєвий цикл багатьох типів даних (наприклад, медичних, державних або наукових), така перспектива є критичною. Саме тому питання глобального переходу до постквантової криптографії (Post-Quantum Cryptography, PQC) набуває виняткової актуальності.

Масштабний перехід на нові криптографічні стандарти є складною багатоаспектною проблемою, до основних викликів якої належать:

1. Відсутність універсального рішення – не існує єдиного математичного підходу, який би одночасно забезпечував доведену стійкість, високу ефективність та компактність.
2. Компроміс між безпекою та ефективністю – багато кандидатів у PQC-алгоритми мають значно більші розміри ключів і підписів, що створює додаткове навантаження на мережеві та обчислювальні ресурси [4].
3. Необхідність стандартизації – для забезпечення глобальної взаємодії необхідні загальноновизнані стандарти, розроблені на основі ретельного аналізу [5].

4. Невизначеність щодо криптоаналізу – нові математичні структури, що лежать в основі PQC, можуть містити невиявлені вразливості.

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) ініціював глобальний процес стандартизації PQC, який став центральною платформою для досліджень [5]. Основні напрямки включають: криптографію на решітках, криптографію на кодових словах, криптографію на хеш-функціях.

Криптографія на решітках (Lattice-based) вважається найперспективнішим напрямком. Алгоритми цього сімейства, такі як CRYSTALS-Kyber (для ключового обміну) та CRYSTALS-Dilithium (для цифрових підписів), показали гарний баланс безпеки та ефективності та стали першими стандартами NIST у 2022 році [6].

Криптографія на кодових словах (Code-based) заснована на складності декодування випадкових лінійних кодів (наприклад, Classic McEliece). Її головна перевага – довга історія криптоаналізу [7], а недолік – великі розміри ключів.

Криптографія на хеш-функціях (Hash-based) використовується для цифрових підписів (наприклад, SPHINCS+). Її безпека безпосередньо впливає з стійкості базової хеш-функції [8], що робить її цінною для довгострокового зберігання даних, незважаючи на великі розміри підписів.

Незважаючи на успіхи стандартизації, залишаються ключові невирішені проблеми, такі як довгострокова криптостійкість, захист від побічних каналів атак, інтеграція в існуючу інфраструктуру, криптографічна гнучкість.

В контексті довгострокової криптостійкості нові PQC-алгоритми не мають такої ж довгої історії вивчення, як RSA чи ECC, тому ризик виявлення нових атак залишається.

Захист від побічних каналів атак, який передбачає дослідження вразливостей реалізацій PQC до атак за часом, споживанням енергії тощо, знаходиться на ранній стадії [9].

В контексті інтеграції в існуючу інфраструктуру ефективного впровадження PQC у такі протоколи, як TLS/IPSec, без суттєвого падіння продуктивності вимагає подальших досліджень, зокрема щодо гібридних режимів (поєднання класичних і PQC-алгоритмів) [10].

Крім того, системи мають бути спроектовані так, щоб мати можливість швидкої заміни алгоритму у разі виявлення вразливості (криптографічна гнучкість) [11].

Перехід на постквантову криптографію – це не разова подія, а тривалий і складний процес, який необхідно розпочати вже зараз. Процес стандартизації NIST забезпечив фундамент у вигляді набору стійких алгоритмів (Kyber, Dilithium, FALCON, SPHINCS+) [5]. Найближчими кроками для фахівців мають стати: вивчення нових стандартів, експерименти з гібридними реалізаціями, планування архітектурних змін для підтримки криптографічної гнучкості та оцінка впливу PQC на продуктивність конкретних інформаційних систем. Це дозволить запобігти загрозі «зберігання та розшифрування» [3] та забезпечити довгострокову безпеку цифрових активів у квантову епоху.

Список літературних джерел

1. Мenezес, А. Дж., Ван Ооршот, П. С., Ванстон, С. А. Handbook of Applied Cryptography / A. J. Menezes, P. C. Van Oorschot, S. A. Vanstone. – Boca Raton : CRC Press, 1996. – 810 с.
2. Шор, П. В. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring / P. W. Shor. – In: Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. – Santa Fe, New Mexico: IEEE Computer Society Press, 1994. – С. 124–134.
3. Моска, М. Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? / M. Mosca. – IEEE Security & Privacy. – 2018. – Vol. 16, No. 5. – С. 38–41.
4. Бернштейн, Д. Дж., Ланге, Т. Post-quantum cryptography / D. J. Bernstein, T. Lange. – Nature, 2017, Vol. 549, No. 7671, С. 188–194.
5. National Institute of Standards and Technology (NIST). Post-Quantum Cryptography Standardization / National Institute of Standards and Technology. – 2016. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography>
6. Регев, О. On lattices, learning with errors, random linear codes, and cryptography / O. Regev. – Journal of the ACM. – 2009. – Vol. 56, No. 6. – С. 1–40.
7. Макліс, Р. Дж. A public-key cryptosystem based on algebraic coding theory / R. J. McEliece. – Deep Space Network Progress Report. – 1978. – № 44. – С. 114–116.
8. Бухманн, Й., Дамен, Е., Гюльзінг, А. XMSS – A practical forward secure signature scheme based on minimal security assumptions / J. Buchmann, E. Dahmen, A. Hülsing. – У: International Workshop on Post-Quantum Cryptography. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2011. – С. 117–129.
9. Примас Р., Пессл П., Манґард С. Single-Trace Side-Channel Attacks on Masked Lattice-Based Encryption / Р. Примас, П. Пессл, С. Манґард // У. Фішер, Н. Хомма (ред.). Криптографічне обладнання та вбудовані системи – CHES 2017. Lecture Notes in Computer Science. – Cham : Springer, 2017. – Т. 10529. – С. 513–533.
10. Стебіля Д., Моска М. Post-Quantum Key Exchange for the Internet and the Open Quantum Safe Project / Д. Стебіля, М. Моска // Р. Аванці, Г. Хейс (ред.). Вибрані області криптографії – SAC 2016. Lecture Notes in Computer Science. – Cham : Springer, 2017. – т. 10532. – с. 14–37.
11. Кампанья М., Печер А. Security of hybrid key encapsulation / М. Кампанья, А. Печер. – Cryptology ePrint Archive, Report 2020/1364. – 2020. – С. 1–24.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ВІДТВОРЮВАНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Сазонов П.О., Клименко С.В.
ДНУ ім. О. Гончара, Дніпро, Україна

Анотація

Методи ультразвукового неруйнівного контролю (УЗК) є одним із найефективніших та найпоширеніших напрямків для виявлення внутрішніх дефектів у виробках та об'єктах різного призначення. УЗК використовують для контролю якості складних технічних об'єктів (СТО), в тому числі й об'єктів підвищеної небезпеки, де навіть незначні дефекти можуть призвести до втрати функціональності. Існуючі методи УЗК мають низку обмежень як з можливості застосування для мініатюрних та непрозвучуваних об'єктів, так і для точності оцінки розмірів дефектів. На останнє визначний вплив має розбіжність амплітуд сигналів, які відбиваються від різних відбивачів у контрольних зразках, що використовуються для налаштування чутливості апаратури УЗК. Для підвищення точності проведених вимірювань були проаналізовані та розроблені аналітичні моделі амплітуд сигналів від відбивачів. Ці моделі дозволяють підвищити відтворюваність результатів УЗК, завдяки впровадженню поправок, які приводять амплітуду сигналу від конкретної моделі дефекту у контрольному зразку до обґрунтованої ідеальної фізичної моделі. Це дозволяє усунути розбіжності амплітуд і покращити точність результатів УЗК. Впровадження таких підходів сприяє підвищенню надійності та безпеки технічних об'єктів, а також зменшенню ризику виникнення аварійних ситуацій через непомічені дефекти.

Ключові слова: ультразвуковий контроль (УЗК), неруйнівний контроль (НК), складні технічні об'єкти (СТО), метод, контрольний зразок, сигнал, дефект, модель дефекту.

Вступ

Складні технічні об'єкти – це багатокомпонентні системи, що поєднують високий рівень технологічної складності, інтеграцію різних механізмів та систем керування. До них належать інфраструктурні об'єкти, енергетичні установки, транспортні системи, а також авіаційна та космічна техніка. Їхня надійність і безпека залежать не лише від якості виготовлення окремих деталей, а й від ефективності взаємодії всіх компонентів, роботи систем моніторингу та управління. Застосування методів НК постає єдиним засобом контролю якості елементів складних технічних об'єктів, який за визначенням здатний забезпечити належний рівень контролю, який не шкодить об'єкту контролю та не виводить його з ладу. УЗК завдяки перевагам у вигляді відсутності шкоди оточуючому середовищу та оператору, швидкості проведення контролю, можливості протоколювання та автоматизації, можливості виявляти внутрішні дефекти, високої розподільчої здатності, можливості контролю малих та складних за формою об'єктів, все більшій доступності з розвитком технічного

прогресу відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки СТО. Він дозволяє виявляти потенційні дефекти на ранніх стадіях, запобігати аварійним ситуаціям і забезпечувати стабільну експлуатацію, здійснювати моніторинг розвитку дефектів у процесі експлуатації. Високотехнологічне виробництво потребує сучасних систем контролю, які гарантують високу якість продукції та довговічність інженерних конструкцій. Безпека інженерних об'єктів – це комплексний процес, що включає аналіз проектних рішень, контроль якості матеріалів, моніторинг стану конструкцій та застосування передових методів НК. Наявність дефектів у матеріалах може призвести до значних економічних втрат та аварій. Але попри кошовне обладнання та необхідність додаткового навчання та сертифікації персоналу [1] УЗК залишається одним з найбільш популярних напрямків у контролі якості виробів та об'єктів.

Основний матеріал

При застосуванні УЗК найбільш розповсюдженими методами вимірювання розмірів дефектів є амплітудний метод та метод умовної протяжності. Амплітудний метод передбачає вимірювання розмірів дефекту на основі порівняння амплітуди сигналу від реального дефекту з амплітудою сигналу від дефекту з відомими розмірами у контрольному зразку. Метод умовної протяжності заснований на вимірюванні відстані, на яку переміщують п'єзоелектричний перетворювач за умов наявності сигналу від дефекту певною амплітудою. Останній метод дає дуже неточні результати. Але й амплітудний метод можна назвати задовільним лише при застосуванні перетворювачів з фазованими апертурними решітками (ФАР). Дійсно, при застосуванні ультразвукових дефектоскопів, які працюють з перетворювачами з ФАР, наприклад з 16 п'єзоелементами на частоті 5 МГц, легко досягти границь похибки на рівні $\pm 0,1$ мм при вимірюванні дефекту розмірами від 2 до 6 мм діаметром на глибини від 20 до 100 мм у конструкційних сталях, алюмінії або пластику. Але ультразвукові дефектоскопи, які працюють з перетворювачами з ФАР мають дуже розвинену логіку та наразі у кілька разів дорожчі ніж звичайні. Перетворювачі з ФАР в десятки разів дорожче звичайних. І найголовніше - перетворювачі з ФАР мають великий розмір і потребують у кілька разів більшу площу надійного акустичного контакту з об'єктом контролю. Всі ці недоліки обмежують використання у промисловості застосування ультразвукових дефектоскопів, які працюють з перетворювачами з ФАР, не дивлячись на те що вони отримали дуже широке застосування у медицині. Мініатюрність об'єктів контролю у промисловості разом з ускладненим доступом до їх поверхні робить перспективи застосування ультразвукових дефектоскопів, які працюють з перетворювачами з ФАР дуже обмеженими. Тому станом на зараз і у найближчій перспективі найчастіше застосовують і будуть застосовувати ультразвукові дефектоскопи зі звичайними сумісними або роздільно-сумісними п'єзоперетворювачами.

Проте при застосовуванні ультразвукових дефектоскопів зі звичайними сумісними або роздільно-сумісними п'єзоперетворювачами одним із основних недоліків амплітудного методу є розбіжності сигналів від ідентичних

відбивачів навіть за високої точності виготовлення контрольних зразків [2]. Такі розбіжності можуть сягати 6 дБ і більше, що позначає похибку при вимірюванні розміру дефекту, яка сягає значень цього розміру. Застосування такої комбінації методів змушує виробників або «перебраковувати» продукцію, що призводить до суттєвого підвищення її вартості, або миритися з нестабільною якістю продукції.

Сучасні методи моделювання амплітуд сигналів від дефектів можуть дати змогу прибрати розбіжності в амплітудах сигналів від дефектів у контрольних зразках через внесення поправок, які обґрунтовані розрахунками з відомих аналітичних моделей амплітуд [3] та приведенням цих розрахунків до найбільш стабільних типів імітаторів дефектів в УЗК.

Висновки

Проведено аналіз сучасних методів ультразвукового неруйнівного контролю, типів імітаторів дефектів, які використовуються в калібрувальних і контрольних зразках: бокові свердлення, плоскодонні отвори, поверхневі пропили та умовно нескінченні поверхні.

На основі проведених досліджень аналітичних моделей амплітуд сигналів, розроблено метод зменшення розбіжностей амплітуд сигналів від відбивачів у контрольних зразках УЗК за рахунок застосування поправок до фактичних амплітуд сигналів від цих відбивачів.

Застосування аналітичних моделей амплітуд сигналів та поправки до відтвореної амплітуди сигналу від відбивача у контрольному зразку під час його калібрування значно підвищує ефективність УЗК.

Список літературних джерел

1. ISO 9712:2021 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel
2. ISO 5577:2017 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary
3. Josef Krautkrämer, Herbert Krautkrämer - Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer-Verlag, 2013, ISBN 3642529615 – 415-420 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛЕКТИВНОГО ВВЕДЕННЯ ДОБАВОК В КІВШ

Самохвалов С.Є., Піптюк В.П., Греков С.В.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

У процесі обробки сталі на ковшових агрегатах, використовують введення різних шлакоутворюючих і легуючих добавок безпосередньо у рідку ванну розплаву. Ці добавки найчастіше подають колективно, насипом, у вигляді шматків і при їх зануренні у метал формуються багатофазні потоки, у яких тверді частинки рухаються разом з рідкою фазою. Прямих робіт, де саме маса добавки як керуючий параметр змінює поле течії у ковші, небагато – частіше досліджують час змішування за фіксованих гідрорежимів.

В даній роботі виконано розвиток математичної моделі гідродинамічних та масопереносних процесів в період колективного введення шматкових добавок, запропонованої в роботі [1], на випадок врахування різних питомих густин добавок, а також виконано її програмну реалізацію на мові С#. З використанням розробленого програмного забезпечення проведено серію розрахунків процесу, що розглядається, які дозволили зробити оцінку впливу питомої густини матеріалів, що подаються, на гідродинаміку розплаву в ковші та подальший масоперенос добавок.

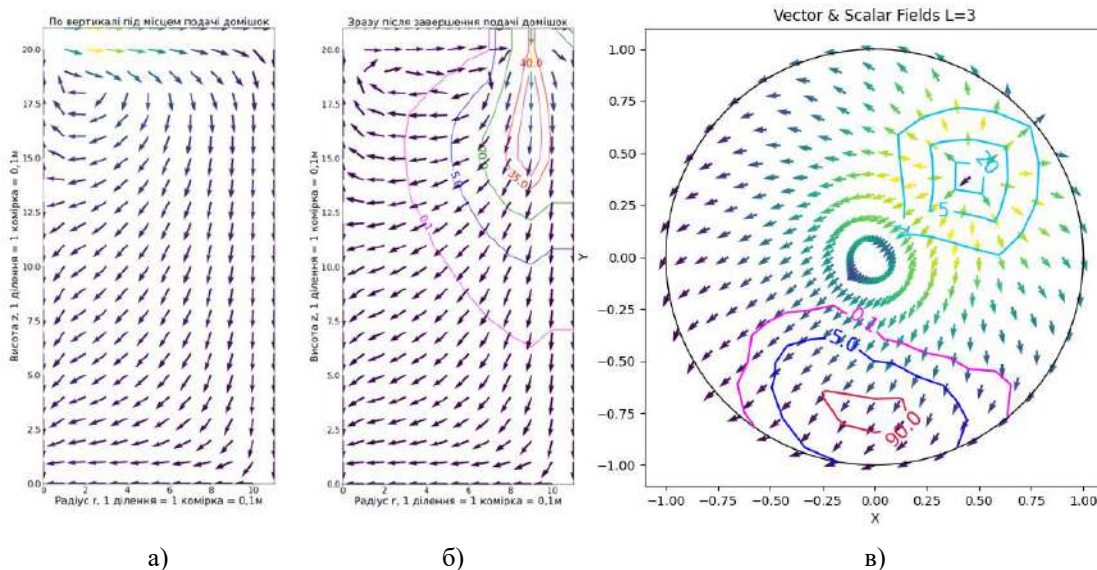


Рисунок 1. Поля швидкостей і концентрацій важкої добавки в осьовому розрізі а) до її введення б) після введення і в) легкої добавки на поверхні розплаву

Встановлено, що відмінність питомих густин добавок веде до різниці характеристик їх розташування після введення, що впливає на характер їх подальшої динаміки в ковші.

Список літературних джерел

1. Самохвалов С.Є., Піптюк В.П., Греков С.В. Вплив кількості добавки на гідродинаміку металеві ванни у ковші. *Зб. наук. праць ІЧМ НАНУ «Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії»*. 2023. №37. С.231-245. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-231-245>.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ

Селівьорстова Т.В.¹, Молодцов М.І.², Малієнко С.Є.³

¹К.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

²Студент кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

³Аспірант кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

Вступ. Управління ІТ-проєктами є складною сферою, що характеризується високою невизначеністю, динамічністю та множинністю критеріїв успіху. Для досягнення цілей необхідно узгоджувати строки, вартість, якість і ризики, які часто суперечать один одному. Традиційні методи (СРМ, PERT, EVM) орієнтовані на оптимізацію одного показника й не враховують комплексного впливу факторів, тому актуальним є застосування методів багатокритеріальної оптимізації, які забезпечують баланс між часом, витратами, якістю та ризиками.

Сучасні дослідження підтверджують ефективність методів АНР, ідеальної точки, Парето-оптимізації та еволюційних алгоритмів (NSGA-II, SPEA2, MOEA/D), які дозволяють формувати компромісні стратегії управління ІТ-проєктами. Їх застосування підвищує адаптивність планування, оптимізує ресурси та покращує якість управлінських рішень. Поєднання цих підходів із технологіями машинного навчання створює гібридні моделі, що враховують історичні дані, ризики та зміну середовища.

Метою дослідження є аналіз і порівняння методів багатокритеріальної оптимізації для вибору ефективної стратегії управління ІТ-проєктами, а також розроблення узагальненої моделі прийняття рішень, яка враховує одночасно кілька суперечливих критеріїв — час, вартість, якість і ризик.

Математична постановка задачі. Управління ІТ-проєктом розглядається як багатокритеріальна задача оптимізації, у якій необхідно узгодити кілька суперечливих цілей: мінімізувати тривалість і витрати, максимізувати якість та мінімізувати ризики.

Нехай $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор параметрів, що визначають стратегію управління (розподіл ресурсів, вибір методології, рівень контролю тощо).

$$\min f_1(x) = T(x),$$

$$\min f_2(x) = C(x),$$

$$\max f_3(x) = Q(x),$$

$$\min f_4(x) = R(x),$$

Тоді загальний вигляд задачі має форму:

де T, C, Q, R – відповідно тривалість, вартість, якість і ризик проєкту.

Рішення обмежується ресурсами та часовими рамками:

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m.$$

Оскільки критерії мають різну розмірність, вони нормалізуються, а для практичної реалізації використовується узагальнений критерій:

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^4 w_i f_i(x), \quad w_i = 1.$$

де w_i – вагові коефіцієнти важливості, визначені експертним шляхом або методом аналізу ієрархій.

Для знаходження компромісних стратегій визначається множина Парето-оптимальних рішень X^* , у якій неможливо покращити один критерій без погіршення іншого. На практиці пошук Парето-фронту здійснюється за допомогою еволюційних алгоритмів (наприклад, NSGA-II), що дозволяють ефективно знаходити баланс між часом, вартістю, ризиком і якістю.

Запропонована постановка задачі створює основу для вибору оптимальної стратегії управління ІТ-проектом за умов невизначеності та обмежених ресурсів.

Програмна реалізація та обчислювальний експеримент.

Для перевірки ефективності запропонованої моделі багатокритеріальної оптимізації було проведено обчислювальний експеримент із використанням мови програмування Python та бібліотек NumPy, pandas, matplotlib і pymoo. Розроблено програмний модуль, який реалізує алгоритми зважених коефіцієнтів та еволюційний алгоритм NSGA-II для пошуку Парето-оптимальних стратегій управління ІТ-проектами.

Вхідними даними є параметри декількох проектів із різними критеріями — тривалістю, вартістю, якістю та рівнем ризику. Після нормалізації критеріїв здійснюється оптимізація та побудова Парето-фронту, який відображає множину компромісних рішень.

Результати симуляції показали, що еволюційні методи забезпечують стабільну збіжність до області Парето, дозволяючи ефективно визначати оптимальні стратегії балансування між часом, бюджетом та ризиками. Отримані результати підтверджують доцільність використання багатокритеріальних підходів для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері ІТ-проектів.

Список літературних джерел

1. Krstić A. Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M.: Multicriteria Decision Analysis: State of the art Surveys, Springer-Verlag, New York, NY, 2016 [Electronic resource] / Ana Krstić // Ekonomski horizonti. – 2018. – Vol. 20, no. 2. – P. 189–191. – Mode of access: <https://doi.org/10.5937/ekonhor1802189k>
2. Li, Xuan & Jiang, Jiang & Deng, Su. (2016). A hybrid method using FAHP and TOPSIS for project selection. 10.2991/iccsae-15.2016.40.
3. Deb, Kalyan. (2001). Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms. Wiley, New York.

СТОХАСТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ІМОВІРНІСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКІВ ЗАВЕРШЕННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ

Селівьорова Т.В.¹, Сторожев В.В.², Красношакка Н.С.³

¹К.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

²Студент кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

³Аспірант кафедри Інформаційних технологій та систем,
Український державний університет науки і технологій

Вступ. Відомо, що однією з головних проблем управління ІТ-проєктами є невизначеність у плануванні строків виконання завдань. Беручи до уваги, що ІТ-проєкти можуть реалізовуватися в умовах неповної інформації, динамічної зміни вимог замовника, зміни ресурсів і ризиків, пов'язаних із людським фактором, це може призводити до проблем, пов'язаних з відхиленням реальних строків від планових.

Застосування стохастичних моделей та методів імовірнісного прогнозування дозволяє проводити дослідження динаміки процесів реалізації ІТ-проєктів, проводити оцінку ймовірності їх виконання в плановий термін. Тим самим, забезпечувати якісне планування проєктної діяльності.

Метою роботи є проведення аналізу методів імовірнісного прогнозування строків завершення проєктів та їхньої адаптації до особливостей сфери ІТ.

Стохастичні моделі та методи імовірнісного прогнозування в проєктній діяльності. Модель PERT є класичним стохастичним підходом до оцінювання тривалості проєктів. В його основі лежить оцінка невизначеності тривалості завдань шляхом використання трьох оцінок: оптимістичної, найімовірнішої та песимістичної, що дозволяє визначити ймовірний строк завершення усього проєкту.

Наступний класичний метод – метод Монте-Карло, який є симуляційним підходом, таким чином дозволяє кількісно оцінити невизначеність у графіку проєкту, застосовується для аналізу ризиків.

Методика SEDA розвиває підхід Earned Value Management (EVM) через стохастичне урахування невизначеності у фактичній тривалості завдань. Вона аналізує часові відхилення з позиції випадкових змін, що дає змогу оцінити ймовірність виконання графіка проєкту та прогнозувати майбутні строки завершення. На відміну від класичного EVM, стохастичний аналіз тривалості дозволяє виявити статистичні закономірності у відхиленнях, що підвищує надійність контролю за дотриманням строків.

Методологія Event Chain передбачає моделювання подій-ризиків, які можуть змінити тривалість завдань або викликати каскадні затримки. У цій моделі події описуються як випадкові процеси з певними ймовірностями настання. Вона дозволяє моделювати не лише середню тривалість завдань, але й вплив зовнішніх чи внутрішніх подій на динаміку виконання проєкту. Завдяки цьому метод є потужним інструментом для оцінювання ризиків і сценарного прогнозування в ІТ-проєктах.

Стохастичні ресурсні моделі – цей підхід враховує невизначеність, пов’язану з продуктивністю, доступністю та навантаженням людських і технічних ресурсів. Тривалість виконання завдання розглядається як функція випадкових характеристик ресурсів, що дає змогу прогнозувати строки виконання з урахуванням можливих затримок, спричинених ресурсними обмеженнями.

Сучасні дослідження демонструють ефективність поєднання стохастичного моделювання з алгоритмами машинного навчання, що обумовило стрімкий розвиток гібридних моделі з машинним навчанням (Hybrid ML Models). Такі гібридні підходи використовують історичні дані про попередні проекти для навчання моделей, які уточнюють параметри розподілів тривалості завдань або прогнозують строки завершення на основі накопичених закономірностей. Використання машинного навчання підвищує точність і адаптивність прогнозів, дозволяючи системі автоматично оновлювати стохастичні параметри при надходженні нових даних.

Таким чином, стохастичні моделі дозволяють не лише обчислити очікувану тривалість ІТ-проєкту, але й оцінити ймовірність завершення у визначений строк і визначити критичні ризики. У практиці управління ІТ-проєктами доцільно комбінувати різні методи: застосовувати PERT як базовий підхід, Монте-Карло для деталізованого аналізу невизначеності, а також гібридні ML-моделі для адаптивного прогнозування на основі накопичених даних.

Обчислювальний експеримент. У роботі представлено методику обчислювального експерименту, спрямовану на перевірку ефективності стохастичних моделей прогнозування строків завершення ІТ-проєктів. Запропоновано поетапний підхід, що поєднує побудову мережевої моделі типу PERT/CPM, генерацію випадкових тривалостей завдань згідно з бета-розподілом і симуляційне моделювання методом Монте-Карло. На основі отриманих результатів виконано статистичний аналіз, розраховано математичне сподівання, довірчі інтервали та ймовірність завершення проєкту у заданий строк. Проведене порівняння з детермінованим методом CPM показало, що стохастичні моделі забезпечують більш достовірне відображення ризиків і підвищують точність прогнозів строків виконання ІТ-проєктів.

Висновок. Реалізація стохастичного підходу до прогнозування строків ІТ-проєктів продемонструвала можливість врахування невизначеності на етапі планування проєкту. Отримані результати доцільно застосовувати для планування та контролю складних ІТ-проєктів.

Список літературних джерел

1. Avlijas G. Examining the Value of Monte Carlo Simulation for Project Time Management [Electronic resource] / Goran Avlijas // Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies. – 2018. – Vol. 24, no. 1. – P. 11. – Mode of access: <https://doi.org/10.7595/management.fon.2018.0004>
2. Altuncan I. U. A hybrid forecasting model to predict the duration and cost performance of projects with Bayesian Networks [Electronic resource] / Izel Unsal Altuncan, Mario Vanhoucke // European Journal of Operational Research. – 2024. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.12.029>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ В БАГАТОЕТАПНИХ ЗАДАЧАХ РОЗМІЩЕННЯ-АКТИВАЦІЇ

Сергєєв О. С., Ус С. А.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Логістичні процеси відіграють ключову роль у системі прийняття рішень, спрямованих на управління матеріальними потоками. Вони забезпечують комплексну організацію та планування етапів розміщення об'єктів, постачання, зберігання, транспортування та розподілу ресурсів. Розвиток цифрових технологій і ускладнення соціально-економічних процесів створюють нові виклики в аналізі та плануванні матеріальних потоків.

Під час створення чи розширення логістичної інфраструктури важливими є рішення, що реалізуються в межах державної політики. Вони охоплюють соціальні, освітні та медичні програми, спрямовані на підтримку населення й підвищення доступності послуг.

Підходи та методи до розв'язання зазначених проблем можуть бути зведені до різних задач дискретної або неперервної оптимізації. Так, публікація [1] проводить огляд основних принципів генетичних алгоритмів, їх модифікацій та застосувань у статистиці та інженерії, з прикладами проблем мережевої оптимізації. Стаття [2] формулює двоетапну модель розташування об'єктів першої та другої лінії допомоги під час евакуації та розподілу ресурсів, та описує методи оптимального зонування й розподілу потоків з метою мінімізації часу евакуації й забезпечення покриття районів.

Авторами розглядаються багатоетапні неперервно-дискретні задачі [3] розміщення-активації. Будемо розглядати процес постачання ліків та виробів медичного призначення на регіональному рівні. Припустимо, що постачання ліків та виробів медичного призначення відбувається від регіональних центрів до субрегіональних, а далі – до центрів дистрибуції. Регіональні центри відомі та фіксовані, субрегіональні – підлягають активації, дистрибуційні – потребують розміщення.

Для розв'язання цієї задачі запропоновано комбінований підхід, що поєднує дискретну та неперервну оптимізацію. Для активації центрів застосовується генетичний алгоритм з пріоритетним кодуванням. З метою розміщення центрів розв'язується задача оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками [4]. З метою дослідження робастності запропонованого підходу, авторами проведено експериментальне дослідження рекомендованих параметрів генетичного алгоритму. У межах аналізу було реалізовано консольну версію програмного забезпечення на C++ та Python з використанням бібліотеки *Eigen*. Подальші експерименти охоплювали аналіз впливу основних параметрів генетичного алгоритму: ймовірності кросовера та мутації, розміру популяції та кількості ітерацій на мінімальне значення цільової функції і час виконання. Було сформовано набір модельних сценаріїв різної розмірності (малі, середні та великі моделі) із використанням ортогонального масиву L9.

Найкращі результати досягались за середніх значень ймовірності кросовера та мутації, помірної кількості поколінь і середнього розміру

популяції. Серед методів відбору та виживання найефективнішими виявилися рулетка та стратегія заміни за віком.

Проведене дослідження підтвердило ефективність комбінованого підходу, що поєднує дискретну та неперервну оптимізацію, для розв'язання багатоетапних задач розміщення-активації. Експериментальні результати дозволили надати рекомендації щодо вибору параметрів генетичного алгоритму, що суттєво впливає на якість отриманих рішень і швидкість його роботи.

Список літературних джерел

1. Gen M. Genetic algorithms and their applications [Electronic resource] / Mitsuo Gen, Lin Lin // Springer handbook of engineering statistics. – London, 2012. – P. 635–674. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7503-2_33 (date of access: 14.10.2025). – Title from screen.
2. Two-stage problems of optimal location and distribution of the humanitarian logistics system's structural subdivisions [Electronic resource] / L. S. Koriashkina [et al.] // Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2024. – No. 1. – P. 130–139. – Mode of access: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/130> (date of access: 14.10.2025). – Title from screen.
3. Сергєєв О. С. Дослідження двох підходів до розв'язання двоетапної задачі розміщення-активації [Електронний ресурс] / О. С. Сергєєв, С. А. Ус // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: математика і інформатика. – 2024. – Т. 45, № 2. – С. 249–258. – Режим доступу: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.45\(2\).249-258](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.45(2).249-258) (дата звернення: 14.10.2025). – Назва з екрана.
4. Us S. A. An optimal two-stage allocation of material flows in a transport-logistic system with continuously distributed resource [Electronic resource] / S. A. Us, L. S. Koriashkina, O. D. Stanina // Radio electronics, computer science, control. – 2019. – No. 1. – Mode of access: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-1-24> (date of access: 14.10.2025). – Title from screen.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ У ЗОНАХ ЗРУЙНОВАНИХ ІНФРАСТРУКТУР: КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ УМОВ ВОЄННОГО ЧАСУ

Ситникова Ю. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Повномасштабна агресія російської федерації проти України спричинила значні руйнування логістичної інфраструктури, зокрема, зруйновано мости, пошкоджені автомобілі та залізничні шляхи, заблоковані вузлові транспортні пункти. Все це суттєво впливає на стійкість та ефективність логістичних систем, порушуючи забезпечення гуманітарної допомоги, військових потреб й товарообміну в критичних регіонах країни [1, 2]. Існуючі логістичні моделі не враховують таку динаміку змін ситуації, високу ймовірність руйнувань, ризики вантажів і персоналу, що значно знижує функціональний потенціал системи в цілому, а також ефективність ухвалення рішень в реальному часі.

Метою статті є обґрунтування необхідності створення адаптивних логістичних моделей, здатних враховувати стохастичні ризики воєнного часу в Україні. Розглянуто підхід на основі графової моделі транспортної мережі з вагами, що відображає ризик й невизначеність. Запропоновано використання імітаційного моделювання для оперативного адаптування маршрутів поставок та зниження ризиків збоїв роботи логістичної системи в умовах війни.

Для формалізації поставленої проблеми доцільно використовувати математичну модель (1) у вигляді графу

$$G = (V, E), \quad (1)$$

де вершини V відповідають логістичним вузлам, а ребра E транспортним шляхам між ними. Кожне ребро графа характеризується набором стохастичних вагових параметрів, як то: час проходження, ймовірність втрати вантажу чи пошкодження маршруту, а також вартість транспортування тощо.

На основі цих параметрів створена стохастична модель може бути використана для пошуку найкоротшого (оптимального) шляху з урахуванням ризиків затримки, руйнацій і втрат. Так, застосування Conditional Value-at-Risk (CVaR) у задачі пошуку оптимального шляху дозволяє формалізувати мінімізацію не лише середнього часу доставки, а й ризику потенційних значних втрат [3].

Як відомо, аналітичні розв'язки подібних задач є надто складними або навіть неможливими в реальних масштабах та динамічних умовах воєнного часу. Саме тому поєднання стохастичного математичного ядра разом з методами імітаційного моделювання є найбільш перспективним. Дійсно, таке поєднання забезпечує можливість відтворювати поведінку логістичних систем з урахуванням непередбачуваних подій та їх оперативне змінювання. У таких моделях агенти (транспортні засоби або вантажі) переміщуються по логістичному графу, реагуючи на зміни стану ребер (зруйновані дроги, обстріли тощо) в режимі реального часу. Тож є можливість досліджувати різні сценарії, оцінювати вплив руйнувань і затримок на ефективність доставки, а також розробляти адаптивні стратегії оптимальної маршрутизації [4].

Зокрема в роботі [4] розглядається імітаційна модель функціонування логістичної системи постачання зернових вантажів, яка демонструє, що застосування подібних підходів є ефективним для моделювання складних транспортних процесів за умов обмеженої (зруйнованої) інфраструктури та зміни зовнішніх факторів. Тож, імітаційне моделювання виступає потужним інструментом, який доповнює стохастичні методи, роблячи моделі реалістичними та корисними для прийняття рішення в умовах воєнного стану. Крім того, в такий час стійкість і гнучкість логістичних ланцюгів набувають критично важливого значення для забезпечення як соціальної так й економічної безпеки країни.

Таким чином, запропонований підхід є теоретичним внеском у напрям розробки гнучких логістичних моделей для кризових ситуацій. Він передбачає створення адаптивної моделі з можливістю оновлення карти в реальному часі (на основі супутникових даних або даних БПЛА), врахування зон ризику як елементів ваг у графовій моделі (наприклад, обстріли, руйнування), впровадження динамічного перепланування маршрутів з урахування реальної ситуації та дослідження стійкості логістичних мереж до відмов (network resilience analysis) [1]. Все це значно підвищить ефективність логістичних рішень у реальному часі.

У подальшій перспективі такий підхід дозволить створити інструмент підтримки прийняття рішень, орієнтований на військову, гуманітарну та критично важливу логістику в Україні.

Список літературних джерел

1. Bugayko D.O., Reznik V.V. New challenges for logistics in the conditions of military operations. // *Intellectualization of logistics and Supply Chain Management*, 2023. № 21. Pp. 33–42. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2023-21-4>
2. Krykavskyy Y., Chornopyska N., Dovhun O., Hayvanovych N., Leonova S. Defining supply chain resilience during wartime. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023. № 1(13(121)). Pp. 32–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272877>
3. Meggendorfer T. Risk-Aware Stochastic Shortest Path. // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2022. № 36(9). Pp. 9858-9867. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i9.21222>
4. Павленко О. В., Волкова Т. В., Музильов Д. О., Медведєв Є. П. Імітаційна модель функціонування логістичної системи постачання зернових вантажів із України в країни світу. // *Комунальне господарство міст*, 2024. № 6(187). Pp. 295–301. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-295-301>

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРЛІНАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ НАБЛИЖЕНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ

Славів О. В., Мордовець О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Проблематика побудови наближених розв'язків диференціальних рівнянь другого порядку посідає важливе місце в сучасних дослідженнях прикладної математики та чисельного аналізу, оскільки такі рівняння широко застосовуються для моделювання механічних, фізичних та інженерно-технічних процесів. Існує багато різноманітних чисельних методів, які дозволяють знайти наближення розв'язків цих задач коли аналітичний розв'язок є складним або взагалі відсутній.

Окремий клас чисельних методів спрямований на побудову наближених розв'язків диференціальних рівнянь другого порядку на дискретних множинах – сітках точок або прямих. Проте на практиці цієї інформації може виявитися недостатньо і є потреба побудувати наближення розв'язку на всій області. У випадку точкового методу доцільно застосувати методи двовимірої інтерполяції, наприклад сплайн-інтерполяції [1].

Застосування методів інтерполяції до наближених розв'язків на прямих вносить значну похибку наближення, тому метою даної роботи є застосування методів інтерлінації для побудови наближених розв'язків на всій області.

Існує два варіанти методу прямих: повздовжній та поперечний методи [2].

У повздовжньому методі прямих за допомогою відношення скінченних різниць апроксимуються диференціальні оператори за змінною x , а диференціальні оператори за змінною y зберігаються. Розв'язок знаходиться вздовж прямих $x = x_i, i = \overline{1, n}$.

У поперечному методі прямих за допомогою відношення скінченних різниць апроксимуються диференціальні оператори за змінною y , а диференціальні оператори за змінною x зберігаються. Розв'язок знаходиться вздовж прямих $y = y_j, j = \overline{1, m}$.

В основі операторів інтерлінації лежить поняття слідів функції $f(x, y)$ на лінях Γ – функцій однієї змінної $f(x)|_{\Gamma}$ або $f(y)|_{\Gamma}$, яка в кожній точці лінії Γ приймає такі ж значення, як і функція $f(x, y)$ [3].

Оскільки в методі прямих ми отримуємо наближені розв'язки на системі прямих, що паралельні одній із осей координат, то ,фактично, отримані наближення є слідами функцій вигляду $f(y)|_{x=x_i}, i = \overline{1, n}$ або $f(x)|_{y=y_j}, j = \overline{1, m}$, до яких можна застосувати оператори інтерлінації для наближення значень розв'язку диференціального рівняння на всій області.

Оператор інтерлінації у формі Лагранжа для побудови наближеного розв'язку за відомими $f(y)|_{x=x_i}, i = \overline{1, n}$ матиме вигляд [3]:

$$O_x f(x, y) = \prod_{k=1}^n f(y) \Big|_{x=x_k} \prod_{i=1, i \neq k}^n \frac{x - x_i}{x_k - x_i} \quad (1)$$

Оператор інтерлінації у формі Лагранжа для побудови наближеного розв'язку за відомими $f(x) \Big|_{y=y_j}$, $j = \overline{1, m}$ матиме вигляд [3]:

$$O_y f(x, y) = \prod_{p=1}^m f(x) \Big|_{y=y_p} \prod_{j=1, j \neq p}^m \frac{y - y_j}{y_p - y_j} \quad (2)$$

Властивості оператора інтерлінації $O_x f(x, y)$ для наближення значень розв'язків диференціального рівняння другого порядку за відомими розв'язками на прямих $f(y) \Big|_{x=x_i}$, $i = \overline{1, n}$:

$$O_x f(x, y) \Big|_{x=x_i} = f(y) \Big|_{x=x_i}, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

Властивості оператора інтерлінації $O_y f(x, y)$ для наближення значень розв'язків диференціального рівняння другого порядку за відомими розв'язками на прямих $f(x) \Big|_{y=y_j}$, $j = \overline{1, m}$:

$$O_y f(x, y) \Big|_{y=y_j} = f(x) \Big|_{y=y_j}, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

Оператор $O_y f(x, y)$ є математичною моделлю поверхні, яка на кожній прямій $f(y) \Big|_{x=x_i}$, $i = \overline{1, n}$ точно наближує розв'язок диференціального рівняння та наближено між цими прямими.

Оператор $O_x f(x, y)$ є математичною моделлю поверхні, яка на кожній прямій $f(x) \Big|_{y=y_j}$, $j = \overline{1, m}$ точно наближує розв'язок диференціального рівняння та наближено між цими прямими.

Таким чином, метод прямих та оператори інтерлінації дають можливість отримати наближений розв'язок диференціального рівняння другого порядку для всієї області. Отримані результати свідчать про перспективність даного підходу для подальшого розвитку методів чисельного аналізу та розширення їх практичних застосувань у задачах математичної фізики та інженерії.

Список літературних джерел

1. De Boor C. A Practical Guide to Splines. – New York : Springer, 2001. – 348 с.
2. Сидоров М. В. Метод Рунге та метод двобічних наближень у чисельному аналізі задач для одновимірних квазілінійних параболічних рівнянь // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2018. – Вип. 38. – С. 55–63.
3. Сергієнко І. В., Литвин О. М. Нові інформаційні оператори в математичному моделюванні. – Київ : Наукова думка, 2018. – 444 с.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКУ VOIP

Смідович Л. С.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Харків, Україна

Сучасна галузь телекомунікацій є ринком з високою конкуренцією. Важливою задачею для провайдерів та операторів зв'язку є підвищення рентабельності послуг за умови збереження (або покращення) їх якості.

Одним із напрямків зниження собівартості послуги передачі голосового трафіку та покращення її якості є використання алгоритмів адаптивної маршрутизації, які дозволяють обирати найкращі маршрути та повторно надсилати виклик по резервному маршруту при наявності помилки передачі по основному. Було запропоновано [1] алгоритм оптимальної маршрутизації трафіку VOIP на основі алгоритму LCR (Low Cost Routing), який враховує як вартість, так і якість маршрутів.

Завданням дослідження є імітаційне моделювання роботи алгоритму оптимальної маршрутизації з метою аналізу його ефективності, а також дослідження впливу параметрів маршрутизації на ефективність.

Було розроблено імітаційну модель (ІМ), функціональну схему якої показано на рис. 1.

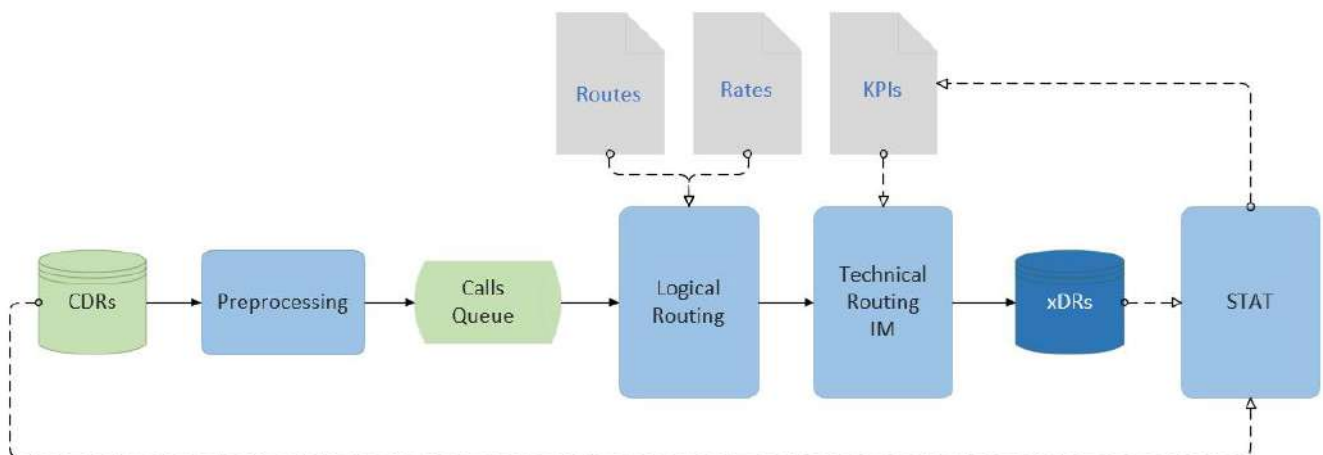


Рисунок 1 - Функціональна схема імітаційної моделі

Вхідними даними для імітаційної моделі є дані реального трафіку – записи CDR (Call Data Records) про успішні і не успішних виклики, що надходять з комунікаційного обладнання у вигляді файлів. Модуль препроцесінгу виконує анонімізацію даних: з них видаляється інформація про абонента, зокрема його MSISD (номер А), номер викликаємого абонента (номер Б) замінюється на код тарифного напрямку, який є необхідним для роботи алгоритму маршрутизації. Також передаються тривалість встановлення з'єднання TO_i та тривалість з'єднання TC_i . Після обробки всі виклики потрапляють в чергу імітаційної моделі.

В якості маршрутів виступають зовнішні канали, якими провайдер чи оператор зв'язку з'єднаний із партнерами. Для кожного маршруту задано тарифний план, який визначає вартість виклику на доступні тарифні напрямки. Статистичні критерії якості каналу (KPI) [2], такі як Answer Seizure Ratio (ASR) – частка успішних дзвінків, Average Call Duration (ACD) – середня тривалість дзвінків, Network Efficiency Ratio (NER), а також розподілення помилок по видам, можуть розраховуватись по даним CDR, або задаватися як параметри моделі.

Маршрутизація виконується в два етапи, які відповідають етапам роботи алгоритму оптимальної маршрутизації. Спочатку блок логічної маршрутизації формує, з урахуванням обмежень по якості, перелік доступних маршрутів, які відсортовані за вартістю з урахуванням пріоритетів. Далі блок технічної маршрутизації ІМ імітує передачу виклику по зовнішньому каналу. Код результат виклику визначається відповідно до статистичних критерії якості відповідного каналу. Якщо отримано код технічної помилки (яка не пов'язана з поведінкою абонента), виклик переадресується на наступний в списку маршрут.

Результатом моделювання для кожного виклику є код завершення, та тривалість з'єднання, яка дорівнює TC_i , або розраховується як випадкова функція від ACD, якщо $TC_i=0$, тобто цей виклик в CDR був неуспішним.

Блок статистики розраховує підсумкові показники, такі як вартість трафіку та інтегральні показники якості.

Застосунок імітаційного моделювання розроблено в середовищі OS FreeBSD з використанням мов C та SQL, та серверу баз даних PostgreSQL.

Розроблена імітаційна модель дозволяє оцінити рентабельність використання оптимальної маршрутизації в порівнянні з іншими політиками маршрутизації (наприклад, фіксованою маршрутизацією), оцінити як додавання чи вилучення одного із маршрутів впливає на показники якості та рентабельності, а також дослідити як параметри алгоритму маршрутизації впливають на його ефективність.

Список літературних джерел.

1. Смідович, Л. С. Розробка методу адаптивної маршрутизації трафіку IP-телефонії / Смідович Л. С., Рева О. А., Кулик Ю.О. // Сьома міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації», Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Полтава, 13-15 листопада 2019 р. – С. 56.
2. Смідович Л. С. Використання методів статистичного аналізу для виявлення аномалій показників якості послуг VOIP. // Харків : Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, – 2020 – № 1(3), – С. 3–8. (DOI:10.20998/2079-0023.2020.01.01)

ДО РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО КРУГОВОГО ОТВОРУ В ТРИШАРОВІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ З ВРАХУВАННЯМ ПЛАСТИЧНИХ І ПОПЕРЕЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Сторожук Є.А., Серафимович Р.В., Чернишенко І.С.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, Україна

Вступ. Тришарові оболонки широко застосовуються в різних галузях сучасної техніки, цивільному і промислового будівництві. В багатьох випадках ці елементи за конструктивними або технологічними міркуваннями мають отвори і вирізи самої різноманітної форми. При розрахунку елементів конструкцій з концентраторами напружень за дії значних навантажень необхідно враховувати як реальні властивості матеріалів (пластичність), так і особливості їх деформування (поперечні зсув і обтиснення).

Основний матеріал. Розглядається тришарова циліндрична оболонка, яка ослаблена круговим отвором і знаходиться під дією статичного навантаження. Віднесемо i -й шар оболонки ($i = 1, 2, 3$) до системи координат $O_i x_i y_i z_i$, осі $O_i x_i$, $O_i y_i$ якої збігаються з лініями головних кривин, а вісь $O_i z_i$ напрямлена за нормаллю до серединної поверхні i -го шару.

Деформування кожного шару описано співвідношеннями тривимірної теорії за лінійної апроксимації залежностей компонентів вектора переміщень від поперечної координати z_i [1, 2]. За незалежні змінні прийняті тангенціальні та нормальні переміщення внутрішньої і зовнішньої поверхонь шарів. Фізичні співвідношення подані згідно деформаційної теорії пластичності [2].

Безпосереднє використання лінійного закону зміни переміщень за товщиною шарів при не рівних нулеві коефіцієнтах Пуассона матеріалів шарів призводить до неправильних результатів. Для компенсації вказаного явища в даній роботі введена статична гіпотеза $\sigma_{z,z}^{(i)} = 0$ [2]. В цьому випадку величина $e_{z,z}^{(i)}$ не обчислюється за допомогою співвідношень Коші, а визначається з введеної гіпотези.

Конкретні числові результати отримані для випадку, коли оболонка навантажена рівномірним внутрішнім тиском.

Висновок. Для розв'язання даного класу нелінійних крайових задач авторами розроблено чисельну методику, яка базується на використанні методів додаткових напружень і скінченних елементів. Досліджено вплив пластичності матеріалу та деформацій поперечного зсуву і обтиснення на концентрацію напружень в області отвору за дії внутрішнього тиску.

Список літературних джерел

1. Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Оглобля А.И., Динкевич Ю.Л., Геращенко О.В. Расчет композитных конструкций с учетом расслоений. Киев: Будівельник, 1992. 136 с.

2. Метод конечных элементов в механике твердых тел. / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. 480 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ЧАСОМ

Федоряцька Н.І.¹, Астахов Д.С.², Клим В.Ю.¹

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

²ТОВ «Трайидент-Дефенс», Дніпро, Україна

Стан технічних об'єктів визначають шляхом моніторингу вимірювань параметрів надійності. Зазвичай проблема комп'ютерного моделювання дослідження стану в часі полягає в тому, що в отриманих статистичних вимірюваннях закони розподілу невідомі. В роботі була поставлена задача проведення обчислювальних експериментів з метою перевірки вимоги, що вимірювані параметри повинні бути статистично однорідними.

Відомо, що найбільш поширеними в теорії надійності є використання експериментальних даних з експоненційним законом розподілу. В роботі розглянуто вибірки випадкових величин для трьох статистичних закономірностей: експоненційні, Вейбулла і гамма-розподілу [1].

Досліджено інформативність статистичної однорідності вибірок за допомогою аналогів критерія перевірки Спірмена та Ширахате [2], що мають інформацію про стан технічних об'єктів. Обчислювальні експерименти були виконані на моделях експериментальних вимірювань на основі згенерованих випадкових величин.

Відповідно до умов задачі, для вибірки довжиною $n=10$ побудовано гістограми за критеріями Спірмена (рис. 1) та Ширахате (рис. 2), де $S(j)$ і $C(j)$ – випадкові величини відповідного критерія та проведено їх візуально-графічний аналіз.

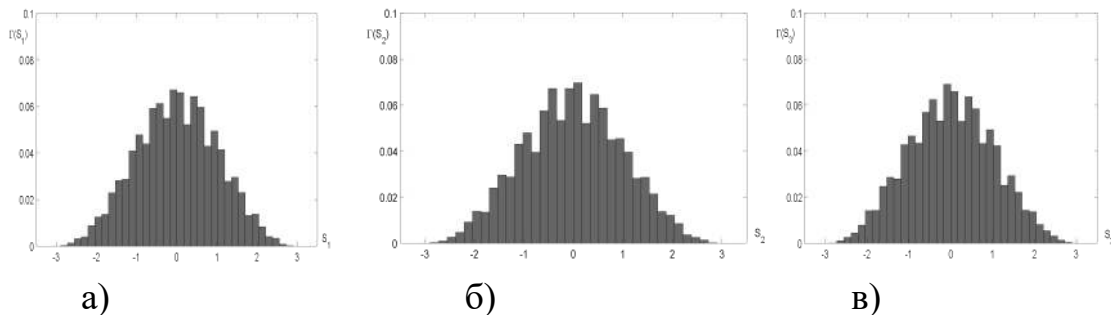


Рисунок 1 – Гістограми критеріїв $S(j)$ з розподілом ймовірності:
а) експоненційним; б) гамма; в) Вейбулла.

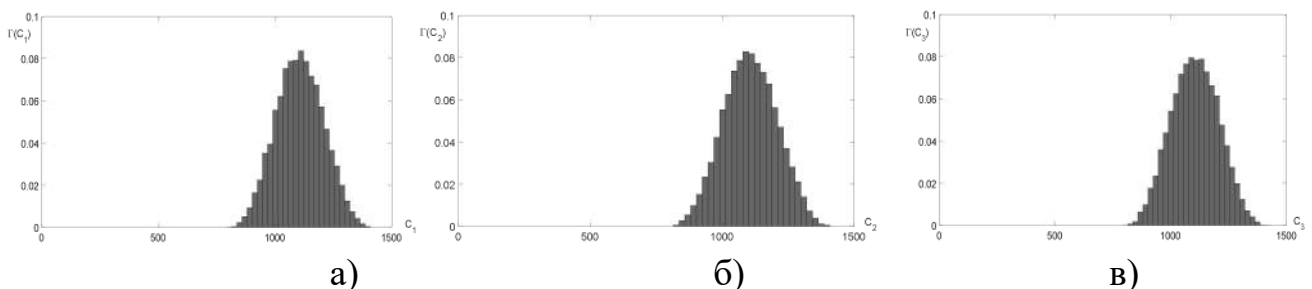


Рисунок 2 – Гістограми критеріїв $C(j)$ з розподілом ймовірності:
а) експоненційним; б) гамма; в) Вейбулла.

Проведено порівняння параметрів вибірок [3], де $V(j)$ – критерій порівняння, побудовані гістограми (рис. 3) та проведений візуально-графічний аналіз з довжиною вибірки 10.

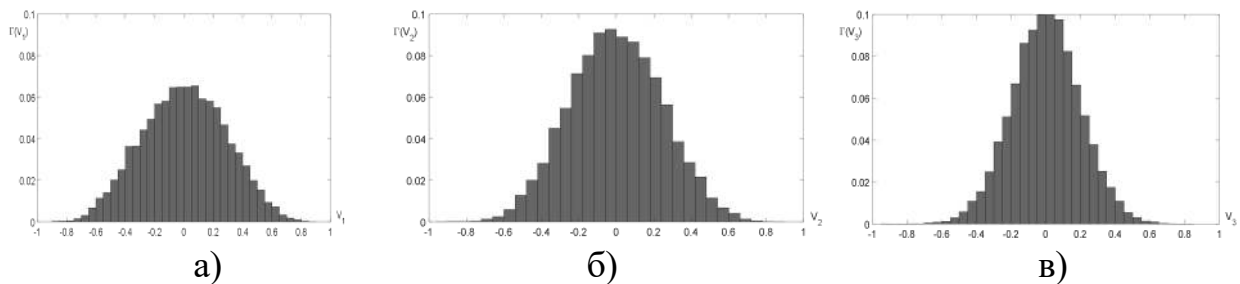


Рисунок 3 – Гістограмми критеріїв $V(j)$ з розподілом ймовірності: а) експоненційним; б) гамма; в) Вейбулла.

На підставі результатів візуально-аналітичного аналізу можна зробити наступні висновки.

В роботі виконано візуально-графічний аналіз гістограм за критеріями Спірмена та Ширахате, які мають інформацію про стан технічних об'єктів. Отримано емпіричну ймовірність $P^*(n)=0,9504$ при $n=10$, що обґрунтовує прийняття гіпотези про статистичну однорідність для випадкових величин з експоненційним законом розподілу.

Подальший розвиток роботи спрямований на проведення нових обчислювальних експериментів з іншими законами розподілу випадкових величин та визначення відповідних емпіричних ймовірностей для прийняття нульової гіпотези про статистичну однорідність, та детальний аналіз вхідних експериментальних даних параметрів надійності для комп'ютерного моделювання стану технічних об'єктів за часом.

Список літературних джерел

1. Малайчук В.П. Критерії непараметричної статистики Клотца і Буша-Вінда в задачах періодичного контролю технічних об'єктів / В.П. Малайчук, Н.О. Лисенко, Г.І. Федорович // Системні технології. Регіональний межвузівський збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 2. – С. 197–204.
2. Shirahata S. Intraclass rank tests for independence / S. Shirahata // *Biometrika*. – 1981. – Vol. 68, no. 2. – P. 451–456.
3. Малайчук В.П. Комп'ютерна модель дослідження інформативності критерію Стюдента / В.П. Малайчук, Д.С. Астахов, О.В. Літот // *System Design and Analysis of Aerospace Technigue Characteristics*. – 2022. – Vol. 30, no. 1. – P. 47– 54. – Режим доступу: [https:// doi.org/10.15421/472205](https://doi.org/10.15421/472205)

ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ В ТРЕЙДИНГУ ПРОДУКЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Шмалько Р.Є., Коряшкіна Л.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Трејдинг – це складний бізнес, який потребує точності в прогнозах цін на ринку, швидкості прийняття рішень та управління ризиками. Торгівля сільськогосподарською продукцією передбачає її закупівлю, контроль якості та продаж на внутрішньому та міжнародному ринках. Ринок функціонує на основі принципів попиту та пропозиції, при цьому ціни коливаються в залежності від різних факторів, що впливають на сільське господарство. Трейдери аналізують ринок, укладають контракти, організують зберігання та доставку продукції, забезпечують контроль її якості. Успішного агротрейдера відрізняє стратегічне мислення, знання виробничих циклів, унікальних для кожного агропродукту, швидкість ухвалення рішень, адаптивність до змін ринку, ефективне управління ризиками. В нинішніх умовах високої конкуренції рушійною силою успіху стає автоматизація процесів, запровадження ризик-менеджменту, що дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити швидкість обробки замовлень, мінімізуються різноманітні ризики, зокрема, мінімізувати вплив цінкових коливань і валютних змін.

Для аналізу ринкової динаміки, зв'язку між попитом, пропозицією, різними зовнішніми факторами та оцінки ризиків широкого застосування набуло імітаційне моделювання. Це – потужний, хоча й досить складний інструмент, що вимагає залучення висококваліфікованих фахівців з боку економістів, трейдерів, розробників програмного забезпечення, які реалізують імітаційну модель. Імітаційне моделювання дозволяє максимально наблизитися до реальних умов функціонування економічної системи або процесу (за умови адекватності моделі, що імітується). Завдяки можливості врахування великої кількості параметрів трейдингу та факторів, що впливають на нього (коливання цін, логістика, контроль якості, фінансові ризики, законодавчі зміни, конкуренція, погодні умови тощо), метод з достатньою точністю відтворює перебіг процесу у часі, що сприяє плануванню угод на основі очікуваної динаміки попиту та пропозиції. Залучення трейдерів в якості експертів при розробці імітаційних моделей збільшує точність вихідних даних та забезпечує високий ступінь адекватності моделей.

У сучасному імітаційному моделюванні застосовуються три основні підходи – дискретно-подійне моделювання, системна динаміка та агентне моделювання. Вони відповідають різним рівням абстракції під час створення моделі. При моделюванні трейдингу перший використовується, зокрема, коли оперують потоками замовлень, а переходи модельованого процесу з одного стану до іншого вважаються миттєвими. Другий підхід – для аналізу та прогнозування цін на ринку, третій – для імітації окремих трейдерів (агентів) на ринку, аби розуміти, як виникають цінкові коливання й панічні розпродажі під впливом їх індивідуальних простих рішень.

СЕКЦІЯ 2**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ**

- **оптимальне проєктування конструкцій**
- **оптимізація технологічних процесів**
- **перспективні методи оптимізації**

SESSIONS 2**MODELS AND METHODS OF OPTIMIZATION**

- **optimal design of structures**
- **optimization of technological processes**
- **advanced optimization techniques**

COMPUTATIONAL THERMODYNAMIC–KINETIC SIMULATION OF GAS REMOVAL DURING VACUUM STEEL REFINING

I. A. Behbudlu¹, A.T. Mammadov²

¹ Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan, behbudlu.imamverdi@gmail.com

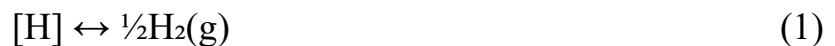
² Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan, ariff-1947@mail.ru

Introduction

Vacuum treatment of low-carbon steels plays a crucial role in enhancing steel cleanliness, eliminating dissolved gases, and improving mechanical performance. As one of the most effective secondary metallurgy processes, vacuum refining enables the removal of hydrogen, nitrogen, and carbon monoxide generated during melting and casting. However, despite its broad industrial application, the quantitative understanding of gas–metal interactions and diffusion dynamics remains limited—especially when correlating plant observations with theoretical models. Although the practice of vacuum metallurgy has been established for decades, its optimization still often depends on empirical experience rather than predictive simulation (Fruehan, 1998; Turkdogan, 2019). Hence, a comprehensive computational analysis of thermodynamic and kinetic mechanisms during gas removal is essential to advance process efficiency and enable digital transformation in modern steelmaking.

Main Material

This study develops a unified thermodynamic–kinetic framework to analyze hydrogen and nitrogen removal during vacuum treatment of molten steel. The model combines Sieverts' law for gas solubility with mass-transfer equations describing diffusion-controlled kinetics in the liquid phase. Equilibrium constants for the key reactions, Equations (1)–(3), were evaluated at 1550–1650 °C and 0.1–1.0 kPa:



Analytical and numerical simulations were performed in MATLAB R2024a using symbolic computation and regression analysis to predict concentration–time profiles and removal rates (Zhang et al., 2021; Li et al., 2022). Unlike empirical approaches, the framework enables predictive evaluation of gas-removal efficiency under variable temperature and pressure, providing a practical basis for optimizing industrial refining parameters.

Simulation results show that decreasing system pressure below 1.0 kPa sharply reduces the equilibrium solubility of gases, while maintaining 1600 °C (± 20 °C) ensures sufficient activation without excess heat consumption. Hydrogen removal follows a first-order exponential decay with a mass-transfer coefficient of 0.04–0.05 min⁻¹, confirming a diffusion-controlled mechanism. Nitrogen removal proceeds more slowly (0.012–0.018 min⁻¹) and is highly sensitive to boundary-layer thickness and interfacial area. These results highlight the dominant influence of hydrodynamic factors—particularly argon-stirring intensity and bubble–metal interactions—on overall degassing performance (Turkdogan, 2019; Zhang et al., 2021).

To validate the model, computational predictions were compared with industrial data from Baku Steel Company, showing $|\Delta| \leq 10\%$ between simulated and observed concentration–time curves. The corresponding hydrogen-removal efficiency reached $\approx 90\text{--}94\%$, while nitrogen removal was $\approx 80\text{--}85\%$ under stable stirring. Furthermore, the analysis revealed that reducing pressure below 0.1 kPa yields diminishing returns, emphasizing that optimal process design must balance thermodynamic driving force with energy demand.

Conclusion

The findings demonstrate that efficient and sustainable vacuum refining requires synchronizing thermodynamic equilibrium with kinetic activation. The developed framework enhances predictive control of gas-removal dynamics and provides a scientific foundation for digital-twin and AI-assisted automation in vacuum metallurgy. This integration effectively bridges theoretical modeling with industrial practice, ensuring that simulation-based insights translate into measurable process improvements. By combining computational modeling with real production data, the study contributes to the evolution of intelligent metallurgical systems that increase productivity, reduce emissions, and support sustainability goals (Behbudlu & Mammadov, 2025). Future research will focus on coupling the model with real-time sensor data and CFD simulations to improve predictive precision and enable adaptive control in industrial operations.

Keywords: vacuum metallurgy; modeling; thermodynamics; kinetics; simulation; gas removal; optimization.

References

1. Fruehan R. J. *The Making, Shaping and Treating of Steel: Steelmaking and Refining Volume*. Pittsburgh: AISE Steel Foundation, 1998.
2. Turkdogan E. T. *Fundamentals of Steelmaking*. London: The Institute of Materials, 2019.
3. Zhang J., Liu T., Xu Q. Kinetic analysis of hydrogen removal from liquid steel under vacuum conditions. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2021, vol. 52, no. 3.
4. Li Y., Zhang J., Wang X. Modeling gas–metal interactions in vacuum refining processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 2022, vol. 305, 117619.
5. Behbudlu I. A., Mammadov A. T. Characteristics of vacuum refining of low-carbon and low-alloy steels. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, accepted Dec 2025.

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ІНТЕГРАЦІЇ KUBERNETES-ОПЕРАТОРА З КЕРОВАНИМИ ХМАРНИМИ СЕРВІСАМИ

Бичков С. І., Солодка Н. О.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

У сучасних умовах розвитку хмарних технологій важливу роль відіграє автоматизація процесів керування інфраструктурою та сервісами. Організації, що активно використовують контейнеризацію, прагнуть зменшити витрати на обслуговування систем і водночас підвищити їх надійність. Платформа Kubernetes стала стандартом у галузі оркестрації контейнерів [1], проте її базові механізми не завжди забезпечують повний цикл управління складними сервісами чи інтеграцію з зовнішніми керованими платформами.

Проблематика полягає в тому, що розгортання та підтримка складних інфраструктурних систем (наприклад, баз даних або брокерів повідомлень) потребує значних людських ресурсів. Для розв'язання цієї проблеми застосовується підхід Kubernetes-операторів – програмних розширень, які реалізують автоматизацію типових адміністративних операцій.

Водночас у професійній спільноті триває дискусія щодо ефективності використання операторів порівняно з керованими сервісами. Підтримка власного оператора є складною, потребує експертних знань, постійних оновлень і створює додаткові ризики для продуктивних середовищ [2].

Запропоноване у даному дослідженні рішення не суперечить цим заувагам, а поєднує переваги обох підходів – гібридний підхід. Метою роботи є розробка Kubernetes-оператора, який виступає проміжним шаром між Kubernetes-кластером та керованою платформою, забезпечуючи автоматизовану взаємодію через API.

В основі дослідження використано відкритий проєкт Instaclustr Operator, який поширюється за ліцензією Apache-2.0.

Архітектура Operator включає три ключових компоненти:

- Custom Resource Definition (CRD) – визначає структуру користувацького ресурсу, який описує бажаний стан сервісу;
- Controller – відстежує зміни у стані ресурсів і синхронізує їх із фактичним станом на платформі;
- External Platform Client – виконує запити до REST API Instaclustr для створення, оновлення, масштабування та видалення кластерів у керованому хмарному середовищі.
- Instaclustr Operator реалізує повний набір функцій, доступних через офіційні інтерфейси – Instaclustr API, Terraform Provider та Instaclustr Console, але робить їх доступними у Kubernetes-native формі. При цьому оператор є open-source-рішенням, не потребує додаткових ліцензій і працює у межах стандартної моделі

безпеки Kubernetes. Автентифікація запитів здійснюється за допомогою API-ключа користувача, який зберігається у Kubernetes Secret.

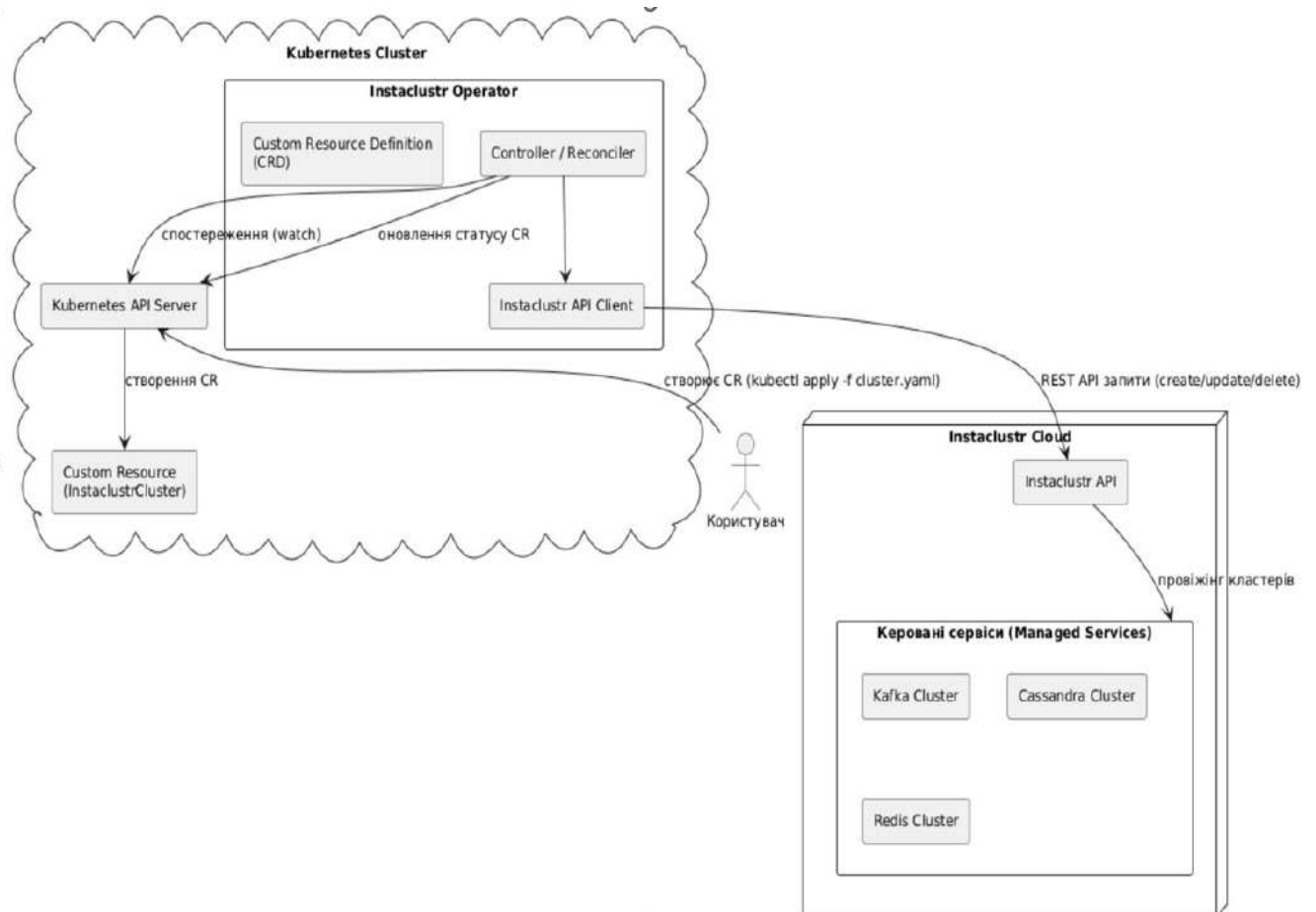


Рисунок 1 – Схема взаємодії користувача з продуктами Instaclustr через Kubernetes-оператора

Цільова аудиторія оператора – організації, що вже використовують Kubernetes як основну платформу для розгортання застосунків (AWS, GCP, Azure). Основні користувачі – DevOps-інженери, SRE та розробники, які потребують можливості автоматичного створення повного програмного стеку (включаючи data layer) безпосередньо з Kubernetes.

Таким чином, розроблений Kubernetes-оператор забезпечує Kubernetes-native спосіб роботи з керованими сервісами, дозволяючи поєднати гнучкість декларативного управління Kubernetes із надійністю хмарних платформ. Це знижує технічний борг, спрощує DevOps-процеси та сприяє розвитку практик автоматизованого управління інфраструктурою у сучасних підприємствах.

Список літературних джерел

1. The Kubernetes Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kubernetes.io/docs>
2. Ben Slater. Why pay for a managed service when I could just use a Kubernetes operator? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.instaclustr.com/blog/why-pay-for-a-managed-service-when-i-could-just-use-a-kubernetes-operator/>

МАСШТАБОВАНИЙ ПОШУК У CMS STRAPI: СТАНДАРТНА ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ПОВНОТЕКСТОВЕ ІНДЕКСУВАННЯ У POSTGRESQL Горяінов А.В., Анісімов В.В.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Для сучасних веб-систем з великими обсягами текстових даних важливу роль відіграють швидкий пошук і стабільна затримка відповіді. У більшості headless CMS, зокрема Strapi v5, пошук реалізується за допомогою високорівневих параметрів-фільтрів, що транслюються в SQL-запити. Для текстових полів використовується оператор \$containsi, який виконує пошук підрядка без урахування регістру [1]. Експериментально зафіксовано, що в розглянутій конфігурації це транслюється у форму LIKE LOWER('%...%'). У PostgreSQL такі шаблони належить до класу порівнянь, які унеможливають індексацію та спричиняють повні або майже повні сканування таблиць [2].

З метою досягнення масштабованості було реалізовано механізм, який переносить обчислювально важку частину запиту на рівень СУБД за допомогою повнотекстового індексування PostgreSQL. У базі даних увімкнено розширення unaccent, що прибирає діакритики (напр., é → e) [3]. Також увімкнено pg_trgm - модуль триграм, який надає оператори й індекси для швидкого підрядкового пошуку [4]. Основою рішення є повнотекстовий вектор search_vector типу tsvector: він містить лексеми з кількох полів запису (заголовок, опис, вміст) і відмічений вагами (від найбільшої у заголовку до найменшої у вмісті), які враховуються при обчисленні релевантності результатів. Для прискорення на search_vector створено GIN - інвертований індекс, який має зберігання виду «лексема-перелік рядків» і дуже швидкі пошукові операції [5]. Реалізований тригер для оновлення search_vector в момент внесення змін, з метою зниження навантаження на CPU шляхом усунення повторного парсингу тексту при кожному запиті. Пошуковий рядок перетворюється у tsquery з префіксним пошуком (:*) та кон'юнкцією термінів (&). Це забезпечує точніше співпадіння лексем. На прикладному рівні створено спеціальний контролер, який формує параметризований SQL-запит через низькорівневий конструктор. У межах одного звернення до БД поєднано перевірку відповідності search_vector @@ to_tsquery('simple', ?), фільтрацію за категорією та діапазоном дат, сортування, посторінкове отримання даних, а також агрегування пов'язаних медіафайлів засобом json_agg. Завдяки цьому усувається ефект N+1 при отриманні медіа і обмежується двома зверненнями до БД на запит (вибірка та підрахунок записів).

Порівняльне навантажувальне тестування на вибірці обсягом близько 10000 записів підтвердило суттєву перевагу індексованого підходу над стандартною текстовою фільтрацією у CMS, що можна побачити на рис. 1.

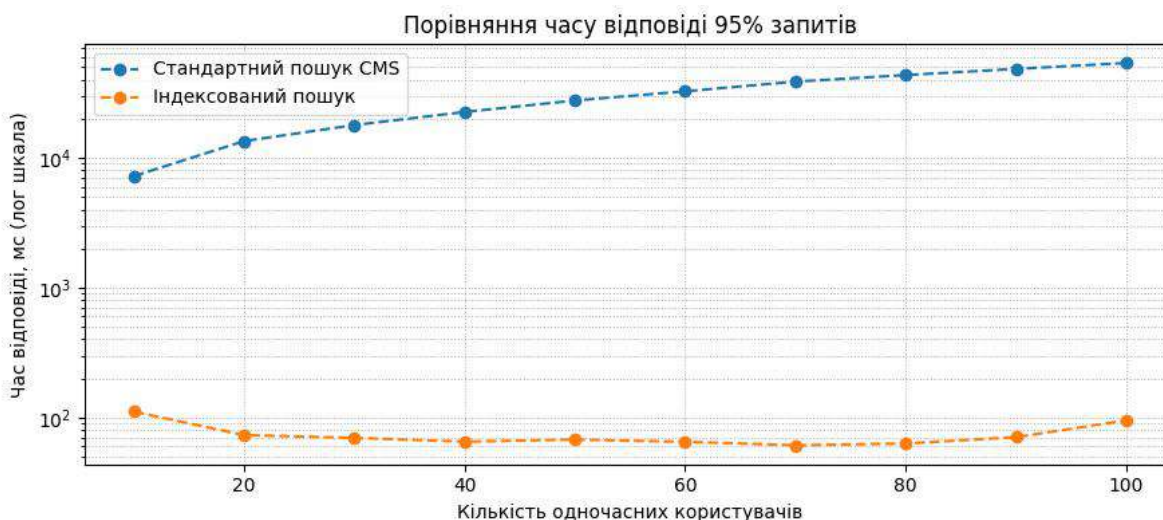


Рисунок 1 - Порівняння часу відповідей, до якого завершується 95 відсотків запитів до системи.

Для базової реалізації пошуку через SQL-умови LIKE, час відповіді, до якого завершилося 95 відсотків запитів (p95) зростає майже лінійно із кількістю одночасних користувачів - від приблизно 7 с при 10 користувачах до 53 с при 100 користувачах. Водночас оптимізована реалізація, заснована на повнотекстовому індексуванні PostgreSQL, продемонструвала стабільний показник p95 у межах 60–120 мс для всього діапазону навантажень до 100 користувачів. Крім того індексований механізм забезпечив не лише радикальне зменшення затримки, але й майже лінійне масштабування пропускну здатності. За додаткового навантаження в 1000 одночасних користувачів p95 становив близько 5,4 с при середньому значенні в 2,6 с, та 0% помилок, що підтверджує стійкість і горизонтальну масштабованість системи.

Отримані результати демонструють багаторазове прискорення у реальних сценаріях та повну стабільність продуктивності навіть за екстремальних умов. Таким чином, перенесення пошукової логіки на рівень СУБД і застосування повнотекстового індексування у Strapi дозволяють суттєво підвищити масштабованість, передбачуваність затримок і надійність веб-систем без зміни клієнтського API.

Список літературних джерел

1. Using filters with the Document Service API, Strapi 5 Documentation. URL: <https://docs.strapi.io/cms/api/document-service/filters> (дата звернення: 09.10.2025).
2. Pattern Matching. PostgreSQL Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/functions-matching.html> (дата звернення: 10.10.2025).
3. F.48. unaccent – a text search dictionary which removes diacritics. PostgreSQL Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/unaccent.html> (дата звернення: 10.10.2025).
4. F.35. pg_trgm – support for similarity of text using trigram matching. PostgreSQL Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/pgtrgm.html> (дата звернення: 16.10.2025).
5. GIN Indexes. PostgreSQL Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/gin.html> (дата звернення: 16.10.2025).

МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ

Гречина А. Р., Катан В. О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ. У сучасних умовах динамічного розвитку фінансових ринків та зростання рівня ризику в інвестиційній діяльності особливої актуальності набуває проблема оптимального розподілу капіталу між різними видами активів. Інвестор прагне досягти максимальної доходності при допустимому рівні ризику, що потребує використання математичних моделей для формалізації процесу прийняття рішень. Застосування методів оптимізації в інвестиційному аналізі дозволяє обґрунтовано формувати структуру портфеля, зменшувати вплив суб'єктивних факторів і підвищувати ефективність управління фінансовими ресурсами.

Основний матеріал. Інвестиційний портфель – це сукупність фінансових активів, у які інвестор вкладає кошти з метою досягнення найкращого співвідношення прибутковості й ризику. Класичну основу сучасної теорії портфеля розробив Гаррі Марковіц, який запропонував використовувати методи математичної статистики для визначення ефективного співвідношення активів. Його модель передбачає, що інвестор може мінімізувати ризик за заданої очікуваної доходності або, навпаки, максимізувати прибуток при допустимому рівні ризику. [1]

Модель ґрунтується на ідеї мінімізації ризику (дисперсії доходності портфеля) за заданого рівня очікуваної прибутковості. [2] Формально задача записується у вигляді формули 1:

$$\min_w \sigma_p^2 = w^T \Sigma w; \quad (1)$$

За умови 2:

$$w^T r = R; \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1; \quad (2)$$

де:

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ – вектор часток інвестицій у кожен актив;

Σ – коваріаційна матриця доходностей активів;

r – вектор очікуваних доходностей;

R – бажана середня доходність портфеля.

Подальший розвиток теорії інвестицій дозволив створити більш практичні моделі оптимізації портфеля. Наприклад, модель Тобіна враховує наявність безризикового активу, що дає можливість інвестору комбінувати безпечні та ризикові інструменти для досягнення бажаного рівня доходності. Крім того, популярними є стохастичні багатоперіодні моделі, які дозволяють прогнозувати доходність портфеля на декілька періодів наперед з урахуванням випадкових коливань ринку. [3]

Для вирішення складних задач оптимізації портфеля часто застосовують евристичні методи. Найпоширенішими є генетичні алгоритми, які імітують

процес природного відбору для пошуку оптимального набору активів, та метод рою частинок (PSO), який дозволяє знайти хороші рішення навіть у випадках, коли традиційні методи не спрацьовують через складну нелінійну структуру функції доходності. Ці методи дають змогу знаходити наближені глобальні оптимуми, коли портфель містить велику кількість активів і локальних екстремумів.

Сучасні підходи також включають оцінку ризику портфеля за допомогою показників Value-at-Risk (VaR) та Conditional Value-at-Risk (CVaR). VaR показує максимально можливий збиток за певний період із заданим рівнем довіри, а CVaR визначає середній розмір збитків у випадках, коли вони перевищують VaR. CVaR вважається більш інформативним, оскільки враховує екстремальні сценарії та дозволяє будувати захищеніші портфелі.

На практиці ці моделі реалізуються у звичних програмних середовищах, таких як Excel (Solver), Python (cvxpy, PyPortfolioOpt, scikit-learn), MATLAB та R (PortfolioAnalytics). При розрахунку реального портфеля додатково враховують транзакційні витрати, ліквідність активів, податки та обмеження на максимальну частку окремих цінних паперів у портфелі. Це робить процес оптимізації більш наближеним до реальних умов ринку і дозволяє інвестору приймати більш обґрунтовані рішення.

Висновки. Моделі оптимального розподілу інвестиційного портфеля є важливим інструментом прийняття раціональних фінансових рішень. Вони дають змогу поєднати теоретичний аналіз із практичними аспектами управління ризиком. Використання сучасних методів оптимізації та елементів штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизації процесу інвестування, підвищення ефективності управління капіталом і адаптації до змін ринкової кон'юнктури.

У перспективі розвиток портфельних моделей буде пов'язаний із поєднанням класичних статистичних підходів та інтелектуальних технологій, що створює підґрунтя для формування дійсно «розумних» інвестиційних систем.

Список літературних джерел

1. Іоргачова М. Формування оптимального інвестиційного портфеля: ключові етапи [Електронний ресурс] / Марія Іоргачова, Олена Ковальова // Економіка та суспільство. – 2025. – № 72. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-147> (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.
2. Mazhara G. A. Modeling of the optimal investment portfolio focused on risk minimization [Електронний ресурс] / G. A. Mazhara // Modern economics. – 2023. – Т. 38, № 1. – С. 69–75. – Режим доступу: [https://doi.org/10.31521/modecon.v38\(2023\)-11](https://doi.org/10.31521/modecon.v38(2023)-11) (дата звернення: 15.10.2025). – Назва з екрана.
3. Інвестиційний менеджмент : Навч.-метод. посіб. / О. Слободянюк [та ін.]. – Одеса : Фенікс, 2024. – 129 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Грідін А.Д., Клімов Р.О.

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Останніми роками міське теплопостачання переважно забезпечується теплоелектроцентралями (ТЕЦ) та квартальними котельнями, де спалюється природний газ. Проте така система призводить до значних перевитрат палива. Одним із сучасних способів вирішення цієї проблеми є впровадження міні-ТЕЦ, які зазвичай працюють на базі газотурбінних або газопоршневих агрегатів [1,2].

Децентралізоване теплопостачання, засноване на міні-ТЕЦ, - це прогресивний підхід, що передбачає виробництво теплової та електричної енергії безпосередньо біля споживачів за допомогою багатьох невеликих когенераційних установок. Такий підхід особливо актуальний для міст з високим рівнем зношеності тепломереж і значними тепловтратами при транспортуванні [2].

Головні переваги газотурбінних і газопоршневих установок полягають у їхній мобільності та здатності до швидкого запуску. Висока енергоефективність міні-ТЕЦ підтверджується тим, що на них одночасно виробляють теплову та електричну енергію, що дозволяє досягати загального ККД на рівні 85-90 %. При тому що розташування поряд із об'єктами споживання знижує втрати теплоти при транспортуванні. Як наслідок, менші витрати на обслуговування мереж і інфраструктури, ніж у централізованих систем.

Доцільно використовувати районну ТЕЦ для покриття базового навантаження, а міні-ТЕЦ залучати в опалювальний сезон для додаткового підігріву мережної води до необхідної температури. Інноваційним рішенням для оптимізації теплопостачання є комбінована система, у якій протягом усього року вода для гарячого водопостачання підігрівається відпрацьованою парою турбін ТЕЦ, тоді як опалювальне навантаження взимку забезпечують квартальні міні-ТЕЦ.

З метою оцінки ефективності такої системи була розроблена математична модель роботи міні-ТЕЦ. Результати моделювання свідчать, що з погляду економії палива найбільш доцільним є варіант однотрубною схемою з використанням заміської конденсаційної електростанції разом із міні-ТЕЦ. Це пояснюється зменшенням обсягу теплоносія, що циркулює в мережах, зниженням діаметру магістральних трубопроводів, скороченням енерговитрат на перекачування теплоносія, а також зменшенням теплових втрат через витоки та охолодження поверхні.

Список літературних джерел

1. Клімов Р.О. Теплоенергетичні системи промислових підприємств: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 200с.
2. Огризко П.Т. Енергозбереження в Україні. –Харків: Слобода, 2012. 298с.

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗБОЇВ У РОБОТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Дубовик Т.М., Левчук І.Л., Манько Д.О.

Український державний університет науки і технології, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

В даний час цифрова індустрія розвивається гігантськими темпами. Практично щодня з'являються нові мобільні додатки, нові сервіси, нові сайти та інші ресурси [1]. Для функціонування цих ресурсів необхідні комп'ютерні мережі та Інтернет.

Таким чином, підтримка в робочому стані та протидія атакам на комп'ютерні мережі є актуальним завданням.

Основними цілями атак є отримання контролю над системою, її виведення з ладу (DoS/DDoS), викрадення конфіденційної інформації, порушення конфіденційності або цілісності даних. Шахрайські дії, спрямовані на обман користувача з метою отримання його особистої інформації (логіни, паролі, дані банківських карток). Атаки типу "людина посередині" (MITM): зловмисник перехоплює та може змінювати дані, якими обмінюються два користувачі, не повідомляючи їм, що їхнє спілкування під контролем SQL-екземпляри. Вразливість у веб додатках може дозволити хакеру вставляти шкідливі SQL-запити в поля введення, щоб отримати доступ до бази даних або змінити її [1].

Атака спрямована на те, щоб зробити пристрій зловмисника посередником між 2 атакованими пристроями, такими як маршрутизатор і клієнт. Для цього зловмисник відправляє жертвам пакети, які будуть нести фальсифіковані пучки IP і MAC адрес, в результаті чого клієнт буде відправляти свої пакети зловмиснику, думаючи, що це маршрутизатор. Аналогічна ситуація і з роутером у бік клієнта [2]. Схема атаки показана на рисунку 1

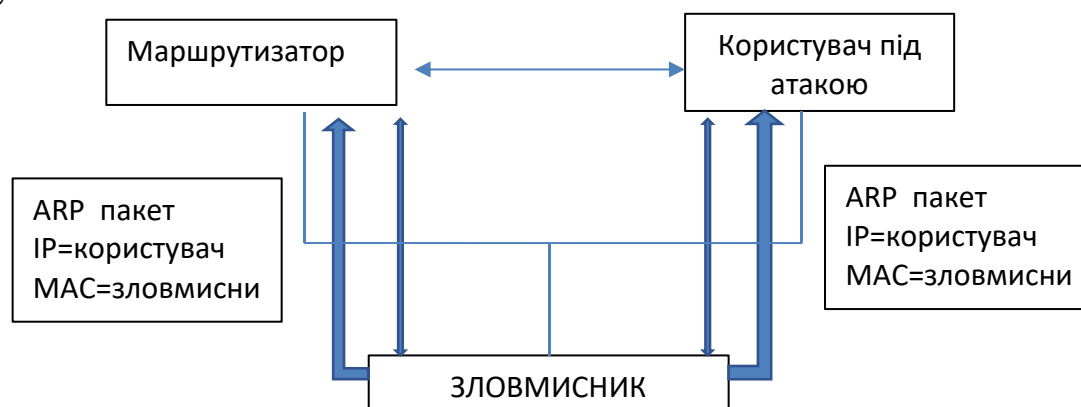


Рисунок 1 – AR Схема атаки

До атаки \longleftrightarrow . Атака \uparrow . Після атаки \rightarrow

Для боротьби з цією проблемою можна зробити ARP-записи статичними на всіх вузлах мережі, але це ускладнює адміністрування мережі.

DNS-спуфінг. Атака здійснюється на DNS-сервер в локальній мережі, метою якої є перехоплення запиту клієнта з метою відповіді підміною деякого ресурсу IP-адреси в доменному записі на IP-адресу зловмисника. Це робиться для того, щоб жертва потрапила на сайт зловмисника [3].

Алгоритм відключення порту: команда надходить на відключення порту на MAC-адресу зловмисника, пошук MAC-адреси в локальних копіях таблиць комутації всіх комутаторів; обчислюється номер порту в мосту. Ідентифікатор інтерфейсу обчислюється з номера порту в мосту, а з ID інтерфейсу на перемикач генерується команда для встановлення фізичного порту в стан вимкнення.

Алгоритм відключення порту на обладнанні показаний на рис. 3.

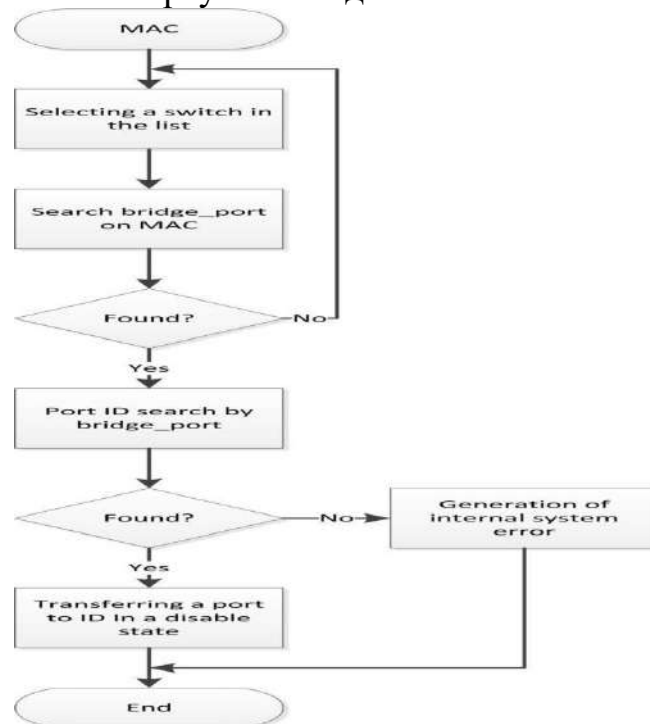


Рисунок 2 – Алгоритм відключення порту на обладнанні.

Висновки: для розробки інтелектуальної системи прогнозування, виявлення та попередження збоїв у роботі комп'ютерних мереж проведено огляд збоїв у роботі комп'ютерної мережі, методів найбільш поширених атак; перехоплення та аналіз пакетів; інструментів, що дозволяють працювати з даними мережі. Зроблено аналіз перехоплення та аналіз пакетів; відображення статистики та побудовані алгоритми виявлення різних атак комп'ютерних мереж і алгоритм відключення порту зловмисника.

Список літературних джерел

1. Жураковський Б.Ю. Комп'ютерні мережі. Принципи технологій, протоколи: типи мереж. Основа, 2020 р. – 248с.
2. Топології локальних мереж. URL: <http://www.xn--d1acjinvhdf.xn--plai/node/6> (дата звернення: 18.09. 2025).
3. Класифікація мережевих атак та методи протидії і захисту URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/6737/1/1.pdf> (дата звернення: 1.10. 2025).

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ НА БАРЖІ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВИХ ТА ВАГОВИХ ОБМЕЖЕНЬ

Заярний О.В., Попов А.В.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Оптимізація розміщення вантажу на баржі є важливим завданням сучасної транспортної логістики, адже від правильності завантаження залежать безпека, стійкість судна та ефективність використання вантажопідйомності. Складність цієї проблеми посилюється різними розмірами й масою контейнерів, конструктивними обмеженнями палуби та вантажопідіймальних механізмів, а також необхідністю дотримання рівномірного розподілу відносно бортів [1]. Додаткову проблематику створює висота крану, що обмежує можливість формування контейнерних ярусів у певних ділянках.

Вирішення поставлених завдань було зроблено використанням математичного програмування, методами евристичної оптимізації та алгоритмами багатокритеріального пошуку [2]. Основними критеріями були обрані максимізація обсягу завантаження, мінімізація крену та диференту, дотримання допустимих меж центра ваги та забезпечення конструктивної безпеки.

Моделювання процесу завантаження баржі з урахуванням різнорідних параметрів вантажу, технічних обмежень судна та просторової геометрії палуби було розроблено у програмному застосунку із використанням можливостей Unity для інтерактивної 3D візуалізації.

Моделі оптимізації розміщення вантажу були побудовані за допомогою експериментальних даних з реальних та симульованих сценаріїв завантаження баржі. У процесі дослідження враховувалися параметри контейнерів, такі як маса, габаритні розміри, допустиме навантаження на секцію палуби та координати центрів ваги. Додатково було сформовано набір технічних характеристик баржі: кількість відсіків, площа палуби, висота крану та допустимі межі крену й диференту.

На основі цих даних створено вхідні таблиці для алгоритмів оптимізації, що дозволило проаналізувати вплив різних факторів на балансування судна. Отримані результати використовувалися для калібрування моделі та перевірки ефективності обраних евристичних підходів у формуванні стабільного та оптимального плану завантаження.

Список літературних джерел

1. Melnyk O. Fundamental Concepts of Deck Cargo Handling and Transportation Safety / Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Koskina Y., Lohinov O., Veretennik O., Stukalenko O. // European Transport. – 2024. – Issue 98. – Paper 1. – P. 1-18. – DOI: <https://doi.org/10.48295/ET.2024.98.1>.
2. Baldacci R. A Numerically Exact Algorithm for the Bin Packing Problem / Baldacci R., Coniglio S., Cordeau J., Furini F. // INFORMS Journal on Computing. – 2023. – P. 141-162. – DOI: <https://doi.org/10.1287/ijoc.2022.0257>.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ Е-БАНКІНГУ

Катан В.О., Григор'єва В.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Е-банкінг – це система, яка передбачає дистанційне обслуговування клієнтів банків через мережу Інтернет. На сьогоднішній день ця система є дуже розповсюдженою та зручною, оскільки вона позитивно вплинула на розвиток інновацій та швидкість виконання операцій. Система е-банкінгу посприяла появі нових технологій та послуг в банківській сфері, зараз майже кожен банк має свій додаток, що містить не тільки послуги, які пов'язані з платежем, але і оформлення кредитів, автоплатежі, накопичення грошей, відкриття депозитів тощо. Це значно економить час для більшості підприємницьких організацій та звичайних клієнтів банків [1].

При появі нових можливостей можуть виникати нові загрози такі як проблеми з кібербезкою і збій в банківських системах. Щоб цього уникнути, банки повинні слідкувати за оптимізацією технологічних процесів. Оптимізація технологічних процесів е-банкінгу передбачає комплекс заходів для покращення ефективності виконання певних етапів роботи або їх ліквідації через неефективність. Також впроваджується контроль над певними факторами, такими як надійність захисту конфіденційної інформації та безпека при виконанні транзакцій. Такий захід надає нові та різноманітні інновації для вирішення цих проблем, а також підіймає конкурентоспроможність банківських установ [2].

Наразі в Україні з 1 серпня 2025 року впровадили відкритий банкінг, який допомагає в оптимізації технологічних процесів, оскільки є новим способом взаємодії фінансами. Він передбачає обмін фінансовими даними клієнта між банківськими та фінансовими установами. Варто зауважити, що це відбувається за згоди користувача та через API. Перевагами відкритого банкінгу є компактність, керування рахунками з різних банків здійснюється в одному додатку. Нововведеннями при впровадженні даної системи є те, що клієнти при поповненні карток через термінал повинні проходити авторизацію, буде відбуватись посилений контроль готівкових переказів та обмеження використання карток, які оформлені на чужі документи. Такі заходи допоможуть знизити випадки відмивання грошей та тіншових доходів [3,4].

Отже, відкритий банкінг в Україні має позитивні перспективи. Через його впровадження може вирішитись багато питань, пов'язаних з оптимізацією технологічних процесів, таких як прискорення швидкості важких банківських операцій або захисту конфіденційної інформації. Також система забезпечить розвиток технологій, допоможе у створенні нових послуг та підвищить стандарти банківського обслуговування. В свою чергу, це може вирішити проблеми з тіншовою економікою та відмиванням грошей. Але варто зазначити, що повноцінний результат можна буде побачити тільки через певний час, система повинна пройти період адаптації так як її впровадження відбулось нещодавно.

Список використаних джерел

1. Що таке Інтернет-банкінг? URL: https://business.dia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/scho_take_internet_banking
2. Оптимізація бізнес-процесів URL: <https://manageable.com.ua/optimizatsiya-biznes-protseviv/#:~:text=>
3. Open Banking з 1 серпня 2025: що зміниться для бізнесу та фізосіб. URL: <https://yankiv.com/ua/open-banking-shho-zminytsya-dlya-biznesu-ta-fizosib/>
4. 5 технологічних трендів для банків: куди рухається світовий ринок URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/5-tehnologichnih-trendiv-dlya-bankiv-kudi-ruhayetsya-svitovij-rinok>
5. В Україні офіційно стартував відкритий банкінг. Чого очікувати українському фінтеху? URL: <https://fintechinsider.com.ua/v-ukrayini-oficijno-startuvav-vidkrytyj-banking-chogo-ochikuvaty-ukrayinskomu-fintehu/>

ВПЛИВ РОЗВИНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕПЛООБМІНУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ КОНСТРУКЦІЇ ПІДІГРІВАЧІВ

Клімов Р.О., Глазунова О.Е.

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Інтенсифікація процесів теплообміну є важливим завданням у багатьох галузях промисловості та техніки. До конструкцій теплообмінного обладнання висуваються жорсткі вимоги, пов'язані зі зменшенням маси, габаритних розмірів і займаного об'єму. Одним із перспективних напрямів удосконалення є використання теплообмінних поверхонь зі збільшеною площею, що досягається за рахунок оребрення основної поверхні теплообміну [1]. Залежно від призначення теплообмінника, як критерій оптимізації можуть застосовуватись різні параметри. Оптимізацію геометричних параметрів теплообмінних апаратів можна здійснювати за різними критеріями, серед яких ключовими є їх геометричні розміри. Створення оптимальної конструкції теплообмінника із застосуванням методів планування експерименту є важливим і актуальним завданням, оскільки дозволяє скоротити витрату матеріалів на виготовлення обладнання та забезпечити максимально ефективну теплопередачу.

Мета даного дослідження полягає у визначенні впливу довжина трубки з оребренням, загального зовнішнього діаметру та коефіцієнту оребрення трубчастої системи, на конструкцію теплообмінника для підігріву повітря. Критерієм оптимізації обрано мінімальну загальну довжину трубної системи. Для експериментального дослідження процесу оптимізації конструкції теплообмінника за вказаним критерієм застосовано центральний композиційний план другого порядку $k = 3$ [2]. На основі цього було отримано математичну модель процесу

$$f_1 = 5,812 + 1,344x_1 + 0,245x_2 - 0,634x_3 - 0,275x_1x_3 - 0,203x_1^2 + 0,166x_3^2. \quad (1)$$

Аналіз отриманого рівняння свідчить, що найбільший вплив на загальну довжину труб має довжина однієї трубки (фактор x_1), орієнтованої поперек потоку повітря. Наступним за значущістю є коефіцієнт оребрення x_3 . Найменший вплив на оптимізований показник має несучий діаметр оребрення x_2 .

Розроблена методика дає змогу визначити оптимальну загальну довжину оребрених трубок. На основі отриманих даних можливо сконструювати теплообмінник із заданою кількістю трубок, орієнтованих поперек потоку теплоносія. Запропонований підхід дозволяє в спрощеній формі дослідити вплив поєднання різних факторів на довжину трубної системи та провести оптимізацію конструкції теплообмінного апарата.

Список літературних джерел

1. Клімов Р.О. Теплоенергетичні системи промислових підприємств: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 200с.
2. Нечаєв В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В. Теорія планування експерименту. Навчальний посібник. К.: Кондор, 2005. 232 с.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ДАНИХ З ПОРЯДКОВОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАННЯ У ВІДНОСНУ ЯК ЗАВДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Кожевников А.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Вступ. Одним з загальноприйнятих методів класифікації даних є їх поділ за шкалами вимірювання, які в свою чергу визначаються операціями, які припустимі над даними. Шкали впорядковані за зростанням кількості припустимих операцій виглядають так: номінальна (в т.ч. дихотомічна), порядкова (в т.ч. рангова), кількісна або метрична (в т.ч. інтервальна та відносна). Перехід від шкали з меншою кількістю припустимих операцій до шкали з більшою кількістю зветься підвищенням шкали і в загальному випадку вважається некоректним. Метою роботи є розробка методу математичної оптимізації, який, з залученням додаткових даних, дозволяє здійснювати кількісні оцінки на основі порядкових даних.

Основний матеріал. Клаттерна модель щільності населення (КМЦН) ґрунтується на залежності щільності населення певної території від її виду – забудови або ландшафту. Останні можуть бути ідентифіковані, а їх межі виділено шляхом аналізу та обробки супутникових знімків території.

Під терміном "клаттер" розуміється територія певного виду якої присвоєно експертну оцінку щільності населення, представлена в порядковій (далі для стислості ранговій) шкалі вимірювання.

Вичерпна класифікація клаттерів наведена в роботі [1], яка присвячена визначенню просторового розподілу щільності населення на користь вирішення завдань радіопланування.

Постановка задачі розрахунків просторового розподілу щільності населення в рамках КМЦН як завдання математичної оптимізації виглядає таким чином [1]: входними даними є значення чисельності населення N районів, для яких здійснюється розрахунки, $\{P_i\}_{i=1,\dots,N}$, а також значення рангів щільності населення $\{r_j\}_{j=1,\dots,M}$ клаттерів M видів і їх площ у районах $\{S_{ij}\}_{i=1,\dots,N; j=1,\dots,M}$. Потрібно визначити значення щільності населення клаттерів $\hat{d} = \{d_j\}_{j=1,\dots,M}$, що мінімізують цільову функцію

$$W(\hat{d}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(P_i - \sum_{j=1}^M d_j S_{ij} \right)^2} \quad (1)$$

при виконанні обмежень

$$d_1 = 0; d_k > d_m \text{ при } r_k > r_m \quad \forall k, m \quad (2)$$

Програмна реалізація представленого нижче методу кількісних оцінок на основі порядкових даних виконана в середовищі MATLAB. Розрахунки проводилися на основі даних, що були предоставлені провідним українським виробником цифрових картографічних продуктів фірмою Візіком. Розробка методу проводилася в три етапи. У якості базового чисельного методу

оптимізації був прийнятий метод покоординатного спуску (метод Гауса-Зейделя). На першому етапі приймалися “жорсткі” обмеження варіюємих змінних. Вони припускали рівність елементів рішення з різними рангами, $d_k = d_m$ при $r_k > r_m \forall k, m$, але не припускали вплив поточної варіюємої змінної на обмежуючі її значення. Результати розрахунків на цьому етапі показали нестійкість рішення щодо вихідних даних і слабке зменшення цільової функції в результаті оптимізації. На другому етапі були введені “гнучкі” обмеження, які припускали вплив поточної варіюємої змінної на обмежуючі її значення. Розрахунки показували стійкість розв'язку щодо вихідних даних і значне (до 30%) зменшення цільової функції в результаті оптимізації. Однак, у результаті розрахунків формувалося лише два значення щільності населення, загальні для клаттерів з рангами 1 – 3 і 5, 7, 9, 11, 12, 13 відповідно, що показувало практичну непридатність методу. На третьому етапі додатково до “гнучких” обмежень було введено припущення, що мінімально припустима відмінність між щільностями населення клаттерів із сусідніми рангами обмежена “зазором”, обумовленим величиною C

$$d_{j+1} - d_j \leq C \cdot d_{j+1}, \text{ або } d_{j+1} \geq \frac{d_j}{1-C}. \quad (3)$$

Надалі при розрахунках величина C приймалася фіксованою, однак при необхідності, її значення може бути встановлене для кожної пари клаттерів індивідуально.

У випадку збільшення поточної змінної j , з умови

$$d_q^k - C \prod_{s=j+1}^q d_s^k = d_j^{k+1} \quad (4)$$

визначалося максимальне значення індексу змінної q , яка може змінитися в результаті збільшення поточної, після чого всім змінним з індексами від $j+1$ до q привласнювалося значення d_j^{k+1} .

$$d_s^k = d_j^{k+1} + C \prod_{t=j+1}^s d_t^k \quad (5)$$

При зменшенні цільової функції зміни незалежні змінних остаточно ухвалювалися. Аналогічні дії проводилися й при зменшенні значення поточної варіюємої змінної. На рис.1 представлені отримані за цим методом графіки залежностей щільностей населення клаттерів d від номера кроку оптимізації n . З них випливає, що для кількості кроків оптимізації, яка відповідає стабілізації рішення кількісна оцінка щільності населення для ландшафту з рангом 1 (парки) складає $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$, а з рангом 13 (будівлі вище 7-ми поверхів) $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1}$. Тобто відношення рангових оцінок складає 13, а кількісних – 70, що доводить ефективність запропонованого методу.

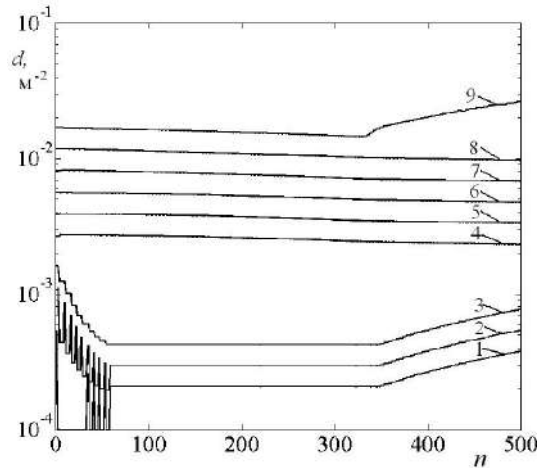


Рисунок 1 – Графіки залежностей щільностей населення клаттерів d від номера кроку оптимізації n (для клаттерів з різними рангами r): 1 – $r=1$; 2 – $r=2$; 3 – $r=3$; 4 – $r=5$; 5 – $r=7$; 6 – $r=9$; 7 – $r=11$; 8 – $r=12$, 8 – $r=12$; 9 – $r=13$; при значенні параметру $C=0,3$:

Висновки. Таким чином, запропоновано оптимізаційний метод розв'язку завдання визначення кількісних оцінок щільності населення з використанням клаттерної моделі. Представлено результати розрахунків, отримані за допомогою його програмної реалізації. Розроблений метод і програмне забезпечення може бути використане для одержання практично значимих кількісних оцінок просторового розподілу щільності населення.

Список літературних джерел

1. Kozhevnykov A.V., Krivosheev Ye.A. Estimation of the population density spatial distribution using clutter model. Науковий вісник НГУ – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – №2. – с. 31 – 36.

ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СКЛАДНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ЗАДАЧ

Косолап А.І.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ. Задачі вибору найкращих рішень виникають в кожній сфері людської діяльності. Для розв'язування таких задач будуються оптимізаційні моделі або алгоритми. Для складних систем побудувати алгоритми, що знаходять найкращі рішення досить складно, тому часто обмежуються евристичними алгоритмами. Побудова оптимізаційної моделі включає вибір критерію оцінки оптимальних рішень та обмежень на змінні моделі, які визначають найкраще значення критерію. Ці змінні необхідно знайти чисельними методами (програмами). В наш час розроблено безліч методів та програм для знаходження оптимальних розв'язків. Але більшість оптимізаційних моделей складних систем є мультимодальними, тобто містять безліч локальних екстремумів. Існуючі методи та програми стикаються з двома проблемами: великою розмірністю задач та проблемою виходу з локального екстремуму. Більшість методів для проходження локальних екстремумів використовують покриття допустимої множини змінних моделі безліччю точок. Така технологія допустима тільки для задач малої розмірності, адже вибір тільки однієї точки з кожного ортанту потребує 2^n точок, що вже для задач зі ста змінними є складною проблемою. Більшість моделей практичних задач містять десятки і сотні тисяч змінних. Існуючі програми дозволяють розв'язувати такі задачі тільки для унімодальних задач. Далі буде показано, що стандартні оптимізаційні моделі можна перетворити до вигляду, який можна розв'язати послідовністю унімодальних методів. Це дозволяє розв'язувати мультимодальні задачі великої розмірності.

Основний матеріал. Розглянемо стандартну задачу оптимізації

$$\min \{f_0(x) \mid f_i(x) = 0, i = 1, \dots, m, x \in E^n\}, \quad (1)$$

де передбачається, що всі функції $f_i(x)$ безперервні, x – шуканий n -вимірний вектор, а E^n – евклідовий простір. Для ефективного розв'язання задачі (1) передбачається, що всі функції двічі диференційовані. Це досить великий клас задач, оскільки він включає всі квадратичні та поліноміальні задачі. При даних припущеннях задача (1) має розв'язок, якщо її допустима множина компактна.

Задачу (1) перетворимо до наступної

$$\max \{ \|x\|^2 \mid f_0(x) + s + (r-1) \|x\|^2 \leq d, f_i(x) + r \|x\|^2 \leq d, i = 1, \dots, m \} \quad (2)$$

де $\|x\|^2 = x_1^2 + \dots + x_n^2 + x_{n+1}^2$. Параметр s задовольняє умові $s \leq \|x^*\|^2 - f_0(x^*)$, де точка x^* – розв'язок задачі (1). При виконанні даної умови перше обмеження задачі (2) буде активним. В задачі (2) точка глобального мінімуму буде найближчою до початку координат. Параметр r обираємо таким, щоб допустима множина задачі (2) стала опуклою. Квадратична регуляризація в задачі (2) буде точною.

В задачі (2) необхідно знайти мінімальне значення скалярної величини d , при якій її розв'язок буде задовольняти умові $r\|x\|^2 = d$. Такий розв'язок співпадає з розв'язком задачі (1). Мінімальне значення d знаходимо шляхом ітерацій. На кожній ітерації збільшуємо значення d та розв'язуємо задачу (2) будь яким методом (програмою) локальної оптимізації. Як правило, потрібно від 10 до 30 ітерацій, для виконання умови $r\|x\|^2 = d$ з заданою точністю. Таким чином, для реалізації методу

точної квадратичної регуляризації (EQR) достатньо мати програму локальної оптимізації. При розв'язуванні задач ми використовували надбудови Solver та OpenSolver для Excel. Програми оптимізації є також в математичних пакетах, відповідні модулі в мовах програмування. Розроблено безліч спеціалізованих програмних пакетів для глобальної оптимізації, але такі програми не гарантують отримання оптимальних розв'язків. Численні експерименти показують, що такі пакети дозволяють отримати кращі розв'язки, але процент таких випадків не перевершує 50%.

В останні 30 років ефективність методів та програм оптимізації для розв'язування мультимодальних задач перевіряється шляхом розв'язування тестових та прикладних задач. Такі тестові задачі добре відомі, їх легко знайти в мережі Internet. На наш погляд, кращим методом буде такий, який для більшості відомих тестових задач з невідомими розв'язками знаходить кращі розв'язки. Поряд з EQR методом ми розглядали метод покоординатного спуску (ПС) та стохастичні методи з бібліотеки Python. Як це не дивно, метод ПС показав значно кращі результати ніж стохастичні методи.

В табл. 1 ми пропонуємо 10 відомих складних тестових функцій для перевірки ефективності методів глобальної оптимізації. Для всіх задач EQR метод показав кращі результати. Розмірність задач дорівнює $n = 100$. Задачі 3 – 10 розв'язувалися існуючими методами тільки для $n = 2$, тому автор використав модуль `dual_annealing` з Python для порівняння результатів.

Таблиця 1– Задачі для перевірки ефективності методів глобальної оптимізації

№п/п	Задача	EQR метод min	dual_annealing min	Метод ПС min	$x \in [a, b]$
1	Egg holder	-89948.532	-89938(web)	-66396.1317	[-512, 512]
2	Rana	-50874.9533	-47332(web)	-50061.792	[-520, 520]
3	Adjman	-30.37418	-23.30464(py)	30.37418	[-1, 1]
4	Bird	-5230.32938	-4422.40738 (py)	-5230.32912	$[-\pi, \pi]$
5	Liang's	-85466.348	-81583.03 (py)	-85458.9268	[1, 4]
6	Mishra 5	-0.164278	2.310156 (py)	0	$[-\infty, \infty]$
7	Mishra 6	-214.715303	-194.185185 (py)	-214.00609	$[-2\pi, 2\pi]$
8	Ackley 3	-21766.8655	-21763.07123 (py)	-21766.73	[-100, 100]
9	Siam	-246.41142	-236.17073 (py)	-246.3828	[-1, 1]
10	Trefethen	-236.18838	-195.13504 (py)	-231.5663	[-10, 10]

Висновки. Обчислювальні експерименти підтверджують кращу ефективність EQR методу, але для більшості задач метод ПС показав досить гарні результати при розв'язуванні складних мультимодальних задач. Пропонується 10 відомих тестових задач розмірності 100, для перевірки ефективності існуючих та нових методів глобальної оптимізації. Визначено простий критерій, для перевірки ефективності методів розв'язування мультимодальних задач.

ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУРЬ'Є В ОБРОБЦІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Латанська Л. О., Мінаєв А. І.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Дискретне перетворення Фур'є (DFT) є важливим інструментом цифрової обробки зображень і широко застосовується в різних сферах, що включають комп'ютерну графіку, цифрову обробку сигналів, аналіз та редагування зображень та технологію стиснення даних. Метод використовується у професійному програмному забезпеченні для роботи з графікою та відео, зокрема в такому, як Adobe Photoshop, GIMP, та застосовується у створенні deepfake зображень та підвищенні якості згенерованих зображень.

Перетворюючи зображення на набір синусоїд з різними частотами, його можна змінювати або обробляти, наприклад, видаляти небажану інформацію за допомогою фільтра. Оскільки цифрові зображення є двовимірними дискретними функціями, для роботи з ними використовується двовимірне дискретне перетворення Фур'є [1]. Двовимірне DFT для зображення розміром $N \times M$ розраховується за формулою [2]:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}, \quad (1)$$

де $f(x, y)$ – піксель зображення у просторовій області; $F(u, v)$ – відповідне представлення в частотному просторі; $e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}$ – комплексна експонента, яка представляє синусоїдальні коливання.

Обчислювальна складність двовимірного DFT є доволі великою – $O(M^2N^2)$. Для зменшення кількості обчислень враховують двовимірність та використовують властивість відокремлюваності, тобто спочатку виконують одновимірне перетворення по рядках або по стовпцях, а потім – по іншому. Замість того, щоб рахувати подвійну суму для кожної точки, роблять два простіші одновимірні перетворення. Це зменшує кількість обчислень до $O(MN(M + N))$. Якщо використати алгоритм швидкого перетворення Фур'є (FFT), що базується на зменшенні кількості операцій за рахунок рекурсивного поділу даних на парні та непарні індекси, складність зменшується до $O(MN(\log M + \log N))$ [3]. Зображення можна відновити у просторову область за формулою зворотного дискретного перетворення Фур'є (IDFT) [2].

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}, \quad (2)$$

де $\frac{1}{MN}$ – нормалізуючий коефіцієнт у зворотному перетворенні.

Далі наводиться програмний код для перетворення зображення у частотну область та його відновлення у просторову область:

```
import cv2
import numpy as np
img = cv2.imread("butterfly.jpg", cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
f = np.fft.fft2(img)
fshift = np.fft.fftshift(f)
magnitude_spectrum = 20 * np.log(1 + np.abs(fshift))
magnitude_spectrum = cv2.normalize(magnitude_spectrum, None, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX)
ishift = np.fft.ifftshift(fshift)
ifft = np.fft.ifft2(ishift)
abs_img = np.abs(ifft)
cv2.imshow("Original", img)
cv2.imshow("FFT", np.uint8(magnitude_spectrum))
cv2.imshow("IDFT", np.uint8(abs_img))
cv2.waitKey(0) cv2.destroyAllWindows()
```

На рисунку 1 представлено результат перетворення зображення у частотну форму та його відновлення у просторову область.

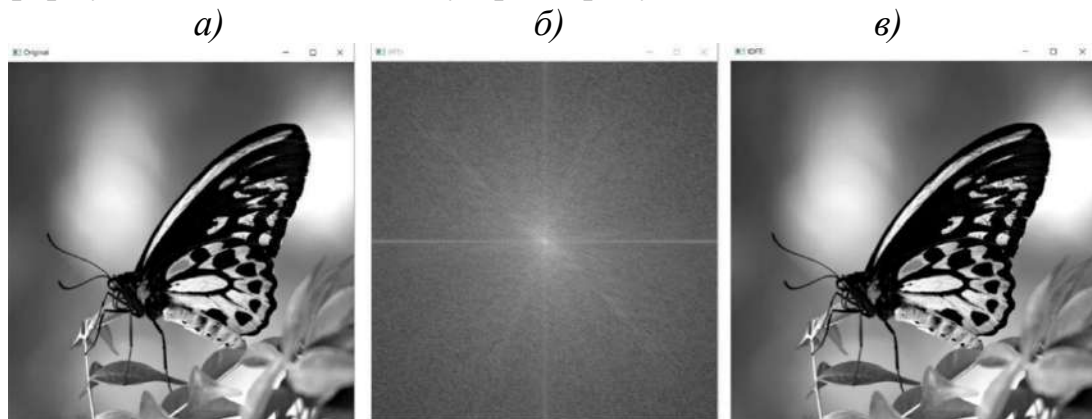


Рисунок 1 – Перетворення зображення у частотну форму: а) – вихідне цифрове зображення, б) – зображення у частотній області; в) відновлене вихідне зображення

Після перетворення зображення у частотну область кожна точка спектра відповідає певній просторовій частоті. Центральна частина містить низькі частоти (фон, великі форми), а віддалені області – високі, що відображають дрібні деталі та шум. Для зручності перегляду спектр зазвичай візуалізують з використанням логарифмічного масштабу, оскільки амплітуди різних частот дуже відрізняються [2].

Отже, можна зробити висновок, що DFT дає змогу ефективно аналізувати та обробляти зображення у частотній області. Застосування FFT спрощує обчислення та дозволяє підвищити якість і швидкість обробки зображень.

Список літературних джерел

1. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.
2. Convertini, V. N., Impedovo, D., Lopez, U., Pirlo, G., & Sterlicchio, G. (2024). Discrete Fourier transform in unmasking deepfake images. *Information*, 15(11), 711. <https://doi.org/10.3390/info15110711>
3. Stone, J. V. (2021). *The Fourier Transform: A tutorial introduction*. Sebtel Press.

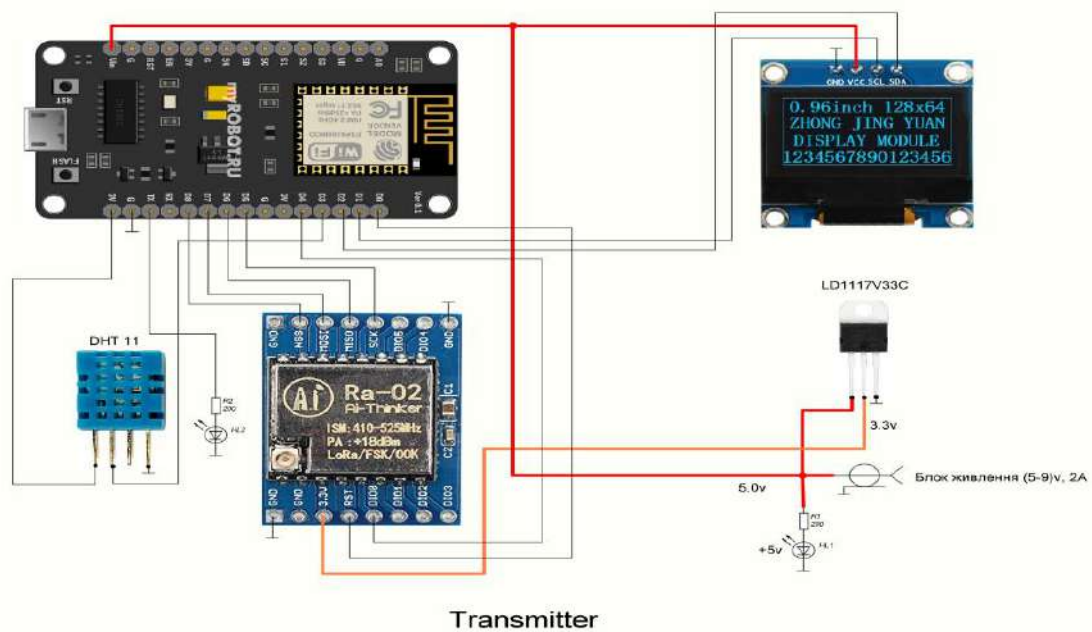


Рисунок 2 – Схема передавача

Апаратна частина обох вузлів, окрім ESP32 та SX1278 LoRa, включає невеликий OLED I2C display для локального відображення ключових параметрів та статусу зв'язку, а також мікросхему стабілізації напруги LD1117V33 з додатковим блоком живлення для забезпечення стабільного живлення і надійної роботи радіомодуля. Програмне забезпечення для мікроконтролерів розробляється в середовищі Arduino IDE (версія 8.13). Для візуалізації та розробки структурних і принципових електричних схем платформи використовується інженерна програма sPlan 8.

Реалізація проекту передбачає розробку структурної та принципової електричної схеми, написання та налагодження коду приймача/передавача та створення фізичного макету системи. Очікувані результати включають демонстрацію надійного зв'язку на великих відстанях та забезпечення моніторингу даних у реальному часі через додаток Vlynk на смартфоні та ПК, що підтвердить практичну цінність розробленої гібридної LoRa/Wi-Fi системи.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОГРАМ НА PYTHON ШЛЯХОМ КОМБІНУВАННЯ З МОВАМИ C/C++ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ БІБЛІОТЕК

Макарова Л. М., Тімченко Е.О.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

У сучасному програмуванні Python є однією з найпопулярніших мов завдяки зручності синтаксису, великій кількості бібліотек і простоті у використанні. Однак її інтерпретований характер призводить до зниження швидкодії у порівнянні з компільованими мовами, такими як C та C++ [1].

Для підвищення продуктивності Python-застосунків існує декілька підходів: використання бібліотек, реалізованих на C (NumPy, Cython) [2], застосування JIT-компіляції (Numba, PyPy) [3], комбінування Python із C/C++ через API (pybind11, ctypes, SWIG) [4], а також використання GPU-оптимізації (CuPy, PyTorch, CUDA) [5].

Для експериментального дослідження було обрано задачу множення квадратних матриць розміром $n \times n$, що є типовою обчислювальною операцією в чисельному моделюванні, аналізі даних та штучному інтелекті. Дослідження виконано мовами C++, Python, та обрано по одному представнику кожного підходу – NumPy, PyPy, CuPy та pybind11, які відображають найпоширеніші способи підвищення ефективності виконання програм на Python.

Для вимірювання часу виконання використано вбудовані таймери кожної мови програмування. Результати у секундах наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Час виконання алгоритму для різних реалізацій

Розмір матриці	C++	Python	NumPy	PyPy	CuPy (GPU)	pybind11 (C++)
100×100	0,000991	0,0226	0,000009	0,0021	0,000066	0,000405
200×200	0,008900	0,1984	0,000074	0,0130	0,000086	0,004003
300×300	0,027600	0,8161	0,000236	0,0443	0,000304	0,014491

Графічне порівняння ефективності різних реалізацій подано на рисунку 1.

Отримані результати свідчать, що продуктивність програм на Python значно залежить від обраного підходу до оптимізації. Базова реалізація на чистому Python виявилася найповільнішою, тоді як використання низькорівневих бібліотек і компіляційних методів забезпечує істотне прискорення. Зокрема, застосування бібліотеки NumPy дало змогу збільшити швидкість більш ніж у 3000 разів завдяки реалізації векторних операцій на рівні мови C. Використання середовища PyPy із JIT-компіляцією підвищило продуктивність приблизно у 10–20 разів без зміни синтаксису вихідного коду. Обчислення на графічному процесорі за допомогою бібліотеки CuPy виявилися найефективнішими, скоротивши час виконання у десятки тисяч разів, проте їх застосування обмежене наявністю сумісного GPU-обладнання та середовища CUDA. Інтеграція Python із C++ через API (pybind11) продемонструвала стабільну високу швидкість, близьку до нативного коду C++, що забезпечує понад п'ятдесятикратне пришвидшення виконання.

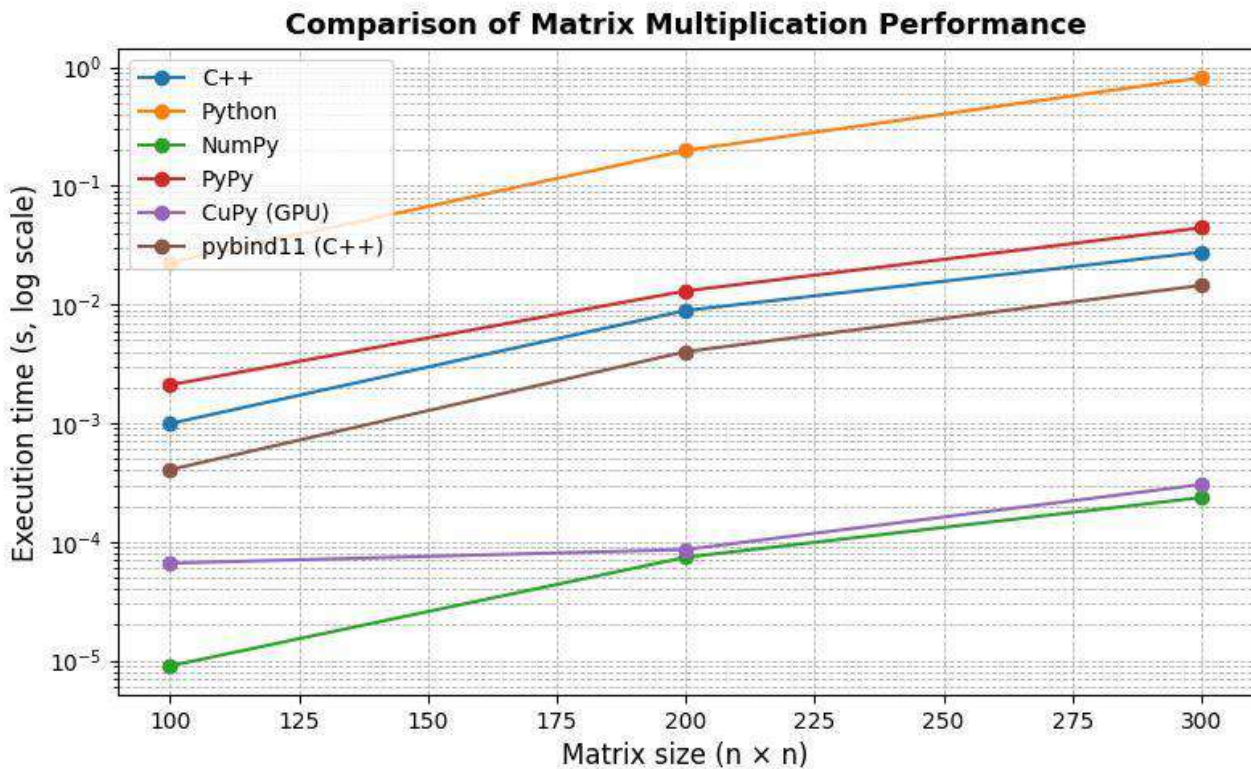


Рисунок 1 – Порівняння часу виконання алгоритму для різних реалізацій

Таким чином, поєднання Python із високопродуктивними бібліотеками (NumPy, CuPy) або низькорівневими модулями на C/C++ (pybind11) є оптимальним шляхом створення ефективних програмних систем, який дозволяє зберегти гнучкість і зручність розробки без втрати продуктивності, властивій компільованим мовам.

Список літературних джерел

1. Bales R. C++ vs. Python: Full Comparison [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://history-computer.com/c-vs-python-2/>
2. Harris C. R. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.
3. Lam S. K., Pitrou A., Seibert S. Numba: A LLVM-based JIT compiler for Python // Proceedings of the Second Workshop on the LLVM Compiler Infrastructure in HPC. – 2015.
4. Jakob W., Rhineland J., Moldovan D. pybind11 – Seamless operability between C++11 and Python [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://pybind11.readthedocs.io>
5. Okuta R., Unno Y., Nishino D., Hido S., Loomis C. CuPy: A NumPy-Compatible Library for NVIDIA GPU Calculations // Proceedings of Workshop on Machine Learning Systems (LearningSys), NIPS 2017. – Режим доступу: <https://cupy.dev>

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ РЕЛОКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО СТАНУ КРАЇНИ

Малєєва О. В., Федорович В. А., Компанець В. В., Рибальченко Т. П.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Функціонування високотехнологічних підприємств, які випускають актуальну продукцію оборонного призначення, знаходяться під загрозою від агресивних дій противника. Виникає необхідність у релокації (евакуації) підприємств на нове, відносно безпечне, місце розташування. Тому, актуальна тема запропонованої доповіді, в якій представлені результати дослідження щодо логістики релокації підприємства до тилу [1]. Метою доповіді є створення комплексу математичних та імітаційної моделей, за допомогою яких планується релокація підприємств в умовах особливого стану країни. Завдання, які вирішуються у дослідженні: проаналізувати логістику релокації підприємства на нове місце розташування; створити оптимізаційні моделі щодо релокації підприємства, в умовах обмежених можливостей; розробити імітаційну модель щодо дослідження послідовності дій у релокації підприємства.

Проведено аналіз послідовності дій, пов'язаних з переміщенням підприємства на нове місце розташування (формування інфраструктури, демонтаж технологічного обладнання, транспортування, монтаж, проведення пуско-налагоджувальних робіт). Використані показники часу, витрат та ризиків для оцінки ресурсного забезпечення релокації. Створена оптимізаційна модель щодо вибору раціонального варіанту складу логістичних дій для евакуації підприємства, в умовах загроз. При відносно малій кількості варіантів, використовується метод лексикографічного впорядкування, з можливістю використання як кількісних так і якісних оцінок показників. Проведена багатокритеріальна оптимізація процесу релокації підприємства для пошуку компромісу серед основних показників. Велику увагу приділено імітаційному моделюванню логістики релокації підприємства та імітації транспортування технологічного обладнання. Використано агентне середовище Any Logic для пошуку раціональних маршрутів релокації підприємства на нове місце розташування. Проаналізовано вплив військових загроз на логістику релокації. В якості прикладу, проведено моделювання релокації підприємства з використанням залізничного транспорту.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє сформувати раціональну логістику руху вантажів з технологічним обладнанням для проведення релокації (евакуації) підприємства на нове, відносно безпечне місце розташування виробництва, в умовах військових загроз. Це сприяє підвищенню стійкості виробництва в особливому стані країни.

Список літературних джерел

1. Моделі та інформаційна технологія управління старінням техногенних систем в умовах сучасних ризиків / Oleg Fedorovich, Liudmyla Lutai, Oleg Uruskiy, Sergii Gubka, Yuliia Leshchenko // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2024. – № 3. – С. 175-189. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.3>

ЗАДАЧА ПРО МАКСИМАЛЬНИЙ ПОТІК ІЗ НЕЧІТКО ЗАДАНИМИ ПРОПУСКНИМИ ЗДАТНОСТЯМИ КОМУНІКАЦІЙ

Мірошніченко О.О., Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Однією із класичних задач теорії графів є задача про максимальний потік. Вона виникає, коли потрібно знайти максимальний (за обсягом, або вагою, або ціною, тощо) потік вантажів, який можна пропустити з джерела в стік в одиницю часу. Передбачається, що в проміжних пунктах вантажі не споживаються і не виникають. Пропускні здатності комунікацій є нечіткими і задаються нечіткими числами [1].

Мережа комунікацій представляється у вигляді кінцевого, зв'язаного, змішаного графу з n пунктами та m комунікаціями (ребрами). Припускається, що множина комунікацій $E = \{(i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_m, j_m)\}$ певним чином упорядкована. Кожному ребру (i, j) відповідає пропускна здатність, що задана нечітким числом $d_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} \rangle$ з функцією приналежності $\mu_{ij}(d)$, заданої на універсальній множині U можливих значень пропускних здатностей $[0, +\infty)$.

$$U = [0, +\infty) = \{u \in \mathbb{R}^m \mid u_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, m\}, \quad (1)$$

де u_k – значення пропускної здатності комунікації (i_k, j_k) .

Множиною допустимих планів є нечітка множина $V_{\mathcal{F}}$, визначена на універсальній множині:

$$V = \{v \in \mathbb{R}^m \mid v_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, m\}, \quad (2)$$

де $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ – план перевезень по всій мережі, v_k – запланований обсяг перевезення за комунікацією (i_k, j_k) .

Максимальний потік на мережі $v^*(u)$ у випадку, коли пропускні здатності комунікацій $u = (u_{i_1 j_1}, u_{i_2 j_2}, \dots, u_{i_m j_m})$ дорівнює:

$$v^*(u) = (v_{i_1 j_1}^*(u), v_{i_2 j_2}^*(u), \dots, v_{i_m j_m}^*(u)). \quad (3)$$

Функція належності $\mu_{\mathcal{F}}(v)$ нечіткої множини $V_{\mathcal{F}}$, заданої на універсальній множині V , визначається формулою:

$$\mu_{\mathcal{F}}(v) = \begin{cases} \max_{\{u \in U \mid v = v^*(u)\}} \min_{(i_k, j_k)} \mu_{i_k j_k}(u_{i_k j_k}), \\ 0, \text{ в іншому випадку,} \end{cases} \quad (4)$$

Нечітко визначена мета задачі формалізується нечіткою множиною $V_{\mathcal{G}}$ з функцією належності $\mu_{\mathcal{G}}(v)$:

$$m_{\mathcal{E}}(v) = \frac{S(v) - S^{\min}}{S^{\max} - S^{\min}}, \quad (5)$$

де:

$S(v)$ – величина потоку при допустимому плані v ;

$v^*(u)$ – максимальний потік при пропускних здатностях u ;

$S(v^*(u))$ – величина максимального потоку при пропускних здатностях u ;

S^{\min} – величина максимального потоку у разі, коли пропускні здатності всіх комунікацій мінімальні, тобто дорівнюють a_{ij} ;

S^{\max} – величина максимального потоку у разі, коли пропускні здатності всіх комунікацій максимальні, тобто дорівнюють c_{ij} ;

Застосовуючи, наприклад, алгоритм Форда-Фалкерсона [2 – 4], обчислюється $S(v^*(u))$.

Функція належності $m_{\mathcal{E}}$ планів нечіткій мети розглядається як показник близькості плану v до найбільшого за величиною максимального потоку, який характеризується близькістю величини $S(v)$ до величини S^{\max} .

Нечітким розв'язком задачі є нечітка множина \mathcal{B} з функцією належності $m_{\mathcal{B}}(v)$, що є перетином нечіткої множини допустимих планів і нечіткої мети:

$$m_{\mathcal{B}}(v) = \min\{m_{\mathcal{F}}(v), m_{\mathcal{E}}(v)\}. \quad (6)$$

Розв'язком задачі є план v^* , для якого

$$m_{\mathcal{B}}(v^*) = \max_{v \in V} m_{\mathcal{B}}(v) = \max_{v \in V} \min\{m_{\mathcal{F}}(v), m_{\mathcal{E}}(v)\}. \quad (7)$$

Алгоритм наближеного розв'язання задачі.

Задається з певним кроком значення функцій належності пропускних здатностей та знаходяться відповідні значення пропускних можливостей комунікацій. Знаходиться максимальний потік при таких пропускних здатностях, визначається значення функції належності нечіткої мети та значення функції належності нечіткого рішення.

Визначивши значення функції належності нечіткого рішення для всіх кроків алгоритму, вибирають із цих значень максимальне. Відповідний максимальний потік і дає наближений розв'язок задачі.

Список літературних джерел

1. Флегонтов, А. В., Вилков, В. Б., Черных, А. К. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных. Лань, 2020. 329 с.
2. Бардачов Ю.М., Соколова Н.А., Ходаков В.Є. Дискретна математика. К. : Вища школа, 2002. 287 с.
3. Басакер Р. Саати Т. Конечные графы и сети, М. : Наука, 1974. 368 с.
4. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход, М. : Мир, 1978. 430 с.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО РОЗКЛАДУ ЗДОБУВАЧІВ НА ВЕБ-ПОРТАЛІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ

Мітасов А.В., Анісімов В.В.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Формування навчального розкладу у закладах освіти є складною комбінаторною задачею, що належить до NP-повного класу задач оптимізації. Вона потребує одночасного врахування безлічі обмежень: кількості груп, викладачів, аудиторій, тривалості пар, перерв, а також логічної послідовності дисциплін. У більшості випадків такий процес здійснюється вручну, що призводить до перевантаження адміністративного персоналу, неефективного використання ресурсів і появи конфліктів у розкладі. Автоматизація цього процесу на основі методів оптимізації дозволяє значно зменшити час формування розкладу та підвищити його якість.

У межах дослідження було розроблено вебдодаток для автоматизованого формування навчального розкладу здобувачів вищої освіти. Система реалізована з використанням технологій Java Spring Boot, Spring Data JPA, Bootstrap та JTE шаблонізатора. Такий стек забезпечує адаптивний інтерфейс, інтеграцію з базою даних і кросплатформений доступ через вебпортал закладу освіти. Застосунок функціонує за архітектурною моделлю MVC (Model–View–Controller), що спрощує підтримку й масштабування системи. Взаємодія з користувачами здійснюється через інтерфейс адміністратора, викладача й студента, які мають персоналізований доступ до перегляду та редагування розкладу.

Основний алгоритмічний модуль системи побудований на генетичному алгоритмі (ГА) — стохастичному методі пошуку, натхненному принципами природної еволюції [1]. ГА оперує множиною можливих рішень (популяцією), де кожне рішення (індивід) є потенційним розкладом занять. Кожен індивід кодується у вигляді хромосоми, елементи якої представляють окремі пари «дисципліна – викладач – аудиторія – часовий слот».

Оцінка якості кожного рішення здійснюється за допомогою функції пристосованості (fitness function), яка відображає кількість і вагу порушень заданих обмежень. Узагальнено вона може бути записана як:

$$F(x) = 1 / (1 + \sum(w_i * C_i(x))) \quad (1)$$

де $F(x)$ — значення пристосованості розкладу x ;

$C_i(x)$ — кількість порушень i -го обмеження (наприклад, викладач у двох місцях одночасно, перевищення кількості занять у день тощо);

w_i — ваговий коефіцієнт важливості цього обмеження.

Таким чином, чим менше порушень має розклад, тим більше значення $F(x)$, що відповідає кращій якості рішення. Для підвищення точності оптимізації функція може включати штрафи за «вікна» між парами, надмірну концентрацію занять у певні дні або недотримання балансу навантаження викладачів.

Робота генетичного алгоритму включає такі етапи: ініціалізація популяції, оцінка пристосованості, селекція, кросовер та мутація. На початковому етапі створюється множина випадкових розкладів, які потім піддаються еволюційним операторам. Для селекції використовується метод турнірного відбору, що дозволяє зберегти найкращі особини. Кросовер здійснюється за принципом одноточкового або двоточкового обміну сегментів між хромосомами, утворюючи нові комбінації пар занять. Операція мутації змінює окремі гени хромосоми (наприклад, заміна аудиторії або зміна дня пари), що запобігає передчасній збіжності алгоритму та забезпечує різноманітність рішень.

Процес повторюється протягом заданої кількості поколінь, доки не буде досягнуто стабільного значення функції пристосованості або максимальної кількості ітерацій. Оптимальний розклад формується на основі найкращої хромосоми, отриманої в результаті еволюції.

Математично еволюцію популяції можна описати як ітеративний процес:

$$P^{(t+1)} = M(C(S(P^{(t)})) \quad (2)$$

де $P^{(t)}$ — популяція на ітерації t ;

S — оператор селекції;

C — оператор кросоверу;

M — оператор мутації.

Для підвищення ефективності реалізації ГА застосовано багатопотокову обробку та адаптивне регулювання ймовірностей кросоверу і мутації. Це дозволило зменшити час виконання обчислень та уникнути локальних мінімумів. Алгоритм інтегровано в бекенд-сервіс Spring, що дозволяє запускати оптимізацію безпосередньо з вебінтерфейсу.

Практичні результати показали, що використання генетичного алгоритму забезпечує скорочення часу формування розкладу з кількох годин до кількох хвилин, при цьому середня кількість конфліктів у фінальному варіанті розкладу зменшується порівняно з ручним складанням. Отримані розклади відповідають усім базовим обмеженням і мають гнучку структуру, що дозволяє легко адаптувати систему під різні навчальні програми та кількість груп.

Таким чином, застосування еволюційних методів оптимізації у задачі розкладу підтвердило свою ефективність та доцільність. Генетичний алгоритм забезпечує знаходження збалансованого рішення навіть для великих навчальних закладів із великою кількістю груп і дисциплін. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку гібридних моделей, що поєднують генетичні алгоритми з методами машинного навчання для прогнозування завантаженості аудиторій і викладачів, а також на впровадження інтерактивної візуалізації результатів на вебпорталі закладу освіти [2].

Список літературних джерел

1. Goldberg D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. – Reading (Mass.), Addison-Wesley, 1989. – 412 с. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022602019183>
2. Alam T., Qamar S., Dixit A., Benaïda M. *Genetic Algorithm: Reviews, Implementations, and Applications*. *International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)*. – 2020. – Vol. 10, No. 6. – P. 118–133. – DOI: 10.3991/ijep.v10i6.14567.(дата звернення: 18.10.2025).

РОЗРОБКА ГІБРИДНОГО ЕВОЛЮЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ НЕЧІТКОСТІ

Ніколаєв Т.М.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Задачі дискретної оптимізації, зокрема маршрутизації транспорту (VRP), належать до NP-складних проблем із широким практичним застосуванням [3]. З розвитком автономних систем (БПЛА) актуальність пошуку ефективних рішень зростає. Класичні підходи здебільшого ігнорують невизначеність реального світу (погодні умови, знос обладнання), що робить рішення «крихкими». Мета роботи — розробка гібридного методу, який поєднує генетичний алгоритм (ГА) [1] з апаратом нечіткої логіки [2] для отримання робастних рішень.

Розроблено програмний комплекс для моделювання задачі MDVRP (2 депо, 30 клієнтів) [5]. Початкова популяція ГА формується за допомогою евристики Кларка-Райта [4]. Алгоритм оптимізує «гігантський тур» на стратегічному рівні та декомponує його на операційному, мінімізуючи makespan. У базових умовах ГА покращив рішення Кларка-Райта на 12% (з 60.23 хв до 51.51 хв).

Для врахування невизначеності створено нечіткий контролер [2], що коригує витрати енергії залежно від вітру та зносу акумулятора. Порівняння стратегій показало:

Sopt (оптимістична): середній час у сприятливих умовах — 52.8 хв, але при ризиках зростає до 70.8 хв; стабільність низька (варіація >30%).

Srob (робастна): час у сприятливих умовах — 64.3 хв, при ризиках — 66.8 хв; стабільність висока (варіація <5%).

Таким чином, робастна стратегія забезпечує менший розкид результатів, що критично для місій з високим рівнем невизначеності.

Остаточний висновок полягає у тому, що гібридний алгоритм у поєднанні з нечіткою логікою та теорією ігор є ефективним інструментом для задач з невизначеністю, дозволяючи балансувати між швидкістю та надійністю.

Список літератури

1. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.
2. Kumari K. Fuzzy sets and fuzzy logic: A review of concepts, trends, and applications. 2025.
3. Toth P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem. SIAM, 2002.
4. Clarke G., Wright J. W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 1964.
5. Garside A. K., et al. Solving heterogeneous fleet vehicle routing problem with Clarke Wright saving heuristic and genetic algorithm. 2024.

КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЮ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКОВОЇ ПІДЙОМНОЇ СИЛИ МУЛЬТИРОТОРНОГО ДРОНА

Нішта Б. В.¹, Павленко І. В.²

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна, bohdan.nishta@gmail.com

² Сумський державний університет, м. Суми, Україна, i.pavlenko@cm.sumdu.edu.ua

У сучасному світі мультикоптери активно використовуються в різних галузях, від аграрного сектору до рятувальних операцій. Одним із ключових викликів є підвищення вантажопідйомності та енергоефективності без збільшення маси чи потужності двигунів. Одним із перспективних напрямів є використання принципу Архімеда для створення додаткової підйомної сили за рахунок витіснення повітря легкими конструктивними елементами [1].

Метою роботи є комп'ютерне моделювання аеродинамічних характеристик пристрою для створення додаткової підйомної сили мультироторного дрона.

Основними завданнями були:

- розробити геометричну модель пристрою для створення додаткової підйомної сили (оболонку наповнену газом легшим за повітря, наприклад гелій або водень);
- провести CFD-аналіз для визначення сили опору і оптимізації форми пристрою.

Для дослідження використано методи обчислювальної гідродинаміки (CFD) у середовищах ANSYS CFX.

Було змодельовано три конфігурації пристрою для створення додаткової підйомної сили (рисунок 1).

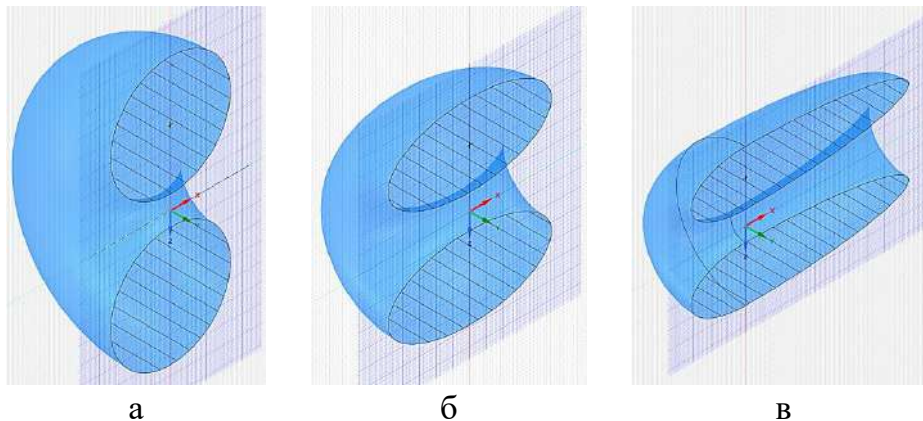


Рисунок 1 – Конфігурації пристрою для створення додаткової підйомної сили мультироторного дрона: а – круглий переріз, б – еліптичний переріз, в – аеродинамічний профіль

Кожна оболонка має об'єм $0,1 \text{ м}^3$. Як граничні умови обрано: на вході – початкова швидкість 5 м/с ; на виході – абсолютний тиск 1 атм . Робоче середовище – повітря за температури $15 \text{ }^\circ\text{C}$ і нульової висоти над рівнем моря (густина $1,225 \text{ кг/м}^3$, динамічна в'язкість $1,789 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$) [2]; модель турбулентності – SST.

Результати моделювання (вектори швидкостей) представлені на рисунку 2.

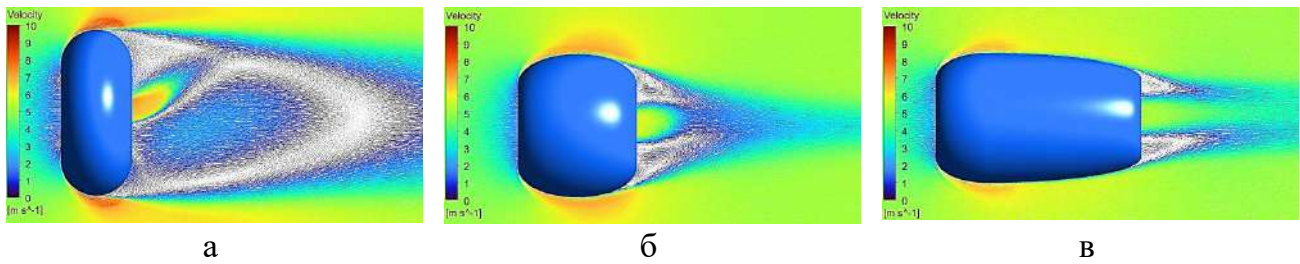


Рисунок 2 – Векторні поля швидкостей при обтіканні пристрою для створення додаткової підйомної сили мультироторного дрона: а – круглий переріз, б – еліптичний переріз, в – аеродинамічний профіль

Коефіцієнт аеродинамічного опору розраховувався за формулою [3]:

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho V^2 A}, \tag{1}$$

де F_d – сила аеродинамічного опору, Н; ρ – густина повітря, кг/м³; V – відносна швидкість, м/с; A – площа перерізу, м².

Значення сил опору і розрахованих за формулою (1) коефіцієнтів аеродинамічного опору зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Сила опору і коефіцієнт аеродинамічного опору для конфігурацій пристрою для створення додаткової підйомної сили мультироторного дрона

Характеристика \ Форма перерізу	круг	еліпс	аеродинамічний профіль
Площа поперечного перерізу A , м ²	0,43	0,26	0,17
Сила аеродинамічного опору F_d , Н	3,28	0,82	0,35
Коефіцієнт аеродинамічного опору C_d	0,50	0,21	0,13

Комп’ютерне моделювання показало наявність зриву потоку для конфігурації пристрою для створення додаткової підйомної сили мультироторного дрона із круглим перерізом, що значно підвищило силу аеродинамічного опору.

Найкращий науково-практичний результат має конфігурація із перерізом у вигляді аеродинамічного профілю. Відповідний коефіцієнт аеродинамічного опору для цього перерізу у 3,8 рази менший, ніж для круглого перерізу.

Список літературних джерел

1. Пристрій для створення додаткової підйомної сили безпілотного літального апарата : патент на корисну модель / Б. В. Нішта, І. В. Павленко. – Україна. – № 160099, МПК В64С27/08, заявл. 06.11.2024, опубл. 07.08.2025, бюл. № 32/2025.
2. U.S. Standard Atmosphere: Temperature, Pressure, and Air Properties vs. Altitude URL: https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d_604.html
3. Карінцев І. Б. Гідроаеропружність: підручник / І. Б. Карінцев, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2025. – 228 с.

Основні наукові результати одержані при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи ДР 0124U000636 (договір № 51.15.01-24/26.3П-01).

НЕДОЛІКИ РОБОТИ ЗВИЧАЙНОГО ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПРИ РОЗКЛАДАННІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ДАХУ

Помазан О.В., Анісімов В.В.

ДВНЗ «Український державний університет науки і технологій», Дніпро, Україна

Вступ. Генетичні алгоритми (ГА) широко застосовуються для оптимізації розміщення сонячних панелей на даху, але класичні реалізації мають серйозні обмеження. Задача розкладки панелей є складною багатокритеріальною проблемою, що включає максимізацію покриття площі, дотримання геометричних обмежень та уникнення перекриттів з архітектурними елементами. Стандартні ГА демонструють низьку ефективність через застрягання в локальних оптимумах, неадекватні оператори мутації та відсутність врахування специфіки геометричних обмежень. Традиційні підходи до мутації часто призводять до нераціонального використання простору та неефективного заповнення прогалів, що критично впливає на комерційну цінність кожного метра даху. У цій роботі проведено аналіз основних недоліків звичайних генетичних алгоритмів при розкладці сонячних панелей та запропоновано методи їх подолання.

Основний зміст роботи.

Метою даної роботи є дослідження недоліків стандартного генетичного алгоритму при розкладці сонячних панелей на даху з перешкодами. Задача оптимізації розкладки панелей має високу практичну цінність, оскільки ефективне використання поверхні даху безпосередньо впливає на енергетичну продуктивність сонячної системи.

Для оцінки якості розкладки сонячних панелей була розроблена фітнес-функція:

$$F = P \times \alpha - N \times \beta \quad (1)$$

де:

P – кількість панелей

N – кількість порушень обмежень

α, β – вагові коефіцієнти ($\alpha=2000, \beta=200$)

Фітнес-функція обрана через кілька причин. Лінійна структура спрощує обчислення та дає передбачувану поверхню фітнесу, що сприяє навігації генетичного алгоритму в просторі рішень. Коефіцієнти 2000 і 200 (співвідношення 20:2) встановлені емпірично: вони надають перевагу валідним рішенням над невалідними, навіть якщо останні мають більше панелей, що критично, оскільки невалідні рішення не можна реалізувати. Функція інтегрує обмеження через штрафи, тому алгоритм постійно отримує зворотний зв'язок і швидше еволюціонує до валідних конфігурацій, на відміну від підходів, що максимізують лише кількість панелей або повністю відкидають рішення з порушеннями. Експерименти показали, що таке співвідношення забезпечує баланс між швидкістю конвергенції та якістю рішень, забезпечує чітку

градацію якості для операторів селекції, кросоверу та мутації, і працює ефективно для різних типів дахів та конфігурацій перешкод, що робить її універсальною та практично придатною для реальних задач розміщення сонячних панелей.

Для базового дослідження було обрано типовий дах розміром 7.0×9.0 м з п'ятьма перешкодами (Рисунок 1): чотирма слуховими вікнами та одним димоходом. Параметри генетичного алгоритму були встановлені наступним чином:

Розмір популяції: 250 особин. Коефіцієнт мутації: 0.25. Коефіцієнт кросоверу: 0.9. Тип кросоверу: Одноточковий. Відбір: Турнірний з розміром турніру 6.

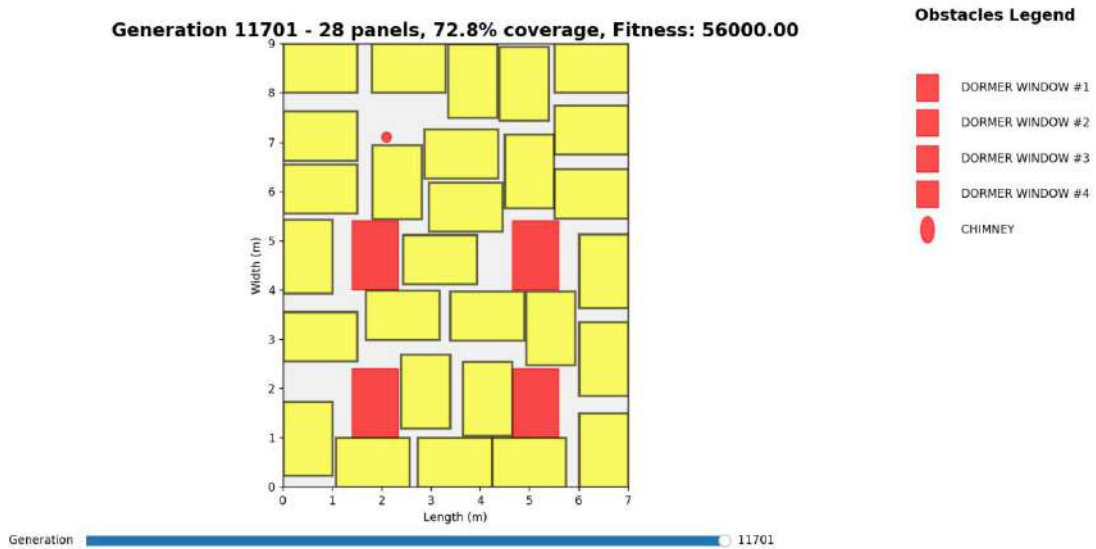


Рисунок 1 - Результат розкладки сонячних панелей на даху

Тестування тривало 2 години (7200 секунд) і виявило критичні недоліки стандартного ГА:



Рисунок 2 – Еволюція фітнес-функції

1. Застрягання в локальному оптимі.

На рисунку 2 видно, що після 3200 покоління алгоритм повністю припинив покращення. Фітнес-функція застрягла на значенні ~ 56000 при покритті 72.8%, що є далеко від потенційного максимуму. Це демонструє нездатність стандартного ГА виходити з локальних оптимумів.

2. Неефективне використання обчислювальних ресурсів

Значна частина виділеного часу (понад 1.5 години) була витрачена на стагнацію, а не на пошук кращих рішень, що робить алгоритм неефективним для практичного застосування.

Висновок. Проведене дослідження чітко продемонструвало фундаментальні недоліки стандартного генетичного алгоритму при розв'язанні задач оптимізації розкладки сонячних панелей на даху з перешкодами. Результати 2-годинного тестування виявили критичну проблему застрягання в локальному оптимумі після 3200 поколінь, коли фітнес-функція досягла лише 72.8% покриття поверхні при значенні ~ 56000 , що значно нижче потенційного максимуму. Основні недоліки стандартного ГА включають: нездатність виходити з локальних оптимумів у багатомодальному просторі пошуку, неефективне використання обчислювальних ресурсів через тривалу стагнацію, а також критичну залежність від правильного налаштування параметрів алгоритму. Ці обмеження роблять стандартний ГА непридатним для практичного застосування в задачах оптимізації розкладки сонячних панелей, де потрібні стабільні та передбачувані результати. Отримані результати обґрунтовують необхідність розробки більш інтелектуальних та адаптивних підходів до генетичних алгоритмів, які зможуть ефективно долати локальні оптимуми та забезпечити надійну оптимізацію розкладки сонячних панелей у реальних умовах.

Список літературних джерел

1. Goldberg, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Professional, 1989. 432 с.
2. Mitchell, M. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, 1998. 221 с.
3. Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence. MIT Press, 1992. 211 с.
4. De Jong, K. A. Evolutionary Computation: A Unified Approach. MIT Press, 2006. 272 с.
5. Eiben, A. E., Smith, J. E. Introduction to Evolutionary Computing. Springer, 2015. 287 с.

ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

Рощупкін О. В.¹, Павленко І. В.²

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна, o.roshchupkin@cm.sumdu.edu.ua

² Сумський державний університет, м. Суми, Україна, i.pavlenko@cm.sumdu.edu.ua

Завдання достовірного оцінювання характеристик динамічного стану роторних систем із урахуванням експлуатаційних змін параметрів залишається однією із не до кінця вирішених задач в машинобудуванні. Традиційні аналітичні моделі динаміки роторів, попри їхню ефективність для переважно лінійних систем, не завжди здатні врахувати комплексну взаємодію дефектів структури, нелінійних ефектів тощо [1].

З іншого боку, суто числові підходи, засновані на методі скінченних елементів, забезпечують достатньо високу точність, проте вимагають ретельного визначення фізичних закономірностей зміни динамічних характеристик опор і ущільнень від частоти обертання валу. Також більшість реальних дефектів (ефекти розцентрування і перекосу осей, знос підшипникових опор і втулок ущільнень тощо) неможливо достовірно описати аналітично, заклавши відповідні компоненти в елементи матриць інерції, жорсткості та демпфування.

З огляду на вищезазначене, перспективним є застосування гібридного підходу, який поєднує використання скінченноелементної моделі динаміки ротора [2] із еволюційними методами оптимізації механічних систем для створення автоматизованої системи ідентифікації параметрів.

Для ілюстрації підходу, розглянемо рівняння руху ротора, в якому елементи локальних матриць жорсткості $[C]$ і демпфування $[B]$ для скінченного елемента залежать від вектору невідомих оцінюваних параметрів $\{\theta\}$ [3]:

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [B(\varphi(\{\theta\}))]\{\dot{x}(t)\} + [K(\psi(\{\theta\}))]\{x(t)\} = \{F(t)\}, \quad (1)$$

де $[M]$, $[B]$, $[C]$ – матриці інерції, демпфування та жорсткості відповідно; $\{x(t)\}$, $\{\dot{x}(t)\}$, $\{\ddot{x}(t)\}$ – вектори вузлових переміщень, швидкостей та прискорень; $\{F(t)\}$ – вектор зовнішньої сили.

Аналітичні функції $\varphi(\{\theta\})$, $\psi(\{\theta\})$ від вектору невідомих оцінюваних параметрів $\{\theta\}$ зумовлюють нелінійну залежність динамічних характеристик підшипникових опор і шпаринних ущільнень.

Основною задачею є оцінювання невідомих коефіцієнтів моделі (1), глобалізованої до загальної скінченноелементної матричної моделі ротора, у такий спосіб, щоб кількісні характеристики динамічного стану моделі максимально наближалася до відповідних параметрів експериментального зразка.

Для вирішення цієї задачі запропоновано застосування еволюційних алгоритмів, загальна суть яких зводиться до ітеративної конкуруючої зміни параметрів, яка б призводила до мінімізації цільової функції [4]:

$$R(\{\theta\}) = \sum_{i=0}^n |H_{mod}^{<i>}(\{\theta\}) - H_{exp}^{<i>}|^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де i – номер точки вимірювання; H_{exp} , H_{mod} – експериментальні та модельні характеристики руху відповідно (наприклад, форми власних коливань, амплітудні частотні характеристики, комплексні переміщення у площинах вимірювань тощо).

На відміну від традиційних градієнтних методів (наприклад, методів Гауса, Ньютона, найшвидшого спуску) та регресійних підходів (наприклад, псевдообернення Мура–Пенроуза чи формули лінійної регресії) та їх модифікацій [5], еволюційні алгоритми не потребують попередньої лінеаризації або аналітичного диференціювання. Це дозволяє працювати із нелінійними та частково невизначеними моделями, що особливо важливо для виявлення дефектів роторних систем. Широка різноманітність методів відбору даних дає можливість підвищити чутливість цільової функції до ключових параметрів відповідно до специфіки задачі ідентифікації.

Водночас, запропонований підхід має деякі недоліки, пов'язані зі специфікою еволюційних алгоритмів (табл. 1).

Таблиця 1 – Переваги та недоліки запропонованого підходу

Переваги	Недоліки
Можливість калібрування параметрів моделі без експертних налаштувань	Відносно значна обчислювальна складність
Застосовність до різних конфігурацій роторних систем і типів дефектів	Існує імовірність розходження ітераційної процедури
Низька чутливість до неточностей вимірювань або обмеженого обсягу даних	Відсутність інформації щодо природи обрахованих параметрів

Таким чином, запропонований підхід створює нові можливості щодо розроблення адаптивної обчислювальної системи, здатної автоматично корегувати параметри, мінімізуючи розбіжність між числовими дослідженнями і фізичним експериментом. Більше того, він може бути використаний для створення цифрових двійників реальних роторних машин для подальшого досліджень динамічного стану та виявлення дефектів машини за заданим вектором ознак, а також для генерування масиву даних як для подальшого навчання нейронних мереж, так і здійснення аналізу за допомогою алгоритмів нечіткої логіки.

Список літературних джерел

1. Pavlenko I., Neamtu C., Verbovyi A., Pitel J., Ivanov V., Pop G. (2019). Using computer modeling and artificial neural networks for ensuring the vibration reliability

- of rotors. 2nd International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems. CMIS 2019. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353, pp. 702–716.
2. Pavlenko I. V., Pavlenko I. V., Simonovskiy V. I., Demianenko M. M. (2017). Dynamic analysis of centrifugal machines rotors supported on ball bearings by combined application of 3D and beam finite element models. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 233(1), art. no. 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012053>
3. Roshchupkin O., Pavlenko I. (2025). Modern methods for diagnosing faults in rotor systems: A comprehensive review and prospects for AI-based expert systems. Applied Sciences, Vol. 15(11), 5998. <https://doi.org/10.3390/app15115998>
4. Pavlenko I., Simonovskiy V., Ivanov V., Zajac J., Pitel J. (2019). Application of artificial neural network for identification of bearing stiffness characteristics in rotor dynamics analysis. In: Ivanov, V., et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 325–335. Springer, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_34
5. Павленко І. В. Методи ідентифікації параметрів математичних моделей коливальних процесів : монографія / І. В. Павленко, В. І. Симоновський. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 145 с.

Основні результати одержані під час Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» СумДУ (НДР № 0121U112684) у рамках розвитку наукової школи «Розроблення гібридних методів параметричної ідентифікації гідромеханічних систем» за наукового керівництва проф. Павленка І. В.

МЕТОДИКА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ВПЛИВУ НА РОБОТУ КОМПЛЕКСУ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ

Ткаченко С.М., Бешта Л.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Вступ

Системи шахтного водовідливу є одними з найбільших споживачів електричної енергії у гірничих підприємствах, на їх частку припадає до 30 % від загальних витрат електроенергії. В умовах підвищення вартості електроенергії та необхідності зниження навантаження на енергосистему особливо актуальним стає питання оптимізації режимів роботи насосних агрегатів з урахуванням тарифних зон. Метою дослідження є розроблення методики підтримки прийняття рішень для регулювання споживання електроенергії з точки зору оптимального режиму навантаження енергосистеми шляхом оптимізації режимів експлуатації насосних агрегатів шахтного водовідливу залежно від тарифних зон та технічного стану обладнання.

Основний матеріал

Запропонована методика передбачає поетапне ранжування насосних агрегатів (НА) та їхніх груп за енергоефективністю, технічним станом і умовами експлуатації, з подальшим формуванням рекомендацій щодо складання добового графіка експлуатації. Її головна особливість полягає у використанні реальних технологічних параметрів роботи насосів для підтримки рішень оператора з урахуванням змінного складу обладнання, тарифних зон та прогнозованого водоприпливу.

Методика реалізується у три взаємопов'язані етапи.

Етап №1. Оцінювання поточного стану насосних агрегатів.

На цьому етапі здійснюється збір експлуатаційних даних для кожного НА – витрати (Q), напору (H) та споживаної потужності (P). На основі побудови QH -характеристик визначається зсув робочої точки насоса, що відображає рівень його зносу. Для кожного НА розраховується поточний коефіцієнт корисної дії (ККД), за яким формується ранжований список насосів. Такий підхід дозволяє експлуатувати у першу чергу ті агрегати, які забезпечують максимальний ККД і, відповідно, мінімальні питомі витрати електроенергії.

Наприклад, у ході натурних спостережень на шахті ім. М.І. Сташкова виявлено, що ККД окремих насосів відрізнявся на 10–12 %, що безпосередньо впливало на енергоспоживання всієї системи. Використання насосів із вищим ККД навіть при однаковій подачі дає економію понад 5 % енергії за добу.

Етап №2. Групування насосів за мінімумом негативного взаємного впливу. Шахтні системи водовідливу зазвичай працюють у режимі паралельного підключення двох або трьох насосів. Однак при різних QH -кривих виникає негативний взаємовплив: слабший насос зміщується у зону малих витрат і фактично працює “вхолосту”, споживаючи енергію без продуктивної подачі. Для уникнення цього ефекту насосні агрегати групуються так, щоб їхні гідравлічні характеристики максимально збігалися.

Комбінації насосів формуються на основі комбінаторного аналізу: для $n = 9$ насосів можливі 38 комбінацій по два і 84 – по три агрегати. Для кожної комбінації обчислюється прогнозований груповий ККД, сумарна подача та споживання енергії. Групи ранжуються за спадом прогнозованого ККД, що дозволяє швидко вибрати найефективнішу конфігурацію обладнання.

Етап №3. Формування добового графіка експлуатації насосних груп. Цей етап передбачає поєднання результатів технічного аналізу з економічними факторами. За діючими нормативами НКРЕКП вартість електроенергії залежить від тарифних зон: нічна – 0,4 тарифу, напівпікова – 1,0, пікова – 1,5. На основі цих коефіцієнтів розраховується вартість роботи кожної насосної групи протягом доби.

Методика використовує алгоритм передпікового вмикання, що передбачає зниження рівня води у збірнику до початку пікового навантаження енергосистеми. Завдяки цьому споживання електроенергії переноситься на дешевші години (нічні або напівпікові), що забезпечує суттєву економію.

Висновки

Запропонована методика поетапного ранжування НА, груп НА за технічними факторами з наступною оцінкою необхідної тривалості роботи і енергоефективності груп НА дозволяє надати обґрунтовані рекомендації оператору водовідливу зі складання добового графіка експлуатації обладнання, в умовах коли перелік доступного обладнання і його технічні характеристики змінюються. Це дозволяє знижувати навантаження на енергосистему в пікових та напівпікових тарифних зонах за рахунок експлуатації обладнання шахтного водовідливу як регулятора-споживача.

Список використаної літератури

1. Beshta A., Balakhontsev A., Khudoliy S., Khudy E., Khuda O. Energy saving in mine drainage via optimization of pumping operation modes. – Scientific Reports on Resource Issues, Vol. 2, 2012. – P. 66–75.
2. Соколова Н.О., Гнатушенко В.В., Бешта Л.В. Моделювання стратегії керування комплексом шахтного водовідливу на основі нечіткого прогнозування питомих енерговитрат. – Прикладні питання математичного моделювання, 2024, Т. 7 № 1. – С. 184–193.
3. Цвіркун Л.І., Ткаченко С.М., Бешта Л.В. Алгоритми енергоефективного використання шахтних водовідливних установок із застосуванням методу передпікового вмикання. – Системні технології, 2021, № 5. – С. 88–97.
4. Разумний Ю.Т., Рухлова Н.Ю., Рухлов А.В. Енергоефективна робота водовідливної установки вугільної шахти. – [Електронний ресурс]. – http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_2_13.
5. Інформація щодо цін (тарифів) на електричну енергію станом на 24.10.2024 р. – [Електронний ресурс]. – <https://www.nerc.gov.ua>.

ВИКОРИСТАННЯ ЖАДІБНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Троцило О.В., Солодка Н.О.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Сучасний розвиток мобільних мереж поколінь 5G/6G вимагає ефективних методів планування інфраструктури, зокрема оптимізації розміщення базових станцій. Традиційні точні методи, такі як цілочислове лінійне програмування (ILP), забезпечують оптимальний результат, але стають непрактичними для великомасштабних задач через експоненційний ріст обчислювальної складності [1, 2]. У цьому контексті жадібні алгоритми пропонуються як швидка та ресурсозберігаюча альтернатива [3]. Метою роботи є порівняльний аналіз ефективності жадібних алгоритмів та методу ILP для задачі оптимального розміщення базових станцій за критеріями точності та швидкодії.

В рамках дослідження було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення на Python для моделювання задачі покриття користувачів мережі. Задача формулювалася як мінімізація сумарної вартості розгортання базових станцій із обмеженням на повне покриття всіх користувачів. Математична модель має вигляд [1]:

$$\min C = \sum_{j \in S} c_j x_j,$$

де c_j – вартість встановлення станції j ;

$x_j \in \{0, 1\}$ – бінарна змінна, що позначає вибір станції.

Умови покриття користувачів задаються як [2]:

$$\sum_{j \in N(i)} x_j \geq 1, \quad \forall i \in U,$$

де U – множина користувачів;

$N(i)$ – множина станцій, здатних обслуговувати користувача i .

Жадібний алгоритм наближено розв'язує цю задачу, на кожному кроці обираючи станцію j^* , яка забезпечує максимальне покриття нових користувачів [3]:

$$j^* = \arg \max_{j \in S} \Delta \text{cov}(j),$$

де $\Delta \text{cov}(j)$ – приріст кількості покритих користувачів при додаванні станції j .

Експерименти проводилися на задачах трьох масштабів: малій (20 користувачів, 30 кандидатів), середній (50 користувачів, 80 кандидатів) та

великій (200 користувачів, 300 кандидатів). Результати порівняння представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні результати ефективності методів оптимізації

Масштаб задачі	Метод	Кількість станцій	Вартість	Час обчислення (с)
Мала (20 користувачів, 30 кандидатів)	ILP	6	688	0.13
Мала (20 користувачів, 30 кандидатів)	Жадібний	9	1084	0.00
Середня (50 користувачів, 80 кандидатів)	ILP	15	1570	0.05
Середня (50 користувачів, 80 кандидатів)	Жадібний	19	1947	0.00
Велика (200 користувачів, 300 кандидатів)	ILP	–	–	–
Велика (200 користувачів, 300 кандидатів)	Жадібний	37	2602	0.01

Як видно з таблиці, для малих задач ILP знаходить оптимальне рішення, тоді як жадібний алгоритм призводить до збільшення вартості на 57%. Однак для великомасштабної задачі використання ILP виявилось неможливим через обчислювальну складність, тоді як жадібний алгоритм знайшов прийнятне рішення всього за 0,01 с.

Проведене дослідження підтвердило ефективність жадібних алгоритмів для оптимізації розміщення базових станцій у великомасштабних сценаріях, де точні методи неприйнятні через обчислювальну складність. Для малих та середніх задач перевагу слід віддавати методу ILP для отримання оптимального рішення. Отримані результати обґрунтовують доцільність подальших досліджень у напрямку розробки гібридних та адаптивних алгоритмів, що поєднують переваги обох підходів [4, 5].

Список літературних джерел

1. Fischetti M., Ljubić I. Integer Programming for Large-Scale Networks. Wiley, 2021. P. 112–118.
2. Солодка Н. О., Троцило О. В. Оптимальне проектування базових станцій мобільних мереж. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. № 1(92), ч. 2. С. 210–214.
3. Wang L., Kulkarni S. Greedy Algorithms in Telecommunications. IEEE Press, 2019. P. 33–37.
4. Kovalenko O., Petrov V. Cost-Aware Greedy Algorithm for Base Station Placement. Wireless Communications Letters. 2021. Vol. 9, Issue 4. P. 112–125.
5. Chen L., Watanabe K. Adaptive Greedy Algorithms for Dynamic Networks. Mobile Networks and Applications. 2023. Vol. 28, Issue 1. P. 33–47.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДОВГОВІЧНОСТІ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА

Тюніков Є.О., Зеленцов Д.Г.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Сучасні підходи до оцінювання довговічності стержневих систем потребують урахування невизначеності параметрів агресивного середовища, що істотно впливають на процеси деградації матеріалу. Класичні моделі, засновані на детермінованих параметрах, не забезпечують належної точності при прогнозуванні строку служби конструкцій у випадках, коли вплив середовища є змінним або слабо визначеним. Тому перспективним напрямом є застосування апарату нечітких множин, що дозволяє моделювати невизначеність і часткову достовірність вхідних даних.

У межах нечіткої постановки задачі параметри агресивного середовища (концентрація активних речовин, вологість, температура, рівень кислотності) подаються у вигляді нечітких величин із відповідними функціями належності. Це дозволяє врахувати їх варіативність і оцінити вплив невизначених факторів на корозійне пошкодження елементів конструкції [1].

Нечітка модель довговічності формується як система рівнянь, у якій матеріальні параметри та зовнішні впливи задано нечіткими числами. Такий підхід забезпечує безперервний перехід між рівнями достовірності даних і дозволяє визначати інтервали критичних параметрів замість фіксованих оцінок. Як показано у роботах [1, 2], це підвищує адекватність моделювання процесів корозії за складних умов експлуатації.

Порівняльний аналіз чіткої та нечіткої постановок задачі свідчить про потенційну перевагу нечіткого підходу, який дає змогу враховувати невизначеність параметрів середовища та формувати більш гнучкі рекомендації щодо експлуатації конструкцій. Крім того, нечіткий підхід дає змогу більш обґрунтовано визначати критичні режими експлуатації та формувати рекомендації щодо захисту матеріалів і планування технічного обслуговування.

Таким чином, використання теорії нечітких множин у задачах прогнозування довговічності стержневих систем під впливом агресивного середовища є ефективним засобом підвищення точності та надійності розрахунків, що має практичне значення для інженерних споруд, елементів машинобудівних і гірничих конструкцій.

Список літературних джерел

1. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Технологии вычислительного интеллекта в задачах моделирования динамических систем: монография. – Днепр: Баланс-клуб, 2018. – 174 с.
2. Зеленцов Д.Г., Науменко Н.Ю., Ляшенко О.А. Информационное обеспечение расчётов корродирующих объектов. Конечно-элементное моделирование: монография. – Днепр: Баланс-клуб, 2018. – 174 с.

ГІБРИДНИЙ МЕТОД HeDE-PSO ДЛЯ ЗАДАЧ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ПРОЄКТНОМУ УПРАВЛІННІ

Федоренко В. С.

Черкаський державний технологічний університет

Анотація.

У роботі розглянуто можливість адаптації сучасного гібридного методу HeDE-PSO (Heterogeneous Differential Evolution Particle Swarm Optimization) до вирішення задач розподілу ресурсів у проектному управлінні. Метод поєднує механізми частково детермінованого ройового пошуку (PSO) з елементами диференціальної еволюції (DE) та локального уточнення на основі BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno), що дозволяє забезпечити баланс між глобальною розвідкою та локальною експлуатацією пошукового простору.

Ключові слова: HeDE-PSO, ройова оптимізація, диференціальна еволюція, локальний пошук, розподіл ресурсів, управління проектами.

Вступ.

Задачі розподілу обмежених ресурсів між конкуруючими видами робіт є NP-складними, особливо у випадках великої кількості взаємозалежних завдань і обмежень. Традиційні методи оптимізації (лінійне та цілочисельне програмування) стають неефективними при великій розмірності задачі або нелінійності критеріїв. У таких випадках ефективними є методи колективного інтелекту, зокрема гібридні ройові алгоритми, які поєднують стохастичну природу пошуку з механізмами цілеспрямованого уточнення.

Метод HeDE-PSO.

Метод HeDE-PSO [1] ґрунтується на гетерогенній структурі рою, де кожна підгрупа частинок використовує різні механізми навчання: перша група застосовує мутант DE/rand/1 для посилення глобальної розвідки, друга – DE/current-to-pbest/1 для локальної експлуатації. На пізніх етапах вводиться локальний пошук BFGS, що забезпечує уточнення знайдених екстремумів. Додатково використовується механізм “accompanying learning”, який пріоритезує обчислювальні ресурси для найперспективніших частинок. DE/rand/1 та DE/current-to-pbest/1 генерують приклади згідно з рівняннями (1, 2).

$$V_i = Pbest_{r_1} + F(Pbest_{r_2} + EPbest_{r_3}) \quad (i < P_{s_1}), \quad (1)$$

$$V_i = Pbest_i + F(Pbest_{ibest} - Pbest_i) + F(Pbest_{r_4} - EPbest_{r_5}). \quad (2)$$

Erpbestr3 і Erpbestr5 позначають випадково вибрані Pbests з об'єднання поточного рою та архіву. Ps1 позначає розмір підрою DE/rand/1, а решта частинок генерують навчальні приклади відповідно до DE/current-to-pbest/1.

Адаптація до задач розподілу ресурсів.

Для задач розподілу ресурсів у проектному управлінні (Resource Allocation Problem, RAP) запропоновано: 1) кодувати частинку як вектор

призначень ресурсів для набору робіт; 2) застосувати дві стратегії DE-мутантів для побудови різних навчальних прикладів: DE/rand/1 – для пошуку нових комбінацій призначень, DE/current-to-pbest/1 – для уточнення балансів завантаження ресурсів; 3) у фінальній фазі – застосувати BFGS-пошук у неперервному наближенні; 4) ввести функцію штрафів за перевищення доступності ресурсів. Така адаптація формує детерміновано-стохастичну схему пошуку.

Очікувані результати.

Очікується, що HeDE-PSO забезпечить стабільну збіжність у складних RAP-задачах, меншу чутливість до початкових умов у порівнянні зі стандартним PSO та можливість адаптації до багатокритеріальних моделей (мінімізація тривалості, вартості, ризику).

Висновки.

HeDE-PSO є перспективним напрямом розвитку гібридних алгоритмів колективного інтелекту. Його застосування у задачах розподілу ресурсів відкриває можливість поєднати високу швидкість збіжності PSO з гнучкістю DE-механізмів та точністю локальних методів оптимізації. Подальші дослідження передбачають порівняння HeDE-PSO з класичними PSO-, ACO- та GA-алгоритмами.

Список літературних джерел

1. Lin A., Liu D., Li Z., Hasanien H. M., Shi Y. Heterogeneous differential evolution particle swarm optimization with local search // Complex & Intelligent Systems. – 2023. – Vol. 9. – P. 6905–6925. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01082-8>.

МОДЕЛЮВАННЯ СКОРОЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СТВОРЕННЯ ОСОБЛИВО ВАЖЛИВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Федорович О.Є., Єлізева А.В., Босенко Д.І., Євтушенко А.О.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

В умовах гібридної війни, виникає необхідність в швидкому, масованому створенні високотехнологічної продукції для фронту. Але, існуючі підходи до проектування не дозволяють забезпечити масований випуск військової техніки з-за довгого життєвого циклу створення виробів. Тому, актуальне завдання, яке вирішується у проведеному дослідженні щодо скорочення життєвого циклу (ЖЦ) створення високотехнологічної продукції [1]. Метою дослідження є розроблення комплексу оптимізаційних та імітаційної моделей, які спрямовані на скорочення ЖЦ, в умовах обмежених можливостей. Завдання, які вирішуються у роботі: проаналізувати можливості щодо скорочення ЖЦ в існуючих умовах виробництва; створити оптимізаційні моделі щодо скорочення ЖЦ; провести імітаційне агентне моделювання скорочення ЖЦ.

В умовах війни, необхідно використовувати інноваційну парадигму щодо створення озброєння, яка заснована на скороченні ЖЦ та має такі концептуальні принципи: швидкість створення військової техніки; відносно дешева продукція; масований характер виробництва; масштабованість виробництва; разовий характер використання (наприклад, ударні дрони). Аналіз існуючого ЖЦ показав, що використання компонентного проектування архітектури складного виробу дозволяє скоротити НДР та НДКР. Використання 3D принтерів дає можливість скоротити підготовку виробництва та вийти на масований характер виготовлення військової техніки. У роботі створені оптимізаційні моделі щодо формування раціональної компонентної архітектури, з використанням різного складу компонент (існуючі, модифіковані, нові, інноваційні компоненти). При цьому враховується ризики проектування, які пов'язані з рівнем інноваційності нового виробу. Розроблена багатокритеріальна модель щодо пошуку компромісу серед показників часу, вартості та ризиків створення військової техніки. Розроблена імітаційна модель щодо дослідження робіт, які виконуються у ЖЦ створення складної продукції, в умовах його скорочення.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє: проаналізувати існуючі можливості щодо скорочення ЖЦ; сформулювати раціональну компонентну архітектуру складного виробу; провести моделювання, у часі, послідовності дій щодо скорочення ЖЦ. Це забезпечить швидкий перехід до масованого виробництва військової техніки та сприяє масштабованості виробництва.

Список літературних джерел

1. Method of adaptive component-based design of unmanned aerial vehicles suitable for military missions | Oleg Fedorovich, Leonid Malieiev, Tetyana Pisklova, Yevhenii Polishchuk // [Авіаційно-космічна техніка і технологія](#). – 2025. – № 3. – С. 96-106. <https://doi.org/10.32620/aktt.2025.3>.

МОДЕЛЮВАННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ІНФРАСТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБІВ

Федорович О.Є., Соловйов В.С., Гузов Д.А., Гуртовий І.І.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

В умовах воєнного стану країни, противник намагається уразити промислові об'єкти, які мають дуже важливе оборонне значення. Для цього противник використовує існуючі вразливості окремих складових виробництва. Тому, актуальна тема проведеного дослідження, в якому представлені результати роботи щодо розробки моделей для аналізу вразливостей [1]. Метою дослідження є створення комплексу математичних та імітаційної моделей, які дозволяють планувати превентивні заходи щодо зменшення впливу вразливостей на функціонування підприємства. Завдання, які вирішуються в дослідженні: провести аналіз та виділити суттєві фактори, які впливають на виникнення вразливостей; створити оптимізаційні моделі для формування превентивних заходів щодо вразливостей; промоделювати результати атак противника на ураження інфраструктури підприємства.

Виділені фактори для оцінки вразливостей інфраструктури підприємства: старіння (деградація) складових виробництва; наявність критичних компонент (технологічне обладнання, енергопостачання, тощо); об'єкти виробництва, які є актуальними цілями противника. Створено оптимізаційні моделі щодо планування превентивних заходів для зменшення впливу вразливостей на функціонування підприємства. В якості заходів, щодо підвищення стійкості виробництва, використовуються пасивні (захисні конструкції, укриття, тощо); активні (ППО, РЕБ, мобільні вогневі групи, тощо); змішані (пасивні, активні засоби). Раціональний склад заходів формується в умовах обмежених можливостей (витрати, час) та виникнення військових загроз. Проведена багатокритеріальна оптимізація щодо пошуку компромісу серед показників витрат, часу та ризиків. Створена імітаційна агентна модель для дослідження впливу атакуючих дій противника на вразливості інфраструктури виробництва. Модель дозволяє сформулювати різні сценарії атакуючих місій противника. Використані математичні методи та моделі: системний аналіз, щодо виявлення вразливостей та проведення превентивних заходів; оптимізаційна модель для виявлення критичних вразливостей; імітаційне моделювання.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє проаналізувати вплив вразливостей на інфраструктуру високотехнологічних підприємств в умовах військових дій противника. Це дозволяє планувати проєкти щодо проведення превентивних заходів для забезпечення стійкості виробництва.

Список літературних джерел

1. Models and information technology of aging management of man-made systems in the conditions of modern risks / Oleg Fedorovich, Liudmyla Lutai, Oleg Uruskiy, Sergii Gubka, Yuliia Leshchenko // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2024. – № 3. – С. 175-189. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.3>

МОДЕЛЮВАННЯ СТРАТЕГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ МІСІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ

Федорович О.Є., Сломчинський О.В., Малєєв Л.В., Пісклова Т.С.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Сучасна гібридна війна призвела до використання інноваційних засобів у вигляді БПЛА. Поява різних, до військового призначення дронів (ударні, розвідувальні, перехоплювачі, тощо), потребує формування нових оперативно-тактичних дій на полі бою, які залежать від планування атаки дронів за цілями противника. Тому, актуальна тема проведеного дослідження, яке пов'язане зі створення можливих стратегій військових дій, з використанням ударних дронів [1]. Метою доповіді є розробка комплексу моделей щодо дослідження можливих стратегій проведення атакуючих місій, з використанням рою дронів. Завдання, які вирішуються у дослідженні: провести системний аналіз бойових дій, з використанням ударних дронів; створити можливі стратегії щодо проведення атак за цілями противника; розробити оптимізаційну модель щодо створення ударного потенціалу бойових дронів; розробити імітаційну агентну модель щодо планування маршрутів польоту ударних дронів.

Військові дії на полі бою змінилися з появою ударних дронів. Було створено Kill Zone, за допомогою дронів, яка не дозволяє противнику проводити атакуючі дії. Рій дронів, в якому використовуються різні дрони, дозволяє ідентифікувати ситуацію на полі бою та проводити атаки за актуальними цілями противника. Була створена множина можливих стратегій щодо планування польоту рою дронів за цілями противника. Врахована можливість розподілу рою дронів на групи, кожна з яких спрямована на окрему ціль противника. Сформована модель оптимізації щодо створення ударного потенціалу рою дронів, з урахуванням оборонного потенціалу захисту цілей противника, в умовах обмежених можливостей за кількістю дронів, які використовуються для атаки. Розроблена імітаційна модель щодо планування руху ударних дронів, в умовах активної протидії противнику (ППО, РЕБ, дрони-перехоплювачі, тощо). За допомогою агентної платформи моделювання Any Logic, можливо аналізувати різні сценарії проведення атак, з використанням бойових дронів. Використані математичні методи та моделі: системний аналіз; оптимізаційна модель щодо створення ударного потенціалу бойових дронів; імітаційне моделювання для вибору відносно безпечного маршруту польоту дронів до цілей противника.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє аналізувати можливі стратегії атакуючих дій, з використанням ударних дронів та обрати потрібну, в умовах існуючих обставин на полі бою. Це дозволяє забезпечити успішність проведення оперативно-тактичних дій у складі військової місії.

Список літературних джерел

1. Modeling of strike drone missions for conducting wave attacks in conditions of enemy anti-drone actions / Oleg Fedorovich, Dmytro Krytskyi, Mikhail Lukhanin, Oleksandr Prokhorov, Yuliia Leshchenko // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - Том 2025, № 1 (2025), С. 29-43.

МОДЕЛЮВАННЯ ДОВГИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ЗАГРОЗ

Федорович О.Є., Рибка А.В., Андрієць В.В., Борисенко Є.І.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Глобалізація економіки призвела до формування складних ланцюгів постачання виробництва високотехнологічних виробів. Але, поширення загроз (кліматичні, політико-економічні, терористичні, військові) впливає на постачання та може порушити плановий характер виробництва. Тому, актуальне завдання, яке вирішується у роботі, що пов'язане з розробкою комплексу моделей для дослідження складних ланцюгів постачання, в умовах загроз [1]. Метою дослідження, результати якого представлені у доповіді, є створення оптимізаційних моделей та проведення імітаційного моделювання для формування раціональних шляхів постачання, в умовах загроз. Завдання, які вирішуються у роботі: аналіз існуючих загроз та їх впливу на логістику постачання; створення оптимізаційних моделей щодо формування складових шляху постачання, в умовах ризиків; імітаційне моделювання раціональних шляхів постачання.

Складне політико-економічне середовище є небезпечним для виробництва та логістики постачання комплектуючих. Довгі, заплутані ланцюги постачання в різноманітному транспортному середовищі (морський, залізничний, автомобільний транспорт), з можливими перевалками, є дуже вразливими для впливу негативних (агресивних) факторів. Тому, пошук раціональних маршрутів є складним завданням, в якому необхідно враховувати час, витрати та ризики постачання. Розроблена оптимізаційна модель для пошуку складу основних компонентів в мережевій транспортній системі (МТС), які будуть використані в логістиці постачання комплектуючих. Для пошуку раціонального варіанту складу використано метод лексикографічного впорядковування варіантів. При великій кількості варіантів можливого складу компонент, використано модифікований метод цілочисельного (булевого) програмування. Проведена багатокритеріальна оптимізація для пошуку компромісу серед суперечливих показників часу, витрат та ризиків. Створена імітаційна модель для пошуку оптимальних маршрутів постачання комплектуючих в умовах загроз. Імітаційна модель функціонує у агентному середовищі Any Logic, яке відкрите для додавання нових агентів.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє формувати раціональні шляхи постачання комплектуючих для виробництва складної техніки (у тому числі, військової) у розподіленому транспортному середовищі, в умовах існуючих загроз.

Список літературних джерел

1. Modeling the impact of threats and vulnerabilities in transport logistics of a developing enterprise / O. Fedorovich, Yu. Pronchakov, Yu. Leshchenko, A. Yelizieva // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2021. – № 3. – С. 29-36. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.3.03>.

ВЕБПЛАТФОРМА ПО ЗАМОВЛЕННЮ ГОТІВКИ ДО ВИДАЧІ У БАНКОМАТАХ

Шаповаленко М.В.¹, Шаповаленко В.М.², Осташко І.О.¹

¹ Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

² Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

Варіанти видачі грошей банкоматами без вибору номіналів для користувача є непрозорими: користувач не знає конкретно, які купюри він отримає. В інтернеті вже давно обговорюються необхідність мати можливість вибору номіналів банкнот при знятті готівки в банкоматі та наголошується на незручності існуючої системи. Ще більше 10 років тому ставили питання про ті переваги, які надасть реалізація вибору банкнот при знятті грошей у банкоматі. І лише недавно почали впроваджувати цей процес у банкоматах деяких банків світу. Але, на жаль, не скрізь. Функція вибору необхідних банкнот у банкоматах вже є в багатьох країнах світу, наприклад, у США, в Канаді, у Німеччині, Індії та низці інших країн [1, 2, 3].

Лояльність користувачів, зароблена в просунутих мобільних та інтернет-банках, може бути знижена, коли клієнт звертається за сервісом до банкомату, але не отримує можливість у зручній реалізації усіх своїх фінансових потреб.

Слід зазначити, що наявність послуги по вибору номіналів у самому банкоматі - це великий крок на зустріч до задоволення клієнтських потреб, але він все одно не вирішує всіх завдань. Можна підійти до банкомату, простояти чергу, а виявиться, що з доступних не ті банкноти, які хотілося б зняти.

Пропонується новий, якісніший крок, який дозволить більш повністю задовольнити потреби клієнтів – це створити вебплатформу, яка дасть можливість вибору банкомату, в якому клієнт хотів би зняти гроші у певний діапазон часу та необхідних йому номіналів. Це дозволить банку заздалегідь планувати навантаження на банкомати та забезпечити їх необхідними номіналами та підвищить комфорт обслуговування клієнтів. В цілому, пропонується унікальний сервіс, який буде відрізняти банк від конкурентів, що надасть йому більше можливостей, а клієнту більше задоволення.

На рисунку 1 представлено місце пропонованої вебплатформи в банку. На рисунку зображені основні елементи даної системи та їх взаємодія. Так, зовнішнім елементом, що не є членом внутрішньої системи банку є клієнт. Клієнт взаємодіє з вебплатформою та здійснює замовлення необхідної суми та номіналів готівки в обраному банкоматі на необхідну дату. Вебплатформа комунікує з внутрішніми банківськими комплексами, отримує необхідну інформацію від них та передає їм інформацію щодо замовлення клієнта.

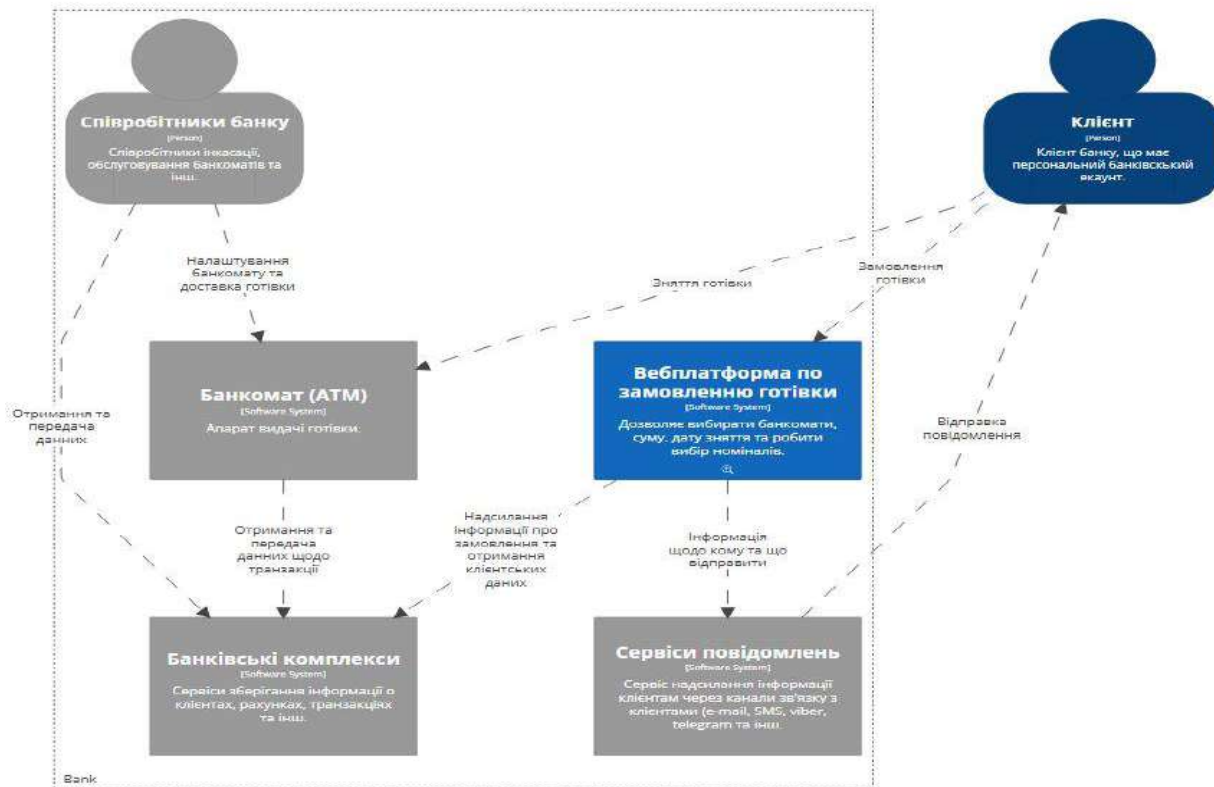


Рисунок 1 – Діаграма системного ландшафту (System Landscape Diagram)

Незважаючи на розвиток безготівкових розрахунків, зменшення ролі готівкових коштів не відбувається та сума готівки, що перебуває в обігу в Україні, продовжує збільшуватися [4]. Дані цифри говорять про актуальність приділення уваги підвищенню якості обслуговування клієнтів у цій сфері. Військовий час вносить свої корективи в процес взаємодії клієнтів з банками. Під час повітряних тривог багато відділень банків не працюють та клієнти не мають можливості отримати необхідні послуги у цей час. Час початку та закінчення тривоги неможливо передбачити. Але банкомати працюють цілодобово. Тому - це саме та задача, вирішення якої сприятиме покращенню рівня обслуговування клієнтів в банківських установах.

Список літературних джерел

1. What denominations are available at Bank of America ATMs? URL: <https://www.bankofamerica.com/deposits/self-service-atms/>
2. KeyBank ATM Features. URL: <https://www.key.com/personal/atm-banking.html>
3. Key transactions you can perform at a TD Branch ATM. URL: <https://www.td.com/ca/en/personal-banking/solutions/ways-to-bank/branch-atm>
4. Динаміка готівки в обігу. URL: <https://bank.gov.ua/ua/uah/cash-volume-chart?type=banknotes&quantity=hrn&to>

СЕКЦІЯ 3**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

- **нейрокомп'ютери та нейронні мережі;**
- **нечітке та еволюційне моделювання;**
- **м'які обчислення в інформатиці, моделюванні та управлінні;**
- **розподілені інформаційні системи;**
- **експертні системи обробки даних;**

SESSIONS 3**MODELS AND METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

- **neurocomputers and neural networks;**
- **fuzzy computing in computer science, modeling and management;**
- **distributed information systems;**
- **expert data processing systems;**
- **decision support system.**

PLANT GROWTH AND SEED GERMINATION MONITORING USING YOLO12 NEURAL NETWORK

K. Khabarlak

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Precision agriculture demands data-driven, efficient solutions for seed germination estimation and plant growth monitoring – challenges traditionally addressed through labor-intensive manual inspection. While unmanned aerial vehicles (UAVs) offer scalability, their high costs, regulatory barriers, and incompatibility with enclosed environments like greenhouses limit practical adoption. Client-server smartphone applications face limitations due to dependency on stable internet connectivity, particularly in rural farmlands. To bridge this gap, we introduce fully autonomous smartphone application for on-device plant monitoring, eliminating internet reliance and enabling real-time, actionable insights in any setting [1; 2].

We developed a novel Tomato Plant Growth dataset (49 images, 456 annotated instances across growth stages from cotyledon to mature plants), capturing diverse environmental conditions (indoor/outdoor, variable lighting) with an average of 9.3 plants per image. This dataset was used to train a YOLO12 N neural network, that is optimized for on-device inference. The model achieves a mean Average Precision (mAP50-95) of 0.538, outperforming in terms of computational efficiency YOLOv8-v11 and RT-DETR in mAP/GFlops (0.0828 vs. 0.0056–0.0817 for competitors). The application can run in real-time on mid-to-high-end devices, enabling real-time camera preview with overlaid detections.

The developed application enables: 1) early seed germination estimation via ungerminated seed detection (reducing reseeded delays); 2) stunted plant identification for targeted intervention; 3) robust plant health diagnostics (e.g., pest/disease analysis via subsequent processing). Unlike UAVs or client-server systems, it operates offline and in greenhouses, leveraging existing smartphones without regulatory hurdles. Field tests confirm the model's accuracy in distinguishing tomatoes from weeds across all growth stages, with detections stored as GPS-tagged images, bounding boxes (YOLO format), and metadata for longitudinal analysis.

By prioritizing on-device efficiency over raw accuracy, the developed application provides a scalable, accessible framework for precision farming. Future work will integrate on-device disease classification with actionable mitigation suggestions.

References

1. Smartphone Tomato Growth Monitoring Using YOLO12 Neural Network / K. Khabarlak [et al.] // 2025 14th international conference on advanced computer information technologies (ACIT), Sibernik, Croatia, September 17-19, 2025. – 2025. – DOI: 10.1109/ACIT65614.2025.11185645.
2. Khabarlak K. Improved post-trained adaptive network with texture bias robustness / K. Khabarlak // 2025 14th international conference on advanced computer information technologies (ACIT), Sibernik, Croatia, September 17-19, 2025. – 2025. – P. 828-831. – DOI: 10.1109/ACIT65614.2025.11185636.

INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING BLOCKCHAIN NETWORK RPC SERVERS USING FUZZY LOGIC

Ivan Kalnysh, Oleg Zhulkovskiy

Dniprovsky State Technical University, Kamianske city, Dnipropetrovsk region, Ukraine

Modern blockchain ecosystems are characterized by high complexity, decentralization, and constant variability of network parameters. The intensive use of decentralized applications (DApps), DeFi platforms, NFT marketplaces, and analytical services creates unprecedented loads on infrastructural nodes – particularly on RPC (Remote Procedure Call) servers, which ensure communication between users and the blockchain network. Under the conditions of rapidly growing request volumes, the problem of maintaining the stability, availability, and performance of RPC services becomes critically important.

Instability of RPC servers leads to transaction delays, loss of communication between nodes, and, in some cases, incorrect execution of smart contracts. This, in turn, affects the resilience of blockchain ecosystems and reduces user trust in decentralized platforms. The main challenge lies in the lack of systems capable of providing real-time integrated quality assessment of RPC connections, taking into account stochastic and fuzzy characteristics of network traffic.

Traditional monitoring algorithms use static threshold values for parameters such as average response time (latency), percentage of successful requests (success rate), number of errors (error rate), or total uptime. However, this approach does not account for the stochastic nature of network processes and fails to reflect the dynamics of changes caused by load fluctuations or changes in node topology. This results in «false positives» and reduces the reliability of monitoring systems.

The relevance of this problem is determined by the need to build intelligent models capable of adaptively assessing the state of network components in real time. A promising direction for this is the use of fuzzy logic methods, which make it possible to consider uncertainty, vagueness, and data incompleteness. Unlike classical statistical approaches, fuzzy models operate with linguistic variables («high latency», «low stability»), allowing the system's behavior to be described more closely to real operating conditions [1].

An analysis of modern research in the field of network monitoring and analytics shows that the use of fuzzy systems increases the accuracy of performance parameter estimation by 15–25% compared to threshold algorithms [2]. Fuzzy inference implemented according to the Mamdani model enables the generalization of interdependent characteristics, which is critical for systems with nonlinear behavior such as blockchain networks. Additionally, recent studies [3] have demonstrated the effectiveness of combining fuzzy logic with machine learning methods (hybrid Fuzzy-ML models), which can autonomously adjust weighting coefficients and membership function parameters.

The construction of a system for assessing RPC server availability involves a multidimensional approach. Within this study, a set of parameters influencing connection quality is considered: average latency (L), response time variance (σL), error frequency (E), stability coefficient (S), and request activity index (R). For each

parameter, membership functions $\mu(L)$, $\mu(S)$, $\mu(E)$ are defined within the range $[0;1]$, after which a set of fuzzy inference rules is formed, such as: «if L is high and S is low, then Q (quality) is poor».

The generalized QualityScore indicator is formed through defuzzification, that is, the transformation of a set of fuzzy values into a single numerical estimate. This approach helps to avoid information loss during sharp changes in one of the parameters and maintains the correctness of evaluation even in cases of incomplete or partially missing data.

From an implementation standpoint, the most effective tool for modeling such systems today is the Python programming language, which has a well-developed scientific computing ecosystem. In particular, the scikit-fuzzy, NumPy, Pandas, and SciPy libraries provide the ability to formalize fuzzy rules, implement logical inference, and perform analytical processing of time series in quasi-real-time mode.

The use of fuzzy models for RPC server monitoring opens new prospects in blockchain infrastructure analytics. They not only improve the accuracy of availability assessment but also enable the prediction of degradation processes. This is especially important for decentralized networks, where load often has a periodic or bursty nature, and system response must be adaptive rather than reactive.

Further development in this direction involves the creation of hybrid intelligent systems in which fuzzy modeling is combined with neural networks or genetic algorithms. Such systems will be able to automatically adjust membership function parameters and dynamically modify inference rules depending on the current state of the network. In the long term, this opens the possibility of creating self-learning modules for assessing the state of blockchain infrastructures capable of maintaining operational stability with minimal operator intervention.

Thus, fuzzy modeling serves as an effective tool for building adaptive next-generation monitoring systems. It combines the formalism of mathematical description with the flexibility of handling real, imprecise data. The application of such models for assessing RPC server availability contributes to improving the efficiency of blockchain infrastructure management, minimizing failures, and enhancing the quality of user experience in decentralized environments.

References

1. Uakhitova A. Development of a fuzzy logic-based model for assessing the reliability of relay protection systems / A. Uakhitova, G. Yerbolkyzy, G. Tatkeyeva // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.— 2024.— Vol.4, Issue 2 (130).— P. 67—77. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310549
2. Khedkar S. Deep learning and ensemble approach for praise or complaint classification / S. Khedkar, S. Shinde // *Procedia Computer Science*.— 2020.— Vol. 167— P. 449—458. DOI: 10.1016/j.procs.2020.03.254
3. Mamasoliyev S. The role of fuzzy logic in neural network research: A bibliometric analysis / S. Mamasoliyev, K. Rakhimberdiev, N. Khalimjonov // *Proceedings of the 8th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (ICFNDS '24)*. – New York: Association for Computing Machinery, 2025— P. 804—817. DOI: 10.1145/3726122.3726239.

USING AI TO IDENTIFY SHIPS IN SATELLITE IMAGES

Kostikova Olesia, Oleksii Slavik

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine

Identifying ships in satellite images is a complex task that has evolved significantly over time. Earlier approaches relied on classical image processing methods such as edge detection, thresholding, morphological operations, and handcrafted feature extraction. These techniques aimed to separate ships from the sea background based on visual cues like brightness, shape, or texture. Edge detectors such as Canny highlighted ship boundaries, thresholding distinguished ships from water using pixel intensity differences, and morphological operations refined shapes for classification [1].

However, these methods had notable disadvantages. They were extremely sensitive to environmental factors like cloud cover, sun glare, or wave patterns, causing frequent false detections. Performance was limited by image resolution, making it difficult to recognize small vessels or ships partly obscured by weather. Handcrafted features lacked generalization—rules effective for one dataset often failed in different environments, requiring constant parameter adjustments and pipeline redesign.

The introduction of artificial intelligence transformed this field. Deep learning techniques, especially convolutional neural networks (CNNs) and advanced object detection frameworks like Faster R-CNN, YOLO, and RetinaNet, automatically learn features from large labeled image sets. Instead of predefined rules, these models extract complex hierarchical patterns, recognizing ships of various sizes, shapes, and orientations with much higher accuracy. Segmentation models such as U-Net or Mask R-CNN enable precise localization even in cluttered or noisy conditions [2].

This study aimed to develop a resilient AI-based framework for ship detection capable of recognizing vessels of varying scales across heterogeneous maritime environments. The objective was to address classical method limitations through advanced image preprocessing, task-specific segmentation strategies, and state-of-the-art deep learning architectures. The framework needed to accommodate satellite data diversity through dynamic adaptation, selecting suitable detection models based on input image resolution, atmospheric interference, or environmental variability. A key goal was simultaneous optimization of inference speed and detection accuracy to enable practical real-time maritime surveillance applications.

The developed framework successfully achieved robust ship detection through several key innovations. Techniques like multi-scale feature extraction and adaptive thresholding enhanced system robustness, enabling reliable performance under significant noise and variable image quality [3]. A modular model selection strategy was implemented, enabling dynamic adaptation critical for ensuring consistent detection across diverse operational contexts.

Experiments with contemporary neural architectures, refined data augmentation pipelines, and targeted post-processing techniques yielded substantial gains in detection precision while maintaining computational efficiency. Ensemble learning and alternative loss functions improved robustness, particularly for vessels

obscured by complex maritime backgrounds. Hyperparameter tuning and exploration of lightweight yet accurate architectures facilitated significant real-time performance improvements.

AI-based methods demonstrated clear advantages over classical approaches. They proved more robust to environmental noise, lighting variations, and sensor differences by generalizing patterns from diverse training data. They provided scalability—once trained, models process massive satellite image volumes quickly, making them effective for real-time maritime monitoring. AI models showed adaptability, continuously improving through retraining with new data, accommodating novel ship types or imaging technology changes without system rebuilds.

The transition from classical image processing to AI-driven methodologies represents a paradigm shift in ship detection [4]. While traditional approaches were constrained by noise sensitivity, limited generalization, and manual rule design, AI-based systems exploit data-driven feature learning to achieve higher robustness, adaptability, and scalability. The framework developed illustrates how integrating deep learning, modular adaptability, and computational efficiency produces a detection system operating reliably across real-world maritime scenarios. This optimization is essential for practical applications in maritime surveillance and security, where timely detection directly contributes to mitigating illegal activity, environmental threats, and navigational risks. These advancements highlight AI's transformative role in remote sensing applications, establishing a foundation for more effective and timely maritime monitoring and security operations.

Список використаних джерел

1. Scott E Umbaugh. Digital Image Processing and Analysis 18 January 2023, p. 440
2. Fanduo Li, Meng Lv, Ling Jing. Collaborative representation-based semisupervised feature extraction of hyperspectral images using attraction points 21 April 2020, arxiv;
3. Mingxing Tan, Quoc V. Le EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks 1 Sep 2020, arxiv; Tao He, Feng Gao, Shunlin Liang and Yi Peng: Mapping Climatological Bare Soil Albedos over the Contiguous United States Using MODIS Data 19 March 2019, arxiv.

GOVERNANCE MODULE AND VALIDATION LOOP IN A MULTI-AGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR RISK MANAGEMENT IN IT PROJECTS

Mazepa A.S.

Kharkiv National University of Radio Electronics

This paper explores the integration of a governance module and validation loop within a multi-agent decision support system for IT risk management. It presents an architecture combining compensating transactions (sagas), automated validation, and human-in-the-loop strategies to ensure reliability and explainability. The study demonstrates how such enhancements improve trust, fault tolerance, and compliance in dynamic software project environments.

Risk management in IT projects increasingly requires not only dynamic analysis of risk scenarios but also trust and traceability in the decisions produced by automated systems. In complex settings where decisions are generated by multiple agents in parallel, it becomes critical to introduce governance and validation layers to control, verify, and justify such decisions. This work extends a multi-agent decision support system (DSS) with two key components: a governance module and a validation loop.

The governance module serves as an oversight and coordination layer, operating independently from individual agents' decision logic. Its main role is to enforce compliance, log actions, provide transparency (explainability), and ensure that decisions adhere to internal and external policies. The concept follows the Governance-as-a-Service approach [1], which allows a system to enforce policies across agents without modifying their internal implementations. Each agent in the system operates autonomously, but its output can be verified or suspended by the governance layer before acceptance.

One of the core functions of the governance module is the implementation of the saga pattern—a mechanism for compensating transactions, which ensures consistency in distributed, asynchronous agent workflows. In this model, a transaction is broken into a series of smaller, local steps. For example, if step 3 completes successfully but step 5 fails, the system triggers a compensating action to reverse the effects of step 3. As described in “A Review of the Saga Pattern for Distributed Transactions in Microservices Architecture”, it is essential that all compensation logic be idempotent—able to be repeated safely without causing unintended effects [2]. To support this, agents must implement idempotency key mechanisms that track execution state and avoid duplicated side effects. This is particularly important in retry scenarios and failure recovery workflows.

The second major component is the validation loop, which acts as a quality control process before any agent's output is accepted. A central principle is the use of a golden dataset—a curated, high-confidence data set that serves as a benchmark for verifying results [7]. In addition, back-translation methods and synthetic data simulations may be applied to test the consistency and robustness of decisions [8], [9]. When the system lacks sufficient confidence in a result, it triggers a retry logic,

enabling the agent (or ensemble of agents) to rerun the analysis with adjusted parameters or alternative methods.

If the validation loop fails after multiple attempts, the system initiates a human-in-the-loop (HITL) process, allowing a human expert to intervene. This ensures decisions made under high uncertainty are still traceable, auditable, and explainable [6]. Such fallback strategies strike a balance between automation and ethical and regulatory expectations in high-risk domains.

The proposed architecture is designed to be scalable and modular. The governance module can be deployed as an overlay for existing MAS-based systems, without requiring changes to internal agent logic. This allows rapid adaptation to evolving regulatory or operational environments.

Similar architectures have proven effective in domains such as clinical DSS systems [6], where explainability and accountability are crucial. In cybersecurity, governance logic is already applied in SOAR platforms to audit and manage decisions made by automated systems. The use of sentinel agents – watchdog components that monitor the behavior of other agents – further enhances system safety and trustworthiness [4].

In summary, the combined integration of governance, validation, and compensation mechanisms enables multi-agent DSS platforms to provide not only intelligent decisions but also guarantees of quality, traceability, and compliance. This architecture is especially well-suited for dynamic and high-risk domains such as software project risk management.

Список літературних джерел

1. Gaurav S., Heikkonen J., Chaudhary J. Governance-as-a-Service: A Multi-Agent Framework for AI System Compliance and Policy Enforcement [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2508.18765. – Available: <https://arxiv.org/abs/2508.18765>.
2. Neelan A. A Review of the Saga Pattern for Distributed Transactions in Microservices Architecture [Electronic resource] // ResearchGate. – 2025. – Available: <https://www.researchgate.net/publication/395321212>.
3. Ranjan R., Gupta S., Singh S.N. LOKA Protocol: A Decentralized Framework for Trustworthy and Ethical AI Agent Ecosystems [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.10915. – Available: <https://arxiv.org/abs/2504.10915>.
4. Gosmar D., Dahl D.A. Sentinel Agents for Secure and Trustworthy Agentic AI in Multi-Agent Systems [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2509.14956. – Available: <https://arxiv.org/abs/2509.14956>.
5. Raza S., Sapkota R., Karkee M., Emmanouilidis C. TRiSM for Agentic AI: A Review of Trust, Risk, and Security Management in LLM-based Agentic Multi-Agent Systems [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2506.04133. – Available: <https://arxiv.org/abs/2506.04133>.
6. Chen Y.-J., Albarqawi A., Chen C.-S. Reinforcing Clinical Decision-Making: Integrating Multi-Agent Systems with Ethical AI Governance [Electronic resource] //

-
- arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.03699. – Available: <https://arxiv.org/abs/2504.03699>.
7. Myllyaho M., Raatikainen M., Männistö T., Mikkonen T., Nurminen J.K. Systematic Literature Review of Validation Methods for AI Systems [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2021. – arXiv:2107.12190. – Available: <https://arxiv.org/abs/2107.12190>.
8. Hu Q., Yuille A., Zhou Z. Synthetic Data as Validation: Bridging Domain Gaps for Medical Image Segmentation [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2310.16052. – Available: <https://arxiv.org/abs/2310.16052>.
9. Chen D., Wang X., Ren S., Ma Q., Zhao P., Liu A. GBV-SQL: Guided Generation and SQL2Text Back-Translation Validation for Multi-Agent Text2SQL [Electronic resource] // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2509.12612. – Available: <https://arxiv.org/abs/2509.12612>.

TOWARD EXPLAINABLE DECISION SUPPORT IN AEROSPACE DESIGN: INTEGRATING HUMAN EXPERTISE AND COMPUTATIONAL INSIGHTS

Oleh Murashko, Yurii Tkachov

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipro, Ukraine

Introduction. Traditional machine learning algorithms and high-performance simulation models often remain opaque to design engineers, limiting trust in their outcomes and complicating human–system interaction (Coussement et al., 2024; Kostopoulos et al., 2024). In this context, the concept of *explainable artificial intelligence* (XAI) becomes essential for developing *decision support systems* (DSS) capable of providing human-understandable justifications for their recommendations and ensuring effective integration of expert knowledge with computational insights (Graydon et al., 2025; Cuéllar et al., 2024). The implementation of explainable DSS in aerospace design opens opportunities to improve decision accuracy and foster user trust, which is critical for the safety of complex aerospace vehicles.

Methods. To explore the integration of explainable decision support systems, a combined methodological approach is proposed. The first component is XAI, which models the influence of individual parameters on optimization outcomes and provides interpretable explanations (Coussement et al., 2024; Kostopoulos et al., 2024). The second involves the integration of human expertise into the decision-making cycle (human-in-the-loop), enabling control, validation, and adaptation of recommendations to practical safety requirements (Graydon et al., 2025). The third component employs *physics-informed neural networks* (PINNs) to solve differential equations describing the behavior of aerospace structural elements, thereby ensuring the physical consistency of models (Luo et al., 2025). Finally, digital twins integrate simulation data, measurements, and expert assessments into a unified platform for interactive modeling and design scenario analysis (Anwer et al., 2025).

Results and Discussion. The implementation of explainable models in engineering design enables transparent assessment of how structural parameters influence the key performance characteristics of aerospace systems, allowing engineers to promptly adjust design decisions (Cuéllar et al., 2024; Graydon et al., 2025). The integration of *physics-informed neural networks* (PINNs) provides physical consistency without the need for manual encoding of governing equations or constraints, thereby simplifying the inclusion of physical laws into *human-in-the-loop* decision-making processes (Luo et al., 2025). The adoption of *digital twins* creates an interactive and data-driven environment for comparing alternative configurations, combining simulation outcomes, sensor data, and expert assessments. This approach improves both the reliability and reproducibility of design outcomes (Anwer et al., 2025). Hybrid modeling frameworks that combine analytical relationships with machine learning algorithms facilitate the inclusion of empirical engineering knowledge in system behavior prediction. This synergy supports the generation of physically and contextually valid design recommendations. Furthermore, visualization techniques that depict the sensitivity of optimization results to individual parameters enhance model transparency and foster user trust. The *human-*

in-the-loop paradigm ensures continuous validation and adaptation of algorithmic recommendations to safety regulations and operational standards, enabling effective collaboration between human expertise and computational intelligence (Coussement et al., 2024; Kostopoulos et al., 2024; Graydon et al., 2025).

Conclusions and Perspectives. Explainable decision support systems (DSS) in aerospace design enhance the transparency and trustworthiness of algorithmic outputs while simultaneously improving the efficiency of collaborative engineering and consensus-based decision-making among design teams (Coussement et al., 2024; Graydon et al., 2025). The integration of *human-in-the-loop* approaches, *physics-informed neural networks* (PINNs), and *digital twins* enables a synthesis of computational insights with human expertise, ensuring the physical soundness, reproducibility, and adaptability of design solutions (Luo et al., 2025; Anwer et al., 2025). Future development of *explainable artificial intelligence* (XAI) in aerospace engineering is expected to focus on creating advanced methods for embedding physical modeling and simulation data directly into explainable algorithms, thereby enhancing interpretability without compromising accuracy. Particular emphasis should be placed on the evolution of visualization techniques and user interfaces that facilitate collaborative analysis and foster cross-disciplinary understanding. Furthermore, the emergence of hybrid platforms—where *digital twins* and *human-in-the-loop* mechanisms operate synergistically—offers a promising direction for optimizing complex aerospace systems under conditions of high uncertainty and multi-objective constraints. Thus, the implementation of *explainable DSS* marks a decisive step toward safer, more efficient, and transparent aerospace design practices, aligning artificial intelligence with the engineering principles of accountability and physical realism.

References

- Anwer, N., Stark, R., Tao, F., & Erkoyuncu, J. A. (2025). Developing and leveraging digital twins in engineering design. *CIRP Annals*, 74(2), 843–868. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.05.002>
- Coussement, K., Abedin, M. Z., Kraus, M., Maldonado, S., & Topuz, K. (2024). Explainable AI for enhanced decision-making. *Decision Support Systems*, 184, 114276. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.114276>
- Cuéllar, S., Santos, M., Alonso, F., Fabregas, E., & Farias, G. (2024). Explainable anomaly detection in spacecraft telemetry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108083. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108083>
- Graydon, M. S., Holbrook, J. B., Neogi, N. A., Maddalon, J. M., & McCormick, G. F. (2025, April 1). *Challenges, research, and opportunities for human–machine teaming in aviation* (NASA/TM-20250002888). National Aeronautics and Space Administration. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20250002888>
- Kostopoulos, G., Davrazos, G., & Kotsiantis, S. (2024). Explainable Artificial Intelligence-Based Decision Support Systems: A Recent Review. *Electronics*, 13(14), 2842. <https://doi.org/10.3390/electronics13142842>
- Luo, K., Zhao, J., Wang, Y., Li, J., Wen, J., Liang, J., Soekmadji, H., & Liao, S. (2025). Physics-informed neural networks for PDE problems: a comprehensive review. *Artificial Intelligence Review*, 58(10). <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11322-7>

ENERGY-AWARE REWARD FUNCTION FOR UAV COVERAGE PATH PLANNING WITH REINFORCEMENT LEARNING

Vadym Honcharenko, Valentyn Yesilevskyi

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Coverage path planning for multirotor UAVs is often optimized by distance or cell counts, which can diverge from true energy in 3D flight. We propose a continuous-action reinforcement learning formulation that directly penalizes propulsion power in the reward using an executable electric-propulsion model [1], [2]. The reward trades off coverage gain against instantaneous power and safety, yielding trajectories closer to minimum-energy solutions reported in energy-optimal planning.

Coverage path planning with reinforcement learning under power limits usually relies on budget or distance proxies [3], not on physically grounded energy, which can mislead planning when vertical motion and inflow effects dominate. Recent waypoint studies show that minimum-distance is not equal to minimum-energy due to rotor efficiency and climb/turn penalties [4].

To make CPP policies energy-aware, the reward must “see” realistic propulsion power. We therefore anchor the RL reward to validated propulsion/energy models: (i) a white-box, multi-physics model for multirotor energy and (ii) an improved electric-propulsion component model for UAVs.

In power-aware CPP with RL, agents typically balance coverage and a movement/energy budget; safe-flight shields (e.g., geofencing/safety controllers) are common. However, they rarely compute propulsion power from first principles, so the policy optimizes an imperfect surrogate [3]. Empirical and modeling evidence show that minimum-distance ordering is usually not minimum-energy; differences up to ~15% are reported, largely due to vertical motion costs and inflow-dependent rotor efficiency [4].

Let the workspace be discretized for coverage (cells or viewpoints), but control remains continuous: the agent chooses continuous accelerations/turn-rates (or velocity increments) [5]. In such a model, the state includes pose, linear/angular velocities, battery state (SoC), local map coverage, and hazard proximity. Action is continuous (e.g., forward acceleration and yaw-rate, or body-frame accelerations). Dynamics follow the vehicle flight controller; at each step, we estimate instantaneous power P_t from a propulsion model.

As a propulsion energy model, we adopt a white-box, system-level model mapping thrust commands to motor current via ESC and motor dynamics, producing rotor thrust/torque by blade-element/momentum theory, and computing power as a product of current consumed by propulsion and battery voltage (1)

$$P_t = V_t I_t \quad (1)$$

The main instrument of RL is a reward function. We propose to use an energy-aware reward for CPP (2).

$$R_t = \lambda_{\text{cov}} \Delta C_t - \lambda_p P_t \Delta t - \lambda_{\text{safety}} \mathbb{1}[\text{viol.}] \quad (2)$$

Where ΔC_t is the newly covered area (or viewpoints completed). P_t is the propulsion power estimate from the energy model. The last term $\mathbb{1}[\text{viol.}]$ is a safety

penalty (no-fly, obstacle, SoC floor). Each of these members has a weight coefficient:

- λ_{cov} incentivize the policy toward discovering new regions.
- λ_p steers the policy toward energy-efficient motions.
- λ_{safety} helps policy to consider safety concerns.

Also, a small time penalty can be added to trade mission time vs energy; multiobjective analyses demonstrate Pareto tradeoffs and $\sim 5\%$ energy savings at comparable times [2].

Our formulation directly internalizes the propulsion energy model in the RL objective, addressing the root cause of distance-energy mismatch in CPP. By penalizing instantaneous power and vertical work while rewarding coverage, the policy can discover the same physical regularities (e.g., combining horizontal with vertical to improve efficiency) observed in model-based studies-without hand-coding paths.

References

- [1] J. Jeong, H. Shi, K. Lee, and B. Kang, “Improvement of Electric Propulsion System Model for Performance Analysis of Large-Size Multicopter UAVs,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 22, p. 8080, Nov. 2020, <https://doi.org/10.3390/app10228080>.
- [2] Y. Wang *et al.*, “Multiobjective Energy Consumption Optimization of a Flying–Walking Power Transmission Line Inspection Robot during Flight Missions Using Improved NSGA-II,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 4, p. 1637, Feb. 2024, <https://doi.org/10.3390/app14041637>.
- [3] M. Theile, H. Bayerlein, R. Nai, D. Gesbert, and M. Caccamo, “UAV Coverage Path Planning under Varying Power Constraints using Deep Reinforcement Learning,” in *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Jan. 2021, pp. 1444–1449, <https://doi.org/10.1109/IROS45743.2020.9340934>.
- [4] N. Michel, A. Patnaik, Z. Kong, and X. Lin, “Energy-Optimal Planning of Waypoint-Based UAV Missions - Does Minimum Distance Mean Minimum Energy?,” in *2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Oct. 2024, pp. 10362–10369, <https://doi.org/10.1109/IROS58592.2024.10801888>.
- [5] B. Li, Z. Gan, D. Chen, and D. Sergey Aleksandrovich, “UAV Maneuvering Target Tracking in Uncertain Environments Based on Deep Reinforcement Learning and Meta-Learning,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 22, p. 3789, Jan. 2020, <https://doi.org/10.3390/rs12223789>.

ПРЕДИКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЗАПИТІВ У СИСТЕМІ СЛУЖБИ ПІДТРИМКИ

Андрущенко А.І., Жульковська І.І., Жульковський О.О.

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Системи служби підтримки відіграють центральну роль в обслуговуванні клієнтів, забезпеченні технічної підтримки й якості обслуговування. Зростання обсягів звернень, їх різноманіття та зростаючі очікування клієнтів підтверджують необхідність автоматизації процесів та інтелектуального аналізу запитів [1, 2]. В таких умовах виникає потреба у класифікації та маршрутизації звернень разом з предиктивним аналізом властивостей майбутніх запитів – їх складності, часу обробки, категорії, потреби у залученні спеціалістів або передбачуваних ресурсів. Загально будь-яка служба використовує систему заявок, де кожен клієнт надсилає звернення з певними метаданими (дата, час, категорія, клієнтський рівень, історія звернень, попередній досвід, ключові слова тексту). Потім звернення маршрутизуються до різних операторів або груп за категоріями, пріоритетом чи складністю. У класичній системі оцінка часу обробки або потреби залучення ресурсів відбувається вручну або постфактум. В таких умовах виникають затримки, нерівномірне навантаження операторів, недотримання угод про рівень обслуговування (Service Level Agreements, SLA) та незадоволення клієнтів [1].

Предиктивний аналіз запитів передбачає прогнозування майбутніх властивостей звернень ще на момент їхнього створення або одразу після автоматичного первинного аналізу (наприклад, автоматичного оброблення тексту чи відбору ключових ознак). Типовими завданнями є: прогноз часу, необхідного на опрацювання запиту; категоризація або класифікація з високою точністю; прогноз ймовірності категорії або переходу до вищого рівня підтримки; оцінка ризику та пріоритету звернення [2].

Метою роботи є розроблення та експериментальна перевірка методів предиктивного аналізу запитів із урахуванням текстових, часових та метаданих, а також порівняння різних архітектур моделей та їх інтеграція в систему підтримки з оцінкою впливу на ключові показники ефективності.

Для реалізації поставленої мети запропоновано багатоетапний підхід.

Перший етап – збір і попередня обробка даних служби підтримки. Отримано історію звернень за кілька місяців з відповідними атрибутами: унікальний ідентифікатор звернення, дата і час надходження, категорія запиту, клієнтський статус, історія попередніх звернень клієнта, текст повідомлення, ключові теги, оператор, статус завершення, час обробки, інформація про категорії, додаткові мітки тощо. Дані пройшли стадію очищення – видалення дублікатів, стандартизація часових полів, виправлення або вилучення записів із відсутніми критичними полями, нормалізація тексту. Виконано розмітку частини даних щодо категорії складності та рівня складності звернення.

Другий етап передбачає інженерію ознак. З метою побудови предиктивної моделі сформовано набір ознак, що включає часові ознаки, історичні статистики клієнта, метрики тексту, категоріальні ознаки тощо. Ретельно

підбірано ознаки, які мають слабку мультиколінеарність і мінімальний ризик перенавчання.

Третій етап – побудова та навчання моделей прогнозування. Обрано кілька підходів для порівняння: традиційні моделі машинного навчання (лінійна регресія з регуляризацією, метод опорних векторів (SVM), випадковий ліс, градієнтний бустинг XGBoost, LightGBM) та моделі глибинного навчання. Для задачі регресії застосовувалися цільові функції середньоквадратичної помилки (MSE) та середньої абсолютної помилки (MAE). Для задач класифікації використовувалися функції втрат cross-entropy, focal loss. Навчання моделей відбувалося на тренувальній вибірці з перехресним затвердженням для оцінки стабільності й узагальнюваності моделі. Для моделей глибокого навчання виконувалося розбиття на тренувальний, валідаційний і тестовий набори, застосовувалися регуляризація, рання зупинка та гіперпараметри.

З метою інтеграції моделі до прототипу системи служби підтримки й прогнозування в режимі майбутніх звернень розроблено модуль API-прогнозування, який приймає вхідні дані нової заявки та повертає прогноз. Модуль інтегровано з інтерфейсом – при реєстрації запиту автоматично здійснюється виклик модуля, і прогноз використовується для маршрутизації та автоматичного призначення пріоритету. Для задачі прогнозу часу обробки модель LightGBM з текстовими ознаками TF-IDF демонструвала середню абсолютну похибку близько 15 хвилин, а модель трансформера, інтегрована з додатковими ознаками в архітектурі глибокої мережі, знижувала MAE до 10–12 хвилин на тестовому наборі. Коефіцієнт детермінації (R^2) для кращої моделі досягав 0,75, що свідчить про високу пояснювальну здатність. Для задачі класифікації рівня складності звернення класова модель із зважуванням досягла ROC-AUC понад 0,85, F1-міра в класі рівня складності звернення – 0,72, що є прийнятним рівнем в умовах рідкості такого класу. При цьому модель із компонентом трансформера демонструвала зростання ROC-AUC до 0,88 і F1 до 0,78.

Предиктивний аналіз запитів може забезпечити відчутні покращення у роботі служби підтримки за рахунок прискорення обробки, зменшення чисельності порушень SLA та оптимального розподілу ресурсів. Разом із тим, результати вказують на обмеження, зокрема чутливість до якості даних, нестандартності запитів, концептуальних змін у бізнес-процесах і необхідність періодичного донавчання моделі.

Список літературних джерел

1. Zangari A. Ticket automation: An insight into current research with applications to multi-level classification scenarios / A. Zangari, M. Marcuzzo, M. Schiavinato et al. // Expert Systems with Applications.— 2023.— 119984. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.119984
2. Salih A. M. A perspective on explainable artificial intelligence methods: SHAP and LIME / A. M. Salih, Z. Raisi-Estabragh, I. B. Galazzo et al. // Advanced Intelligent Systems.— 2025.— Vol. 7.— 2400304. DOI: 10.1002/aisy.202400304

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО ВИБОРУ СТАРТОВОЇ ТОЧКИ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

Бакеркін В.Р., Зеленцов Д.Г.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

В роботі пропонується спосіб підвищення надійності та ефективності чисельних методів розв'язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь (СНАР):

$$\overline{F}(\overline{x}) = 0, \quad (1)$$

де $F_i(x_1, x_2, \dots, x_n); i = \overline{1, n}$ – функції дійсних аргументів x_1, x_2, \dots, x_n .

Для розв'язання задачі (1) традиційно використовуються два підходи: зведення попередньої задачі до послідовності задач розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (метод Ньютона) та перетворення (1) до задачі безумовної оптимізації:

$$P(\overline{x}) = \sum_{i=1}^n F_i(\overline{x})^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Надійність та ефективність чисельних методів суттєво залежать від вибору стартової точки [1, 2].

Використання чисельних методів в задачах управління та оптимізації, які передбачають багаторазове використання процедури розв'язання СНАР у межах однієї задачі, вимагає підвищеної уваги до їх надійності, бо система рівнянь може містити декілька параметрів що змінюються в деяких інтервалах, що суттєво зменшує надійність чисельних методів. Надійність чисельного методу полягає в тому, що метод дозволяє одержати розв'язок СНАР, який відповідає сенсу прикладної задачі незалежно від вибору стартової точки та при наявності декількох розв'язків.

До негативних результатів використання чисельного методу можна віднести такі:

- у випадку, коли СНАР має декілька розв'язків, одержаний той, що не відповідає сенсу прикладної задачі;
- при використанні методів математичного програмування отримано розв'язок, який є локальним екстремумом оптимізаційної задачі, але не є розв'язком в строгому сенсі цього слова розв'язком СНАР;
- якщо функції системи рівнянь мають обмежену область визначення, можливе нештатне завершення роботи програми, що реалізує метод [3].

Для підвищення надійності обчислень запропоновано застосовувати штучну нейронну мережу, яка визначає стартову точку для ітераційного процесу [4].

Розглянемо це на прикладі СНАР з одним змінним параметром:

$$\begin{cases} y - \alpha \ln(x+4) = 0 \\ y - x^2 + 1 = 0 \end{cases}; \quad \alpha \in [0,75; 1,25]. \quad (3)$$

З рис. 1 можна бачити, що незалежно від конкретного значення параметру система має два розв'язки. Зеленим кольором виділені границі, що відокремлюють множини можливих стартових точок, при яких система має різні розв'язки. Припустимо, що за сенсом постановки задачі розв'язками системи можуть бути лише додатні значення аргументів. У цьому випадку рішаюче значення набуває вибір стартової точки.

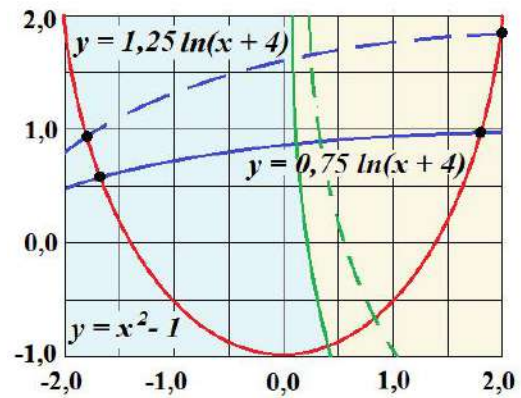


Рис. 1 - Графічна ілюстрація задачі

Для визначення стартової точки використовувалась нейронна мережа (НМ), для якої навчальні зразки генерувались лише в області передбаченого розв'язку системи (3). В табл. 1 наведені деякі результати використання НМ.

Таблиця 1 – Результати використання НМ

a	Стартова точка		Розв'язок СНАР		Кількість ітерацій
	x	y	x^*	y^*	
0.75	1.5552	1.3183	1.5099	1.2799	3
0.9	1.6241	1.5909	1.5968	1.5499	2
1	1.6586	1.7002	1.6529	1.7321	2
1.1	1.6871	1.8986	1.7076	1.9159	3
1.25	1.7515	2.1616	1.7873	2.1945	4

В 1-му стовпчику таблиці вказано значення параметру; у стовпчиках 2-3 та 4-5 наведені значення стартової точки, що визначалась з використанням НМ, та остаточний розв'язок, одержаний методом Ньютона з точністю $\varepsilon = 0,0001$; в 6-му стовпчику показана відповідна кількість ітерацій.

Висновок. Використання нейронної мережі для вибору стартової точки дозволяє зменшити кількість ітерацій, підвищити ефективність і надійність чисельних методів розв'язання СНАР. Такий підхід особливо ефективний для задач зі змінними параметрами, де традиційні методи не забезпечують стабільної збіжності.

Список літературних джерел

1. McCracken, D. D., Dorn, W. S. Numerical Methods and FORTRAN Programming: With Applications in Engineering and Science. New York : John Wiley & Sons, 1964. 435 p.
2. Бігун Я. Й. Числові методи: навч. посібник / Я. Й. Бігун. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2018. – 436 с.
3. Фельдман, Л. П., Петренко, А. І., Дмитрієва, О. А. Чисельні методи в інформатиці. Київ : Видавнича група BHV, 2006. 480 с.
4. Haykin, S. Neural Networks and Learning Machines. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ : Pearson Education, Inc., 2009. 936 p.

ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВОГО НАБОРУ ДАНИХ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА АЕРОЗОБРАЖЕННЯХ

Бімалов Д.В., Гнатушенко Вік.В.

Український державний університет науки і технологій

Проблема виявлення та розмінування територій залишається однією з найактуальніших і найважливіших завдань у багатьох частинах світу. Сучасні технології дистанційного зондування Землі, такі як тепловізійна та мультиспектральна зйомка, надають нові можливості для підвищення ефективності та безпеки операцій з гуманітарного розмінування. Ці підходи допомагають виявити непрямі ознаки наявності мін, включаючи теплові аномалії, пов'язані зі змінами теплопровідності ґрунту, а також спектральні характеристики, зумовлені порушенням структури ґрунту та рослинного покриву.

Глибина залягання вибухонебезпечних об'єктів відіграє ключову роль, оскільки саме цей показник визначає вираженість теплових і спектральних контрастів. На невеликій глибині міни здатні викликати помітні аномалії на поверхні, проте в міру збільшення глибини їх виявлення стає значно складнішим. Вивчення впливу глибини залягання на ефективність розпізнавання мін з використанням теплових і спектральних даних є важливим завданням як з наукової, так і з практичної точки зору [1].

Для проведення тестування моделі, розробленої для аналізу термографічних і спектральних зображень закопаних мін, слід підготувати специфічний набір даних і метаданих (див. таблицю 1). Крім того, важливо забезпечити стійкість моделі до різних умов експлуатації, а також її здатність ідентифікувати об'єкти на різних глибинах:

1. Зображення

Тестовий набір містить такі типи даних: термографічні зображення, що використовуються для виявлення температурних аномалій на поверхні ґрунту, які можуть бути викликані наявністю прихованих об'єктів, та спектральні зображення, що охоплюють видимий спектр і застосовуються для кількісного аналізу відбивних характеристик ґрунту. Всього в наборі даних представлено 2700 термографічних зображень [2].

2. Метадані умов зйомки

Для підвищення якості інтерпретації результатів були задіяні додаткові метадані, такі як час доби, температура повітря, тип ґрунту, тип сенсора і висота зйомки з БПЛА. Врахування цих параметрів дозволило оцінити стійкість моделі до різних зовнішніх умов і перевірити її працездатність в реалістичних польових умовах. Зйомки здійснювалися виключно в ясні, сонячні дні без хмар і опадів.

3. Структура вибірки

Дані розділені на навчальну та тестову вибірку. Тестова вибірка використовується для оцінки роботи моделі в різних умовах і містить: різну глибину залягання мін, різноманітні типи об'єктів, імітаційні (помилкові) цілі,

порожні ділянки без мін, а також дані, які зібрані при різних температурах і погодних умовах.

Таблиця 1 – Набір даних та метаданих

Метадані	Дані
Час доби	Знімалися в сонячні, безхмарні та без дощові дні, термограми знімалися о 17:00–18:00.
Температура повітря	Температура навколишнього середовища повинна бути в діапазоні 24-36°C.
Тип ґрунту	Використаний ґрунт не засолений, з рН 5,73 (помірно кислий), електропровідністю в розчині 1:2 0,13 (дСм/м), з вмістом піску 35,6%, глини 35,4% і мулу 29%.
Тип сенсора	Тепловізійна камера Zenmuse XT з роздільною здатністю 336×256 пікселів, спектральним діапазоном 7,5–13 мкм, діапазоном кутових коливань $\pm 0,03^\circ$ і тепловою чутливістю <50 мК.
Висота зйомки БПЛА	Дрон розташовується приблизно в центрі обстежуваної зони на висоті 10 м для отримання першого тепловізійного знімка. Далі проводиться зйомка, зменшуючи висоту дрона на 1 м до досягнення ним позначки 1 м.
Глибина залягання мін	Глибина залягання мін (0, 1, 5 і 10 см)

Висновок. Для об'єктивного тестування моделей виявлення мін на основі термографічних і спектральних зображень важливо не обмежуватися наявністю тільки самих знімків. Ефективність і надійність алгоритмів значною мірою залежать від повноти та якісної структурованості тестового набору даних. Він повинен включати не тільки зображення мін на різних глибинах, але й чітку розмітку, негативні приклади, а також метадані, що стосуються умов зйомки. Такий підхід дозволяє:

- оцінювати здатність алгоритмів розпізнавати об'єкти на різних рівнях глибини залягання;
- знижувати ймовірність помилкових спрацьовувань завдяки наявності зображень без мін;

Добре сформований тестовий набір даних допомагає перевірити роботу системи в умовах, максимально наближених до реальних, що робить її придатною для застосування в сфері гуманітарного розмінування.

Список літературних джерел

1. Bayram, A., & Bozdağı Akar, G. (2017). Forward looking infrared imagery for landmine detection. SPIE Proceedings. <https://doi.org/10.1117/12.2262594> .
2. Tenorio Tamayo, Alejandro; Forero Ramirez, Juan Camilo; García, Bryan; Loaiza Correa, Humberto ; Restrepo Girón, Andrés David; Esperanza Nope, Sandra ; Barandica López, Asfur ; Tomás Buitrago, José (2023), "Test Images of Buried landmines ", Mendeley Data, V4, doi: 10.17632/732ngnf4r3.4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Бобух М.О., Катан В.О.

Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Дніпро, Україна

Сучасний етап розвитку економіки характеризується швидким зростанням обсягів інформації, що потребує нових підходів до її аналізу та прогнозування. Класичні статистичні методи, такі як регресійний аналіз чи авторегресійні моделі, не завжди забезпечують високу точність у складних, динамічних економічних системах. У зв'язку з цим зростає роль штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, які здатні моделювати нелінійні залежності між змінними та враховувати приховані взаємозв'язки. Розробка програмного модуля для прогнозування економічних показників на основі нейронних мереж дозволяє автоматизувати аналітичні процеси, підвищити ефективність управлінських рішень і зменшити вплив людського фактора.

Програмний модуль для прогнозування економічних показників являє собою комплексне програмне рішення, що складається з кількох основних компонентів: блоку збору та обробки даних, нейронної моделі прогнозування, інтерфейсу користувача та підсистеми візуалізації результатів.

На етапі підготовки даних здійснюється збір історичної інформації про показники економічного розвитку (валовий внутрішній продукт, інфляцію, рівень безробіття, обсяг продажів тощо). Отримані дані проходять етап очищення, нормалізації та перетворення у формат часових рядів. Це необхідно для якісного навчання нейронної мережі.

Для реалізації моделі найчастіше застосовуються рекурентні нейронні мережі (RNN), а також їхні покращені варіанти — LSTM (Long Short-Term Memory) та GRU (Gated Recurrent Unit). Ці архітектури дозволяють враховувати часову послідовність даних та ефективно відображати динаміку економічних процесів. Навчання моделі проводиться за допомогою алгоритмів оптимізації, таких як Adam або RMSprop, з використанням функції втрат (наприклад, середньоквадратичної похибки MSE).

Якість прогнозів оцінюється за допомогою статистичних метрик — середньої абсолютної похибки (MAE), кореневої середньоквадратичної похибки (RMSE) або середньої відносної похибки (MAPE). Після налаштування гіперпараметрів модель інтегрується у програмний модуль, який може бути реалізований на мові Python із використанням бібліотек TensorFlow, Keras, NumPy та Pandas. Інтерфейс користувача може бути розроблений на основі Flask або Streamlit, що дозволяє створити зручне середовище для візуалізації прогнозів у вигляді графіків і таблиць.

Розроблений програмний модуль має практичну цінність, оскільки дозволяє фахівцям-економістам отримувати оперативні прогнози ключових економічних показників. Наприклад, на основі аналізу попередніх даних модель може передбачити зміни обсягу виробництва, рівня інфляції чи валютного курсу, що допомагає приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Для зручності наведено узагальнену характеристику основних етапів розробки програмного модуля:

Таблиця 1. – Характеристика основних етапів розробки програмного модуля

Етап	Зміст робіт
Підготовка даних	Збір, очищення та нормалізація історичних економічних показників
Розробка моделі	Вибір архітектури нейронної мережі (LSTM, GRU), визначення параметрів
Навчання та тестування	Оптимізація моделі, оцінювання точності прогнозу за метриками MAE, RMSE
Інтеграція	Реалізація інтерфейсу користувача, візуалізація результатів прогнозування
Практичне застосування	Використання для аналізу економічної ситуації та підтримки прийняття рішень

Як висновок можна сказати, що використання нейронних мереж у прогнозуванні економічних показників відкриває нові можливості для автоматизації економічного аналізу. Розробка програмного модуля дозволяє створити гнучкий інструмент, який може адаптуватися до змін економічного середовища та забезпечувати високу точність прогнозів. Такий підхід є особливо корисним для фінансових установ, аналітичних центрів і підприємств, що прагнуть підвищити ефективність стратегічного планування. У подальшому перспективним напрямом розвитку є використання гібридних моделей, що поєднують нейронні мережі з еволюційними алгоритмами або методами нечіткої логіки, що може підвищити стабільність і точність прогнозів.

Список літературних джерел

1. Гаврилюк В. В. Штучні нейронні мережі: теорія та застосування. — Київ: КНЕУ, 2020. — 215 с.
2. Ларін О. М. Інтелектуальні системи прогнозування соціально-економічних процесів. — Харків: ХНУРЕ, 2019. — 198 с.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — MIT Press, 2016. — 775 p.
4. Zhang G. P. Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model // Neurocomputing. — 2003. — Vol. 50. — P. 159–175.
5. Keras Documentation. — URL: <https://keras.io>

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ГРАФОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ GRAPHRAG ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ОПИСІВ ТОВАРІВ

Ганжа О. О., Іванчук Н. В.

Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна

Вступ. Автоматизація створення текстового контенту є одним із ключових напрямів розвитку штучного інтелекту (ШІ) та глибокого навчання. Особливо актуальним це є для електронної комерції, де кожен товар потребує унікального, структурованого та SEO-оптимізованого опису. Традиційне написання таких текстів вручну потребує значних людських і фінансових ресурсів. Використання генеративних моделей глибокого навчання, зокрема моделей трансформерної архітектури, дозволяє істотно підвищити ефективність цього процесу. Водночас головною проблемою залишається забезпечення точності та достовірності згенерованої інформації, особливо для технічних товарів де точність передачі характеристик має вирішальне значення.

Основний матеріал. Завдання автоматизованої генерації описів товарів належить до галузі обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP). Попередні дослідження [1] показали, що генеративні моделі здатні створювати граматично правильний і читабельний текст, проте часто допускають помилки у фактичних даних. Це обумовлено відсутністю у таких моделей доступу до достовірних структурованих знань. Аналіз сучасних досліджень [2] свідчить про зростання інтересу до підходів, які дозволяють здійснювати контрольовану генерацію тексту на основі структурованих джерел даних — таблиць, онтологій та графів знань, що забезпечують підвищення точності створюваного контенту

Для вирішення цієї проблеми запропоновано використання графової технології GraphRAG (Graph Retrieval-Augmented Generation), яка поєднує генеративні можливості трансформерів із перевагами графових баз знань. GraphRAG є розвитком концепції RAG і забезпечує пошук, отримання та інтеграцію релевантної інформації з графа знань у процес генерації тексту. У графовій базі знань вузли можуть представляти товари, їхні категорії та характеристики, а зв'язки між ними — логічні та функціональні залежності. Приклад фрагменту графової бази знань наведено на рисунку 1.

У наведеному прикладі товари та їх характеристики представлені у вигляді вузлів графа. Кожен вузол має свій тип — наприклад, Product (товар) або Attribute (характеристика), що дозволяє чітко розмежувати семантику різних сутностей. Вузли різних типів з'єднані орієнтованими ребрами типу HAS_ATTRIBUTE, які відображають відношення належності характеристики до конкретного товару. При цьому значення характеристик, такі як числові параметри, одиниці вимірювання чи короткі текстові описи, зберігаються не у вузлах, а у властивостях самих ребер. Така структура дозволяє більш гнучко моделювати складні залежності між товарами та їх параметрами, уникати дублювання інформації й забезпечувати точне та масштабоване представлення даних у графовій базі знань.

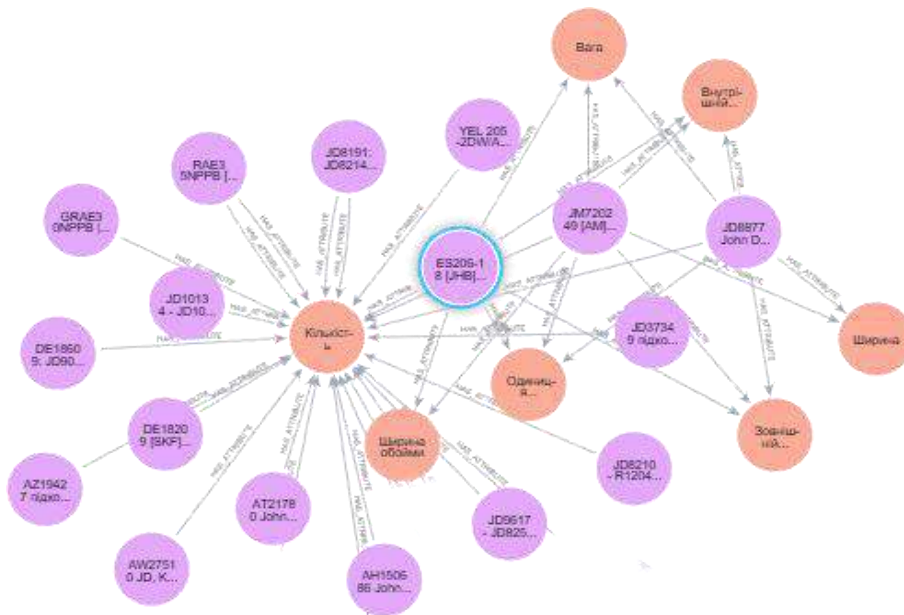


Рисунок 1 — Візуалізація фрагмента графа знань

Під час обробки запиту користувача система виконує семантичний пошук у графі знань, витягує релевантну інформацію та автоматично доповнює нею початковий запит. Отримані структуровані дані перетворюються у формат, зручний для генеративної моделі. Для цих цілей найкраще підходять великі мовні моделі (LLM), попередньо навчені на завданнях типу Text2Text Generation, які здатні трансформувати структуровану інформацію у зв'язні, логічні та зрозумілі для користувача текстові описи товарів.

Такий підхід дозволяє автоматично доповнювати запити користувача достовірними даними, зменшуючи кількість помилок і вигаданих фактів. Завдяки GraphRAG можливо підвищити точність і релевантність описів, забезпечити узгодженість характеристик та врахування складних взаємозв'язків між параметрами товарів.

Висновки. Використання технології GraphRAG у поєднанні з генеративними моделями штучного інтелекту є ефективним підходом для автоматизованої генерації текстових описів товарів. Такий підхід дозволяє підвищити точність і достовірність створюваного контенту, зменшити витрати часу та ресурсів, а також усунути ризики, пов'язані з людським фактором. GraphRAG відкриває нові можливості для застосування ШІ у сфері контент-маркетингу, електронної комерції та технічної документації, де критично важливою є точність переданої інформації.

Список літературних джерел

1. Ганжа О. О., Іванчук Н. В. Порівняння ефективності моделей глибокого навчання в задачах генерування текстових описів запчастин до сільськогосподарської техніки. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки. 2024. Вип. 1(105) с.262-270.

2. Слободянюк, А. і Семеріков, С. Еволюція нейронних моделей генерування тексту: систематичний огляд досліджень 2022–2024 років. Ukrainian Journal of Information Systems and Data Science. 2 (2025), с.89-119.

РОЗРОБКА ВІДЕОЧАТУ ДЛЯ ОНЛАЙН-СПІЛКУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ WEBRTC

Гузь Г.М.¹, Пономарьова О.А.²

¹Український державний університет науки і технологій

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

²Український державний університет науки і технологій

ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна

У контексті цифрової трансформації суспільства зростає попит на ефективні засоби комунікації, що забезпечують передачу мультимедійних даних у реальному часі. Розвиток віддаленої співпраці, онлайн-навчання, електронної комерції та віртуальних конференцій сприяє підвищеному інтересу до технологій, які дозволяють здійснювати аудіо- та відеозв'язок безпосередньо через веб-браузери.

Технологія WebRTC (Web Real-Time Communication) є одним із найперспективніших рішень у цій галузі, оскільки забезпечує прямі однорангові з'єднання (peer-to-peer) між користувачами без потреби у додатковому програмному забезпеченні чи плагінах. Її переваги включають відкритий стандарт, кросплатформеність і підтримку сучасними браузерами, що робить її універсальним інструментом для створення веб-додатків реального часу.

Розробка відеочатів на базі WebRTC є актуальною через зростання вимог до якості, доступності та безпеки онлайн-спілкування, а також потребу в створенні масштабованих систем. Використання цієї технології дозволяє створювати високоефективні рішення, які поєднують простоту використання з можливостями інтеграції в різні сфери діяльності.

Для початку комунікації за допомогою WebRTC, необхідно виконання чотирьох кроків (рис.1) [1].

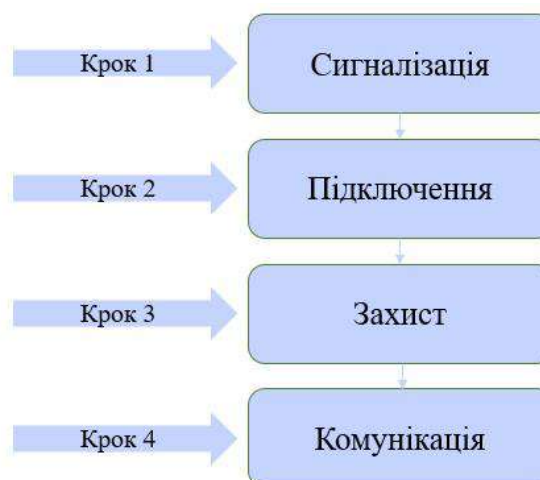


Рисунок 1 – Кроки комунікації в WebRTC

На першому кроці відбувається сигналізація, де учасники обмінюються метаданими, такими як мережева інформація (ICE Candidates) та медіа-можливості (SDP), часто через окремий сервер.

Далі йде другий крок - підключення, коли на основі цих даних встановлюється пряме однорангове (P2P) з'єднання, використовуючи STUN/TURN для обходу мережевих обмежень. Після встановлення шляху, з'єднання забезпечується третім кроком - захистом, який є обов'язковим для WebRTC, через шифрування даних (DTLS) та медіапотоків (SRTP). Лише після успішного виконання цих трьох етапів розпочинається власне комунікація - прямий обмін аудіо, відео, даними в режимі реального часу.

Ключові компоненти відеочату наведені на рис. 2.

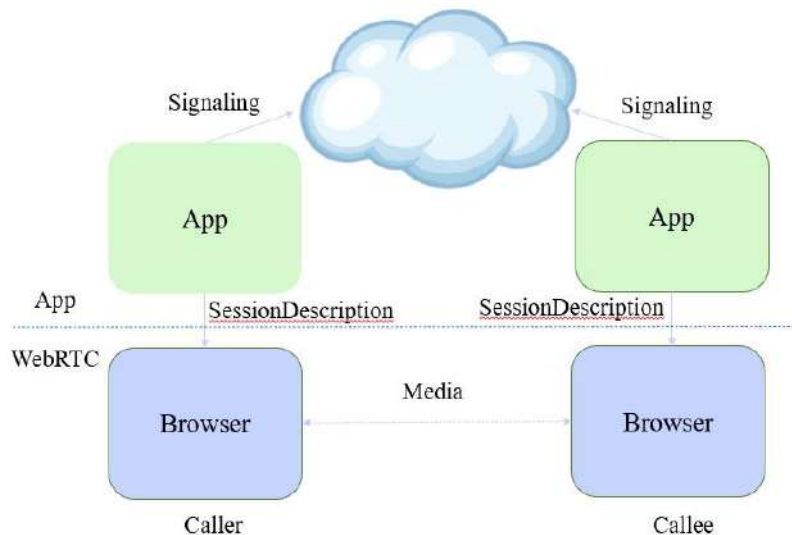


Рисунок 2 – Ключові компоненти відеочату

Відеочат запускається безпосередньо у веб-браузері та працює за наступним принципом: користувач відкриває сторінку, після чого браузер запитує доступ до камери та мікрофона; клієнт надсилає сигнал на signaling-сервер, який передає опис сесії (SDP) іншому користувачу; WebRTC на обох сторонах встановлює P2P-з'єднання із використанням серверів STUN/TURN, після чого відео- та аудіопотоки передаються напряму між учасниками сесії.

Розробка продемонструвала, що WebRTC є ефективною технологією для створення сучасних онлайн-комунікацій, а реалізований відеочат може слугувати основою для подальшого розвитку сервісів дистанційного спілкування та навчання. Головними перевагами системи є висока швидкість роботи, простота використання та сумісність із більшістю сучасних браузерів і пристроїв. Таким чином, відеочат на базі WebRTC забезпечує зручний і сучасний спосіб організації онлайн-спілкування, зокрема відеоконференцій, що робить його ефективним інструментом як для особистого, так і для професійного використання.

Список літературних джерел

1. Гузь Г. Дослідження застосування WebRTC / Г. Гузь, Д. Гузь // Молоді вчені 2025 - від теорії до практики : матеріали XV Всеукр. науково-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих уч., Дніпро, 20 берез. 2025 р. – Дніпро, 2025. – С. 289–291.

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ІЗ НЕПОВНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ НА ПРИКЛАДІ ІГРОВИХ СЦЕНАРІЇВ

Демченко І.І., Жульковська І.І., Жульковський О.О.

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Під час аналізу систем, де інформація про стан середовища є неповною або частково прихованою, актуальності набуває моделювання стохастичних процесів [1, 2]. Одним із найскладніших класів таких процесів є ситуації прийняття рішень у конкурентних середовищах, де агенти взаємодіють між собою на основі неповних даних про ресурси, дії чи стратегії опонентів. Подібні системи спостерігаються в економічному та фінансовому прогнозуванні, ігровому аналізі, управлінні ризиками, сфері розроблення автономних агентів, здатних до адаптивного мислення в умовах невизначеності тощо.

У роботі розглянуто застосування нейромережевого підходу для прогнозування результатів ігрових сценаріїв з неповною інформацією. Такі сценарії умовно можна інтерпретувати як послідовність епізодів, у кожному з яких суб'єкт (агент) має прийняти рішення на основі обмежених спостережень і ймовірнісних припущень щодо прихованих параметрів середовища [3].

Мета роботи полягає в побудові універсальної моделі прогнозування результатів динамічних процесів, де ключову роль відіграють фактори невизначеності, неповноти інформації та багатофакторної залежності між станами системи.

Теоретичною передумовою дослідження є поєднання машинного навчання, зокрема глибинних нейронних мереж, із підходами стохастичного моделювання, що дозволяє створювати адаптивні системи прогнозування, здатні апроксимувати нелінійні залежності між параметрами середовища та виявляти приховані закономірності у часових послідовностях подій [2]. Для цього розроблено модель, яка отримує вхідні дані у вигляді векторизованих станів епізодів, що включають характеристики поточної ситуації, умовні ймовірності можливих дій та історію попередніх подій.

Реалізація запропонованого підходу базується на використанні рекурентних нейронних мереж (RNN) та їхніх сучасних модифікацій – довгострокових мереж (LSTM) і мереж із механізмом уваги [3]. Такі архітектури є придатними для оброблення часових послідовностей, що дозволяє системі формувати контекстну пам'ять, необхідну для врахування залежностей між окремими ітераціями процесу прийняття рішень. В експериментальній частині дослідження також апробовано гібридні структури, які поєднують елементи згорткових мереж (CNN) для виділення ознак зі структурованих даних та трансформерних модулів, здатних моделювати взаємозв'язки між об'єктами на різних рівнях узагальнення. Оскільки система оперує неповною інформацією, дані штучно симульовано на основі великої кількості випадкових епізодів, що моделюють дії агентів із різними рівнями раціональності та стратегіями поведінки. Для забезпечення стійкості моделі застосовано методи регуляризації, нормалізації ознак, стохастичної оптимізації (Adam, RMSprop) і контроль

перенавчання через механізм Dropout. Для емпіричної валідації створено симульовану базу даних обсягом 10 млн епізодів, що імітують процеси прийняття рішень за стохастичних умов. Кожен епізод складався з послідовності від 3 до 7 кроків, де на кожному кроці агент мав доступ лише до частини інформації про поточний стан системи (20–40 % від повного набору параметрів). Вихідною змінною було бінарне значення результату, а також числова оцінка очікуваної вигоди, нормалізована у діапазоні [-1; 1].

Рекурентна частина забезпечувала обробку часових залежностей між кроками епізоду, тоді як модуль уваги дозволяв системі фокусуватись на найбільш релевантних станах попередніх дій. Процес навчання тривав 40 епох. Вибірка розділена у співвідношенні 80, 10 і 10% на тренувальну, валідаційну та тестову частини відповідно. Порівняльний аналіз із трьома базовими моделями – логістичною регресією, багатошаровим перцептроном (MLP) та класичною двошаровою LSTM без уваги – показав суттєві переваги запропонованої архітектури. Точність на тестовій вибірці становила 87,4, у той час як MLP досягав 74,2, а LSTM без уваги – 83,1%. Середня абсолютна похибка (MAE) прогнозу очікуваної вигоди склала 0,083, що на 23% краще, ніж у базової моделі без механізму уваги.

Додатково проведено моделювання з різними рівнями неповноти даних. При зменшенні доступної інформації до 20% від повного набору ознак точність моделі знижувалася лише до 81,6%, що свідчить про достатню стійкість до втрат даних. Для порівняння, базова LSTM при тих самих умовах показувала лише 72,3%. Отже гібридна архітектура ефективно компенсує відсутність частини інформації за рахунок внутрішньої репрезентації контексту.

Результати моделювання підтвердили, що нейромережевий підхід є здатним ефективно прогнозувати результати процесів із неповною інформацією навіть за умов значної стохастичності середовища. Модель успішно навчилася розпізнавати приховані патерни взаємодії між учасниками системи та виявляти оптимальні стратегії поведінки на основі історичних даних.

Перспективним напрямом майбутніх досліджень є інтеграція підходу з методами пояснюваного штучного інтелекту для підвищення інтерпретованості отриманих результатів.

Список літературних джерел

1. Chrustowski K. Policy-Based Reinforcement Learning Approach in Imperfect Information Card Game / K. Chrustowski, P. Duch // *Applied Sciences*.— 2025.— V. 15, №4.— 2121. DOI: 10.3390/app15042121
2. Li X. Time Series Forecasting with Missing Data Using Generative Adversarial Networks and Bayesian Inference / X. Li // *Information*.— 2024.— Vol. 15, №4.— 222. DOI: 10.3390/info15040222
3. Yuan W. Ensemble strategy learning for imperfect information games / W. Yuan, S. Chen, P. Li, J. Chen // *Neurocomputing*.— 2023.— Vol. 546.— 126241. DOI: 10.1016/j.neucom.2023.126241

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЗАДАЧАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ І МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Загній А.С., Вельмагіна Н.О.

Український державний університет науки та технологій
Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Дніпро, Україна

Сучасні компанії працюють у середовищі з високою динамікою бізнес-процесів, де кількість задач, міжпроектних залежностей і часових обмежень постійно зростає. У таких умовах ручне призначення виконавців та планування дедлайнів стає неефективним: збільшується кількість помилок, виникає перевантаження співробітників і порушення SLA-угод. Це зумовлює потребу у створенні систем, здатних автоматично розподіляти завдання, враховуючи контекст, пріоритети та ресурси.

Більшість сучасних систем управління задачами — Jira, Asana, Trello, HelpDeskStar — реалізують базову автоматизацію через статичні правила типу “if-then”. Проте такі механізми не враховують зміни у навантаженні команди, пріоритетності або доступності ресурсів. Відсутність адаптивності призводить до нерівномірного розподілу робіт і зниження ефективності в масштабних проектах. Для подолання цих обмежень доцільним є впровадження експертних систем, які приймають рішення на основі формалізованих правил і здатні автоматично оновлювати логіку дій.

Одним із підходів до автоматизації є призначення задач на основі експертних правил та планувальних алгоритмів. Сучасні інструменти дозволяють задати набір правил: наприклад, автоматично призначати нову задачу відповідальному фахівцю за певними критеріями (категорія, пріоритет, ключові слова тощо) і визначати для неї термін виконання згідно з встановленими нормативами або рівнем пріоритету. Автоматична пріоритезація гарантує, що критично важливі заявки отримують першочергову увагу, тоді як менш термінові відкладені на пізніше. Подібні правила та черги допомагають підтримувати порядок у потоці робіт і частково знижують навантаження на менеджерів. Втім, статично налаштовані правила потребують постійної підтримки й не враховують динамічних змін – наприклад, раптового зростання кількості задач чи зміни доступності ресурсів. Це обмежує ефективність суто rule-based підходу та підштовхує до залучення інтелектуальніших рішень.

По-перше, перспективним напрямом є використання ML-моделей для прогнозування естимейтів – часу, необхідного на виконання тієї чи іншої задачі. Аналізуючи дані про тривалість виконання аналогічних завдань у минулому, така модель може оцінити складність нової задачі та передбачити реалістичний дедлайн її завершення. Це дозволяє краще планувати робочі спринти і завчасно виявляти задачі, що ризикують не вкластися у графік. По-друге, новітні засоби штучного інтелекту здатні автоматично формувати правила керування задачами. На основі накопичених історичних даних система може самостійно виявляти повторювані шаблони та пропонувати правила для їх обробки – фактично, AI-модуль генерує логіку призначення або ескалації задач, зменшуючи потребу у

ручному налаштуванні. У сучасних сервісах вже з'являються помічники, що створюють правила автоматично на основі опису сценарію користувачем, замість ручного програмування умов. По-третє, активно розвивається семантична класифікація задач. Застосування методів NLP і глибоких нейронних мереж (наприклад, моделей типу BERT) дає змогу автоматично визначати тему або категорію задачі, семантична класифікація підвищує точність розподілу, зменшує дублювання робіт і забезпечує швидку реакцію на нові звернення. Це спрощує маршрутизацію: система сама розпізнає, до якого відділу чи проекту віднести нову задачу, і може негайно її призначити відповідальним. Отже, семантичний аналіз дозволяє машині «розуміти» зміст задач і обробляти їх дедалі розумніше [1].

Використання ML/AI вже зараз дає відчутні результати в управлінні задачами. Наприклад, у розподілених командних проектах модель Random Forest змогла автоматично призначати задачі на відповідальні ролі з точністю ~96% [3]. В промислових умовах впроваджено й реальні AI-системи: рішення від IBM автоматично розподіляє близько 100 000 звернень на місяць із точністю ~90%, досягаючи тим самим людського рівня і заощаджуючи понад 50 000 людино-годин на рік [2].

Сучасні рішення здебільшого розвиваються фрагментарно, не маючи централізованої бази знань із можливістю автоматичного оновлення правил. Перспективним напрямом досліджень є розроблення адаптивних базових платформ, які дозволяють розширювати та вдосконалювати правила без необхідності повного перепроектування системи. Така архітектура забезпечує масштабованість, інтеграцію з зовнішніми інструментами через API та можливість використання спільних моделей для аналізу даних у різних доменах.

Подальший розвиток експертних систем управління задачами може бути пов'язаний із використанням гібридних ML-підходів, розробленням онтологій для опису бізнес-процесів, підвищенням прозорості рішень за допомогою explainable AI та інтеграцією з системами аналітики продуктивності. Реалізація таких систем сприятиме побудові повноцінних інтелектуальних середовищ управління задачами, здатних не лише автоматизувати рутинні дії, а й адаптивно прогнозувати зміни, розпізнавати пріоритети та оптимізувати розподіл ресурсів у режимі реального часу.

Список літературних джерел

1. Zangari A., Marcuzzo M., Schiavinato M. Ticket Automation: an Insight into Current Research with Applications to Multi-level Classification Scenarios, 2023, URL: <https://iris.unive.it>.
2. Agarwal S., Bandlamudi J., Mandal A. Automated assignment of helpdesk email tickets: An artificial intelligence life-cycle case study, 2020, URL: <https://research.ibm.com>.
3. Al-Fraihat D., Sharrab Y., Al-Ghuwairi A. Utilizing machine learning algorithms for task allocation in distributed agile software development, 2024, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>.

ВИЯВЛЕННЯ ЧУТЛИВИХ СУТНОСТЕЙ У КОРПОРАТИВНИХ ДОКУМЕНТАХ ДЛЯ СИСТЕМ DATA LOSS PREVENTION: ВИКЛИКИ, МЕТОДИ ТА НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кабак Р.А., Ляшенко О.А., Радуль О.А.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

У сучасних корпоративних системах оперують значними обсягами текстових даних, до яких належать договори, рахунки, технічні звіти, електронне листування, презентації, службові записки та чат-переписки. Значна частина таких документів може містити чутливу інформацію – персональні дані клієнтів і працівників, фінансові реквізити, дані облікових записів та інші відомості, розголошення яких становить ризик для безпеки організації. Витік таких даних може призвести до суттєвих фінансових втрат, шкоди репутації компанії та додаткових юридичних витрат.

Зловмисники можуть здійснювати атаки як із середини організації, коли співробітники з адміністративними правами навмисно або випадково передають конфіденційну інформацію за межі компанії, так і ззовні – використовуючи вразливості програмного забезпечення чи методи соціальної інженерії. Таким чином, у сучасному цифровому середовищі питання захисту конфіденційної інформації набуває ключового значення для функціонування корпоративних систем. Постійне зростання обсягів даних, автоматизація бізнес-процесів і поява нових каналів комунікації істотно підвищують ризики несанкціонованого розголошення відомостей.

Ручний аналіз даних і відстеження витоків є трудомістким і не завжди надійним процесом, який потребує значних часових і людських ресурсів. Для мінімізації ризиків витоку необхідне комплексне рішення, що поєднує моніторинг поведінки користувачів, контроль доступу, аналіз вмісту файлів і захист каналів передачі інформації. Саме для цього створюються системи запобігання витоку даних (Data Loss Prevention, DLP).

DLP-система – це програмно-апаратний комплекс, призначений для виявлення, контролю та запобігання несанкціонованому розповсюдженню конфіденційної інформації за межі організації. Такі системи здійснюють моніторинг дій користувачів, аналізують вміст корпоративних документів і мережевий трафік, а також блокують потенційно небезпечні операції, зокрема копіювання, надсилання або друк чутливих даних.

Метою дослідження є аналіз викликів при виявленні чутливих сутностей у корпоративних документах. Одним із основних завдань систем запобігання витоку інформації є ідентифікація чутливих сутностей (sensitive entities) – фрагментів тексту, що містять конфіденційну або персональну інформацію. До таких сутностей належать персональні дані працівників і клієнтів, фінансові реквізити, службові документи, внутрішні звіти та інші відомості корпоративного характеру.

Особливістю текстових даних у DLP-контексті є потреба у семантичному аналізі вмісту, оскільки простий пошук за ключовими словами не дає

належного результату. Чутливі дані можуть мати численні формати представлення, скорочення, варіанти запису або специфічне форматування.

У цьому контексті вводиться поняття сутності (entity) – смислової одиниці тексту, що має конкретне значення й може нести конфіденційну інформацію. Особливу складність становить варіативність подання сутностей: номери телефонів, адреси електронної пошти, URL, ідентифікатори договорів і замовлень можуть мати різні форми запису. Наприклад, у межах одного документа номер телефону може бути подано через пробіли, дефіси або з різними розділювачами, такими як нерозривні пробіли чи символи переносу рядка. Це ускладнює процес токенізації, сегментації тексту на речення або абзаци та потребує додаткової нормалізації перед подальшим аналізом.

Ще однією проблемою є обфускація або навмисне додавання шуму до даних з метою ускладнення їх розпізнавання. Поширеним прикладом є модифікація адрес електронних скриньок у форматі “name [at] example [dot] com”.

Крім того, під час оптичного розпізнавання символів (Optical Character Recognition, OCR), коли відскановані зображення документів перетворюються на машиночитуваний текст, часто виникають артефакти, наприклад: плутанина символів 0\O, 1\l, n\m, змішування кирилических і латинських літер тощо.

Чутливі сутності також можуть бути залежними від контексту – це імена, назви посад, організацій, адреси. Для їхнього правильного виявлення необхідно враховувати контекстні тригери, такі як «директор», «вул.», «телефон» та інші слова-супутники. За відсутності контексту або через надмірні скорочення можливі коливання між класами чутливої інформації.

Додаткову складність створює використання кількох мов у межах одного документа. Часто поєднуються українська та англійська мови, внутрішні корпоративні скорочення, локальні ідентифікатори або транслітерації, відсутні в загальнодоступних словниках. Це вимагає використання гнучких лексичних баз або додаткового донавчання моделей.

Проблематика виявлення конфіденційної інформації найчастіше досліджується для медичної сфери, де в документах ідентифікують імена, контактні дані, адреси тощо. Однак аналогічні виклики постають і для корпоративних текстів, які також можуть містити артефакти, спеціальне форматування або багатомовність.

На підставі аналітичного огляду виділено дві основні групи методів: пошук за правилами та контекстний аналіз на основі нейронних мереж.

Підхід на основі правил [1] використовує регулярні вирази, словники або шаблони й забезпечує високу точність для чітко формалізованих типів даних. Його переваги полягають у прозорості логіки, швидкості обробки та простоті адаптації до форматних типів інформації (номери телефонів, адреси електронної пошти, IBAN-коди). Основними недоліками є залежність від повноти набору правил, низька стійкість до варіацій записів, відсутність контекстного розуміння та складність масштабування [2].

Методи, засновані на моделях штучного інтелекту для контекстного пошуку [1, 3–4], враховують значення слова у контексті, завдяки чому

ефективніше виявляють неоднозначні або слабо формалізовані сутності. Серед їхніх недоліків – потреба у великих розмічених корпусах текстів і високі обчислювальні витрати.

У цій роботі здійснено огляд сучасних підходів до виявлення конфіденційної інформації в корпоративних текстах і визначено вимоги до таких систем у контексті DLP. На основі аналізу джерел сформовано класифікацію методів та критеріїв оцінювання їхньої ефективності.

Визначено ключові критерії порівняння методів, серед яких: якість виявлення, продуктивність обробки, повнота покриття класів сутностей, трудомісткість підтримки та інтерпретованість результатів.

За підсумками аналітичного огляду сформульовано дослідницьку гіпотезу: для корпоративних документів доцільно порівняти методи на основі правил і контекстні моделі NER як два принципово різні підходи, щоб визначити оптимальний баланс між точністю, гнучкістю та вартістю впровадження. Ці висновки становлять підґрунтя для проектування експериментальної платформи, призначеної для постановки та виконання порівняльних досліджень у системах запобігання витоку даних, чому буде присвячена подальша робота.

Список літературних джерел

1. Neamatullah I., Douglass M. M., Lehman L.-w. H., Reisner A., Villarroel M., Long W. J., Szolovits P., Moody G. B., Mark R. G., & Clifford G. D. Automated de-identification of free-text medical records / BMC Medical Informatics and Decision Making. – 2008. – vol. 8, article 32. URL: <https://bmcmedinformdecismak.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6947-8-32>
2. Zhao Z., Yang M., Tang B., Zhao T., Re-examination of rule-based methods in de-identification of electronic health records: algorithm development and validation / JMIR Medical Informatics. – 2020. – vol. 8(5), e16122. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7226054/>
3. Liu Z., Chen Y., Tang B., Wang X., Chen Q., Liu H., Wang X., Deng Q., & Xu H. De-identification of clinical notes via recurrent neural network and conditional random field / Journal of Biomedical Informatics. – 2017. – vol. 75(Suppl), S34–S42. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.05.023>
4. Deroncourt F., Lee J. Y., Uzuner O., & Szolovits P. De-identification of patient notes with recurrent neural networks / Journal of the American Medical Informatics Association (JAMIA). – 2017. – vol. 24(3), 596–606. URL: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocw156>

МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

Кавац О.О.¹, Кавац Ю.В.¹, Сергєєва К.Л.²

¹ Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Прісна вода залишається одним із ключових стратегічних ресурсів для будь-якої держави. В умовах глобальної зміни клімату особливої актуальності набуває моніторинг внутрішніх водних об'єктів, оскільки природні катаклізми порушують усталений гідрологічний режим окремих територій. Зростання попиту на воду посилює сезонні та міжрічні коливаннями площі дзеркала й об'єму поверхневих водойм, що потенційно спричиняє скорочення або повне зникнення озер, річок і водно-болотних угідь. Проблема забезпечення водними ресурсами особливо загострюється в посушливих і напівпосушливих регіонах. Саме тому виникає необхідність у розробці та адаптації математичних моделей супутникового моніторингу динаміки змін водних ресурсів. Надійним інструментом для вирішення задач моніторингу залишаються аерокосмічні дані. Крім обробки великих та важкодоступних територій, супутникові дані мають найбільшу перевагу завдяки можливості аналізу історичних знімків, що дозволяє оцінювати зміни. Метод оцінки динаміки змін водних об'єктів на основі супутникових даних поєднує в собі використання оптичних і радарних даних. У роботі проведені дослідження по оцінці точності картування поверхневих вод на основі спектральних оптичних індексів (NDWI, MNDWI, AWEIsh, AWEInsh) у поєднанні з автоматичним порогування за методом Оцу. Алгоритм визначає оптимальний поріг, який максимізує міжкласову дисперсію між об'єктом та фоном, що призводить до бінарної сегментації. Досліджено, що цей підхід особливо ефективний для радарних зображень, де відмінності в сірих тонах відповідають мікрохвильовим характеристикам зворотного розсіювання від води, рослинності та ґрунту.

Список літературних джерел

1. Tan, J.; Tang, Y.; Liu, B.; Zhao, G.; Mu, Y.; Sun, M.; Wang, B. A self-adaptive thresholding approach for automatic water extraction using Sentinel-1 SAR imagery. *Remote Sens.* 2023, 15, 2690.

СИСТЕМА ОБРОБКИ ДАНИХ В ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНІ З ВИКОРИСТАННЯМ RULE-BASED ТА AI-BASED ПАРАДИГМ

Кісільов В.С.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

У сучасних онлайн-магазинах активно впроваджуються автоматизовані системи взаємодії з користувачами. Технічні інтернет-магазини, що пропонують спеціалізовані товари, потребують рішень, здатних розуміти вузькоспеціалізовані запити та працювати з неоднозначними формулюваннями. Традиційні rule-based чат-боти, які використовують заздалегідь визначені правила та ключові слова, обмежені у гнучкості та практично неспроможні обробляти непередбачувані запити.

На противагу їм, AI-based системи (LLM та SQL-агенти) забезпечують семантичний аналіз, розуміння контексту та здатні формувати запити до бази товарів у динамічний спосіб. Це робить їх потенційно більш ефективними для технічних онлайн-магазинів.

Метою роботи є аналітичне та експериментальне порівняння rule-based та AI-based підходів у контексті роботи з технічними користувацькими запитами.

Методологія дослідження

Оскільки система не введена в експлуатацію, оцінювання виконано шляхом аналітичного порівняння та сценарного моделювання.

1. Формальні критерії оцінювання

Було проаналізовано шість параметрів, що визначають можливості обох підходів (табл. 1).

Таблиця 1 — Порівняння формальних характеристик

Критерій	Rule-based	AI-based
Гнучкість	низька (1/5)	висока (5/5)
Складність розробки	середня	висока
Ступінь інтерактивності	низька	висока
Покриття непередбачуваних запитів	0/5 (практично відсутнє)	високе
Обчислювальні витрати	низькі	високі
Масштабованість бази знань	низька	практично необмежена

2. Сценарне моделювання

Для оцінювання реальної ефективності обох підходів було змодельовано п'ять типових категорій запитів:

№	Категорія запиту	Rule-based	AI-based
1	Фактичний пошук (ключове слово)	2	2
2	Складна технічна рекомендація	2	2
3	Комбінований запит	1	2
4	Семантична інтерпретація (синоніми, неточності)	1	2
5	Запит поза каталогом (Hallucination Test)	0	2
	Сума балів	6	10

Критерії оцінювання відповідей:

2 бали — повністю релевантна відповідь, що вирішує проблему користувача та містить необхідне обґрунтування з посилання на товар.

1 бал — часткова або неповна відповідь (знайдено лише один параметр, відсутнє обґрунтування, або відповідь не є раціональною).

0 балів — нерелевантна, хибна відповідь або повна нездатність опрацювати запит.

2.1. Дані сценарного тестування

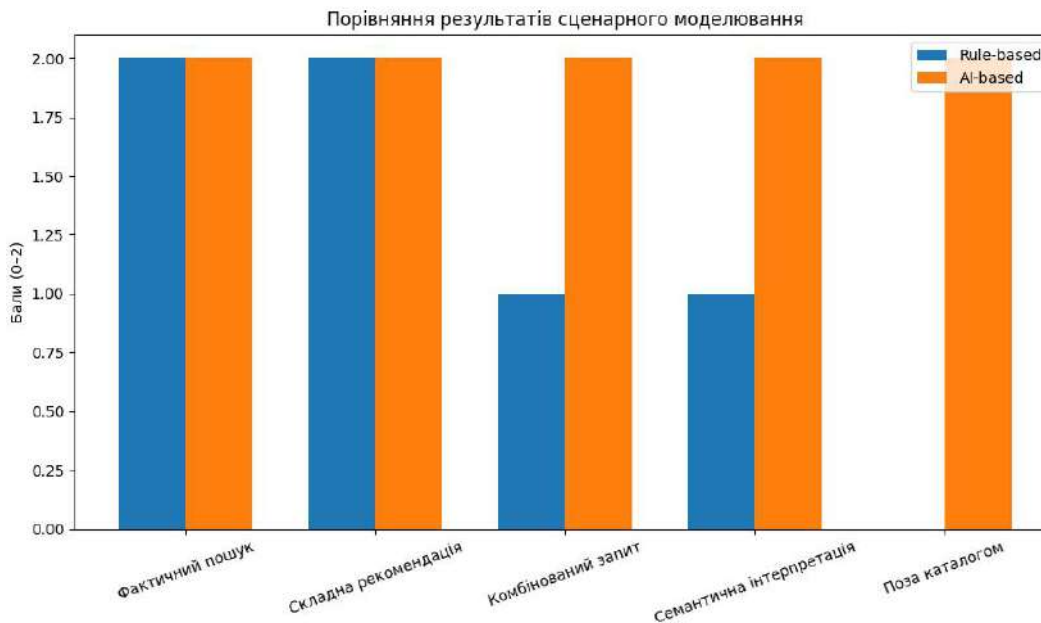


Рисунок 1 – Порівняння результатів сценарного моделювання

Рисунок 1 демонструє, що rule-based бот здатний коректно працювати лише у випадках №1 та №2, де відповідь однозначно прив'язана до ключових слів. Найбільший розрив спостерігається у комбінованих та семантичних запитах, де необхідне розуміння контексту або нечітких формулювань.

AI-based підхід стабільно забезпечив максимальну релевантність у всіх категоріях завдяки здатності моделі інтерпретувати запити, знаходити семантичні відповідності та застосовувати загальні знання поза межами каталогу.

Отримані результати демонструють суттєву перевагу AI-based чат-бота над rule-based підходом у контексті технічних онлайн-магазинів. Rule-based моделі економічні та швидкі, проте значно обмежені у роботі зі складними, нечіткими або комбінованими запитами.

AI-based підхід забезпечує:

- високу адаптивність до різних типів запитів,
- коректну обробку неточностей та синонімів,
- здатність працювати з контекстом,
- більшу точність і релевантність відповідей.

Попри вищі обчислювальні витрати, використання AI-ботів є доцільним для спеціалізованих онлайн-магазинів, де якість консультації напряму впливає на довіру користувачів та конверсію продажів.

РОЗВ'ЯЗАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ ДИНАМІЧНИХ ЗАДАЧ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИЧНО-ІНФОРМОВАНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Книш О. С., Єсілевський В.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ, м. Харків, Україна
тел.: +380681623901, e-mail: oleksandr.knysh@nure.ua

This study examines the application of Physically-Informed Neural Networks to the solution of multidimensional dynamic problems. This is useful because obtaining a numerical solution with super-resolution by numerical methods is quite a complex and expensive process to calculate. Instead, with the help of physically informed networks, it is possible to build such solutions quickly and with high accuracy, even without generating datasets by experiments.

Сучасні задачі математичного моделювання в науці й техніці потребують обробки складних фізичних процесів з високою точністю та обчислювальною ефективністю, особливо у випадках, коли аналітичні розв'язки недоступні або чисельні методи стають надмірно затратними по ресурсах. На тлі цього зростає актуальність фізично-інформованих нейронних мереж (PINN), що поєднують переваги машинного навчання та строгих фізичних законів. Їх ключова властивість – здатність розв'язувати диференціальні рівняння без необхідності у розмітці даних та їх експериментальному видобутку, що є особливо цінним при моделюванні процесів у реальних інженерних системах, медицині, кліматології та інших областях. Крім того PINN дозволяють уніфікувати підхід до прямих та обернених задач, а також легко адаптуються до параметричних досліджень. Все це робить дослідження, розвиток та застосування PINN виключно актуальною задачею сучасної прикладної математики.

В сонові роботи PINN лежить нев'язка з рівнянням та крайовими або початковими умовами. При навчанні звичайної мережі використовується тренувальний набір даних, у випадку PINN ж, результат роботи мережі порівнюється з нев'язками фізичних законів, покладених в її основу, що дозволяє розраховувати розв'язок рівнянь за різних значень параметрів без проведення повторних експериментів та не боячись шуму серед даних [1].

Цікаво, що видатний успіх NN у додатках, керованих даними, не поширюється на проблеми, що регулюються складними фізичними законами. Багато наукових та інженерних проблем, таких як динаміка рідини, будівельна механіка та теплопередача, описуються PDE, які містять основні фізичні принципи. На жаль, традиційні НМ за своєю природою не розуміють цих фізичних принципів, а покладаються виключно на дані для вивчення точних уявлень, і з цієї причини можуть давати фізично суперечливі результати. Це обмеження особливо яскраво проявляється в сценаріях, коли даних мало або вони зашумлені [2].

Щоб виправити цей недолік, PINN з'явилися як потужна парадигма, яка інтегрує фізичні закони безпосередньо в процес машинного навчання. Основна ідея PINN полягає в тому, щоб вбудувати керуючі рівняння фізичної системи в архітектуру нейронної мережі або функцію втрат. Зазвичай це досягається

шляхом включення цих рівнянь у функцію втрат, яку мережа прагне оптимізувати під час тренування. Цей підхід зменшує залежність від великих наборів даних і використовує сильні сторони як моделювання на основі фізики, так і навчання на основі даних, що призводить до створення моделей, які є більш точними, узагальненими та інтерпретованими [2].

На рис.1 можна побачити порівняння роботи PINN з аналітичним розв'язком та сітковим на прикладі однієї з динамічних багатовимірних задач, а саме задачі теплопровідності на площині.

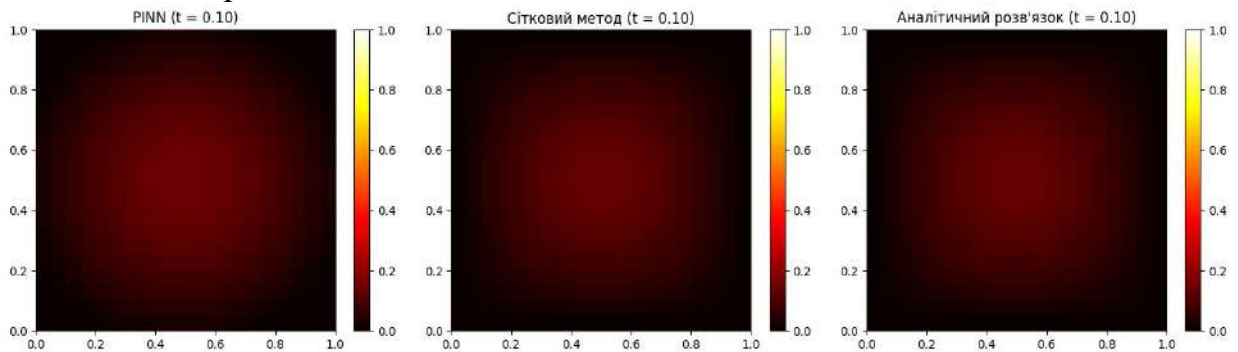


Рисунок 1 – Порівняння PINN розв'язку, сіткового та точного

Можна зробити висновок про невисокий рівень похибки, та вдало побудоване наближення за допомогою PINN.

Список використаних джерел

1. Raissi M. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations [Electronic resource] / M. Raissi, P. Perdikaris, G. E. Karniadakis // Journal of Computational Physics. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045> (date of access: 04.03.2025). – Title from screen.
2. Understanding Physics-Informed Neural Networks: Techniques, Applications, Trends, and Challenges [Electronic resource] // MDPI. – Mode of access: [https://www.mdpi.com/2673-2688/5/3/74#:~:text=We%20then%20explore%20various%20PINN%20architectures%20and%20techniques,differential%20equations%20\(PDEs\)%20and%20ordinary%20differential%20equations%20\(ODEs\).](https://www.mdpi.com/2673-2688/5/3/74#:~:text=We%20then%20explore%20various%20PINN%20architectures%20and%20techniques,differential%20equations%20(PDEs)%20and%20ordinary%20differential%20equations%20(ODEs).) (date of access: 04.03.2025). – Title from screen.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Кривокоритов А.В., Желдак Т.А.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Сучасна енергетика переживає фундаментальні трансформації. Зростання попиту на енергію, глобальні кліматичні зміни та необхідність скорочення викидів парникових газів вимагають пошуку нових інструментів управління енергетичними системами. Традиційні методи енергетичного менеджменту не завжди забезпечують достатній рівень ефективності, особливо в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії, що відзначаються високою змінністю та непередбачуваністю. У цьому контексті особливе значення набувають цифрові технології, серед яких провідне місце займає штучний інтелект (ШІ). Його використання дозволяє аналізувати великі масиви даних, здійснювати прогнозування, автоматизувати управлінські рішення та підвищувати гнучкість енергетичних систем [1].

ШІ являє собою сукупність методів та алгоритмів, здатних до обробки великих даних, самонавчання й оптимізації рішень. Найбільш поширені технології включають:

- машинне навчання (ML) – створення моделей, що вчаться на основі історичних даних;
- глибинне навчання (DL) – багатошарові нейронні мережі для розпізнавання складних закономірностей;
- експертні системи – програмні рішення з базами знань і правилами логічного висновку;
- алгоритми оптимізації – інтелектуальні підходи до пошуку найкращих рішень у складних багатofакторних системах.

У сфері енергетики ці методи інтегруються в концепції Smart Grid, Smart City, цифрових двійників та Industry 4.0, утворюючи інтелектуальні системи управління, здатні працювати в режимі реального часу.

Алгоритми ШІ можуть враховувати багатofакторні залежності (погодні умови, сезонність, поведінку споживачів) для точного прогнозу навантажень і виробітку з відновлюваних джерел енергії. Інтелектуальні системи управління будівлями та підприємствами дозволяють оптимізувати споживання енергії, автоматично регулювати роботу освітлення, вентиляції, опалення та обладнання, знижуючи енерговитрати на 10–30%. Предиктивна аналітика дозволяє здійснювати технічне обслуговування на основі фактичного стану обладнання, знижуючи аварійність і витрати на ремонт [2]. ШІ також здатний виявляти аномалії у роботі систем і блокувати потенційні атаки в режимі реального часу.

Переваги впровадження ШІ в енергетиці очевидні - це підвищення енергоефективності та зменшення втрат; підвищення надійності та безперебійності енергопостачання; автоматизація прийняття рішень у режимі реального часу; інтеграція відновлюваних джерел у єдину мережу.

Проте існують і певні ризики та обмеження. По-перше, ефективність алгоритмів залежить від повноти та якості інформації. По-друге, зростає ризик атак на цифрові системи управління. Це породжує необхідність формування нормативної бази й контролю за автономними рішеннями.

Перспективним рішенням у сфері енергетичного менеджменту стає використання мікромереж (microgrids) – локальних енергетичних систем, які об'єднують генерацію з відновлюваних джерел (сонячні панелі, вітрові турбіни,

біогазові установки), накопичувачі енергії та споживачів. На відміну від традиційної централізованої моделі, мікромережі можуть працювати як у складі національної енергосистеми, так і в автономному режимі [3-4].

Штучний інтелект у таких системах виконує функцію координатора обміну енергією:

- оптимізує розподіл електроенергії між учасниками мікромережі;
- управляє зарядом та розрядом акумуляторів для балансування;
- забезпечує автоматичну торгівлю надлишками енергії між сусідніми домогосподарствами чи підприємствами;
- виявляє аварійні ситуації та захищає систему від перевантажень.

Прикладом може слугувати мікромережа в житловому кварталі, де кілька будинків обладнані сонячними панелями та акумуляторами. У сонячний день ШІ розподіляє надлишки енергії: частину спрямовує на заряд електромобілів, частину – в акумулятори, а надлишок продає сусіднім будівлям чи в основну мережу за допомогою блокчейн-платформи. Увечері, коли виробіток падає, система автоматично використовує накопичену енергію, мінімізуючи витрати мешканців на централізовану електроенергію. Проект Brooklyn Microgrid (США, Нью-Йорк) став символом локальних енергетичних ринків. Жителі кварталу з сонячними панелями здійснюють обмін надлишковою електроенергією з сусідами за допомогою блокчейн-платформи. Алгоритми ШІ прогнозують попит та пропозицію, оптимізують баланс енергії й формують ціни в режимі реального часу, створюючи стійку локальну енергетичну екосистему. Таким чином, ШІ стає «мозком» децентралізованої енергетики, забезпечуючи ефективний, гнучкий та прозорий енергетичний обмін [5].

Таким чином, ШІ є одним із ключових чинників модернізації енергетичного менеджменту. Його застосування дозволяє підвищити ефективність, надійність і безпеку енергосистем, одночасно сприяючи екологічній стійкості. Разом із тим існують виклики, що пов'язані з якістю даних, кібербезпекою та фінансовими бар'єрами. Перспективним напрямом досліджень є інтеграція ШІ з іншими цифровими технологіями та реалізація міждисциплінарних проєктів.

Список літературних джерел

1. International Energy Agency (IEA). *Digitalization and Energy*. Paris: IEA, 2022.
2. Єпіфанова І. М., Трофимчук О. В. Формування сучасної техніко-технологічної бази машинобудівного підприємства. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2024. № 16. С. 178–183. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.16.178>
3. Zhang, Y., Wang, J., & Zhao, D. Application of Artificial Intelligence in Smart Grids. *Applied Energy*, vol. 300, 2021.
4. Siano, P. Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, 2019.
5. IEEE Transactions on Smart Grid. Останні випуски (2021–2023).

ЗАСТОСУВАННЯ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ У СТВОРЕННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ СИСТЕМ

Луцик І. І.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Сучасні програмні рішення, що активно впроваджуються в різні галузі суспільного життя, повинні відповідати високим вимогам щодо гнучкості, продуктивності та інтерактивності в порівнянні з традиційними програмними системами. Однією з таких вимог є забезпечення адаптивних режимів для узгодження функціонування взаємодіючих пристроїв при змінних умовах навколишнього середовища. Традиційні підходи визначення адаптивних режимів базуються на жорсткому програмуванні сценаріїв, ефективність яких в динамічних умовах є надто низькою. У такому випадку необхідною є розробка нових підходів, що дозволяють реалізувати функції контекстно-залежного прийняття рішень та забезпечити режими самоадаптації системи. Одним із перспективних напрямів є використання формалізованих моделей знань для прийняття логічних рішень у конфігуруванні та управлінні системою на основі онтологічного підходу [1].

Стосовно програмно-апаратних систем адаптивність програмного забезпечення полягає у здатності до динамічного переналаштування режимів роботи пристроїв відповідно до змінних умов середовища, дій користувачів або стану інших пристроїв [2].

Слід зауважити, що в процесі розробки зазначених програмних систем необхідно передбачати рівні адаптації різного типу:

- поведінкову, яка пов'язана зі зміною алгоритмів взаємодії;
- ресурсну, яка забезпечує оптимізацію енергоспоживання чи пропускну здатності;
- користувацьку, що дає змогу персоналізувати інтерфейс та вид послуг;
- семантичну – для інтерпретації даних відповідно до контексту ситуації.

Різноманітність та різноплановість рівнів адаптації потребує формування єдиної семантичної моделі, що здатна забезпечити сумісність узгодженого функціонування пристроїв. В такому випадку у програмних системах для забезпечення машинно-інтерпретованого розуміння предметної області доцільним є онтологічний підхід, що передбачає створення формалізованої специфікації у вигляді структурованої моделі, що описує взаємозв'язок основних понять. З точки зору програмно-апаратних систем онтологічний підхід забезпечує врахування семантичного взаємозв'язку між різноманітними пристроями, сервісами та даними. Завдяки цьому забезпечується інтероперабельність для обміну даними між різними платформами, формалізація контексту, що передбачає опис просторово-часових, поведінкових і користувацьких характеристик а також можливість автоматичного формування нових знань на основі існуючих фактів і правил. Таким чином, онтологічний підхід дає змогу реалізувати інтелектуальне управління на основі динамічної обробки даних.

Використання онтологічного підходу в програмно-апаратних системах сприяє також вирішенню низки важливих завдань. В першу чергу це забезпечення модульності та масштабуванню програмного забезпечення, адже даний підхід дає змогу додавати без змін базового коду нові класи, пристрої чи контексти. Крім того, наявна семантична сумісність, яка передбачає можливість об'єднання даних із різних джерел у єдину систему. Завдяки механізму підтримки логічних висновків система може виявляти приховані закономірності або аномалії. Онтологічний підхід забезпечує також прозорість і пояснюваність рішень, адже усі правила адаптації описані у вигляді онтологічних аксіом, що робить систему інтерпретованою. Сформовані онтології можна застосовувати в різних проектах (наприклад, для системи «розумний будинок» чи «транспортна логістика»), що забезпечує високий рівень повторного використання знань.

Незважаючи на численні переваги, онтологічний підхід у класичному розумінні все ж таки має певні обмеження. Перш за все це висока складність побудови онтології для великих систем, яка містить велику кількість сенсорів та необхідність передбачати узгодженість та сумісність функціонування компонент. У такому випадку зростає кількість фактів та, відповідно, збільшується тривалість формування логічних висновків. Виникає потреба у створенні механізму, який би забезпечував динамічний механізм обробки доменної структури онтології.

Рішенням цієї проблеми є абстрактний підхід до створення онтології. Відповідно до даного підходу абстракції предметної області виділяються на основі її базових понять та сутностей. У такому випадку при доповненні моделі структура залишається незмінною, а її подальше розширення забезпечується завдяки створенню нових екземплярів існуючих сутностей.

Таким чином використання онтології на основі абстрактного підходу дає змогу реалізовувати динамічну адаптацію без перепрограмування системи. Адже зміна певного правила чи додавання нового модуля чи пристрою враховується вже на рівні логіки обходу онтології і не потребує модифікації коду. Подальшим напрямком удосконалення процесу проектування та розробки програмно-апаратних систем вбачаємо у поєднанні онтологічного підходу з великими мовними моделями, використання яких дасть змогу реалізувати самонавчання моделі та оптимізацію правил адаптації..

Список літературних джерел

1. Lutsyk I. Analysis of approaches to design ontological models of an adaptive software system / Illia Lutsyk, Dmytro Fedasyuk // Computer systems and information technologies. – 2024. – No. 3. – P. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2024-3-2>.
2. Гончаренко Т. Архітектура програмної системи на основі концепції рефлексивної адаптації / Тетяна Гончаренко // Управління розвитком складних систем. – 2023. – No. 54. – P. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.54.69-76>

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНЕ МАШИННЕ НАВЧАННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЛЯ ПОПІКСЕЛЬНОЇ СЕМАНТИЧНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ЗАПОВІДНОЇ ТЕРИТОРІЇ

Мироненко М. І.¹, Титаренко І. В.²

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна, m.myronenko@cs.sumdu.edu.ua

² Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків Україна, igor.tytarenko@kname.edu.ua

Для збереження історико-культурних пам'яток необхідне періодичне їх картографування для виявлення природних і несанкціонованих змін з метою відтворення первісного стану заповідної території [1]. Для підвищення точності картографування запропоновано метод попиксельної семантичної сегментації, реалізований на прикладі цифрового зображення території історико-культурної пам'ятки с. Зелений гай (Сумська область, Україна) з урахуванням FAIR даних [2, 3]. Метод розроблено в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних, яка базується на максимізації інформаційної спроможності системи розпізнавання в процесі її машинного навчання [4].

Формування реалізацій класів розпізнавання, які характеризували відповідні сегменти зображення, здійснювалося шляхом зчитування яскравості пікселів у моделях кольорів RGB і HSL. Машинне навчання мало четвертий рівень глибини. На кожному рівні глибини послідовно оптимізувалися за модифікованим інформаційним критерієм Кульбака [5] такі параметри: d – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання; δ – відносний параметр, який дорівнює половині поля контрольних допусків всіх ознак розпізнавання; δ_i – параметр, який дорівнює половині поля контрольних допусків для кожної ознаки розпізнавання та ρ – рівень селекції координат усередненої двійкової реалізації класів розпізнавання.

На рисунку 1 представлено функціональну категорійну модель (ФКМ) інформаційно-екстремального машинного навчання четвертого рівня глибини.

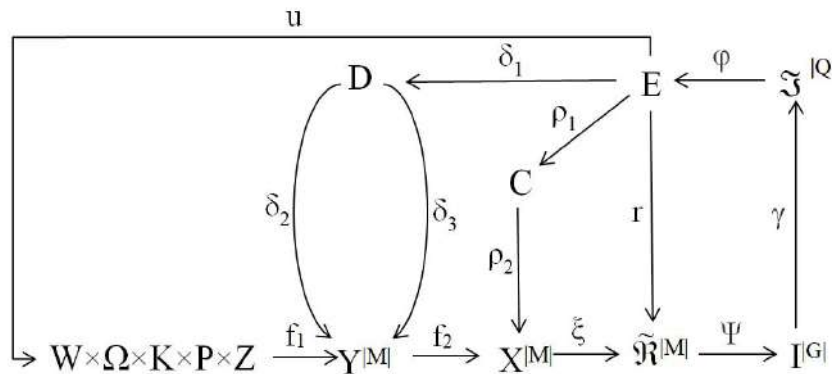


Рисунок 1 – Функціональна категорійна модель інформаційно-екстремального машинного навчання четвертого рівня глибини

На рисунку джерелом інформації є декартовий добуток $W \times \Omega \times K \times P \times Z$, де W – простір вхідних факторів; Ω – простір ознак розпізнавання; K – множина кадрів цифрового зображення регіону; P – множина пікселів сегменту; Z – абетка класів розпізнавання; $Y^{[M]}$ – вхідна навчальна матриця; $X^{[M]}$ – робоча бінарна навчальна матриця; f_1 – оператор формування матриці $Y^{[M]}$; f_2 – оператор формування робочої бінарної навчальної матриці $X^{[M]}$.

Оператор ξ відображає послідовно двійкові реалізації матриці $X^{[M]}$ на розбиття $\tilde{\mathcal{R}}^{[M]}$ класів розпізнавання. Оператор ψ шляхом перевірки основної статистичної гіпотези формує множину гіпотез $I^{|G|}$, де G – кількість статистичних гіпотез. Оператор γ формує

множину $\mathfrak{S}^{|Q|}$ точнісних характеристик класифікаційних рішень, де $Q = G^2$, а оператор Φ обчислює інформаційний критерій. Оператор r відновлює у просторі Геммінга розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ класів розпізнавання. Контур оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання замикається множиною D допустимих значень контрольних допусків.

Водночас оператор δ_1 задає на кожному кроці машинного навчання значення параметра δ поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Оператор δ_2 реалізує паралельну оптимізацію контрольних допусків, а оператор δ_3 – послідовну.

Контур оптимізації рівня селекції містить терм-множину C рівнів селекції. Оператор ρ_1 задає значення рівня селекції, а оператор ρ_2 формує усереднені двійкові реалізації класів розпізнавання. Оператор u регламентує процес машинного навчання.

Згідно з ФКМ ітераційна процедура пошуку глобального екстремуму усередненого інформаційного критерію має вигляд

$$\rho^* = \arg \max_{G_\rho} \{ \max_{G_{\delta,i}} \{ \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E \cap G_d} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m(d) \} \} \}, \quad (1)$$

де $E_m(d)$ – значення інформаційного критерію, обчислене при поточному значенні d радіуса гіперсферичного контейнера класу розпізнавання; G_ρ – область допустимих значень рівня селекції; $G_{\delta,i}$ – область допустимих значень поля контрольних допусків i -ї ознаки розпізнавання; G_δ – область допустимих значень параметра δ ; G_E – область визначення функції інформаційного критерію; G_d – область допустимих значень радіусів контейнерів класів розпізнавання.

Геометричні вирішувальні правила мають додатково фільтр для визначення в режимі розпізнавання межового пікселя і позначення контуру сегмента.

Отримана за результатами крос-валідації точність дорівнює 0,89 за умови, що спектри яскравості сегментів суттєво перетинаються. Для підвищення точності планується збільшити рівень глибини машинного навчання шляхом оптимізації додаткових параметрів, включаючи параметри формування вхідного математичного опису системи розпізнавання, що навчається.

Список літературних джерел

1. Tytarenko I., Pavlenko I., Dreval I. (2023). 3D modeling of a virtual built environment using digital tools: Kilburun fortress case study. Applied Sciences (Switzerland), Vol. 13(3), art. no. 1577. <https://doi.org/10.3390/app13031577>
2. Pavlenko I., Tytarenko I. (2025). Digitization of archival and historical data on destroyed cultural heritage objects within the Zelenyi Hai archaeological complex of the 8th-13th centuries. DataverseUA, V1. <https://doi.org/10.48788/DVUA/RJ6LHT>
3. Pavlenko I., Tytarenko I., Andrusiak V. (2025). Digitization of archaeological finds of the Zelenyi Hai archaeological complex by chronological and cultural criteria. DataverseUA, V1. <https://doi.org/10.48788/DVUA/VGQLIN>
4. Dovbysh A.S. Information-extreme machine learning of on-board vehicle recognition system / A. S. Dovbysh, M. M. Budnyk, V. Yu. Piatachenko, M. I. Myronenko // Cybernetics and Systems Analysis. – 2020. – Vol. 56. – No. 4. – P. 534–543. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00269-y>
5. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навч. посіб. / А. С. Довбиш. – Суми : Видавництво Сумського державного університету, 2009. – 171 с.

Основні наукові результати одержані під час виконання держбюджетної науково-дослідної роботи « Наукові основи віртуальної реконструкції знищених об'єктів культурної спадщини для стратегії відновлення України » (номер держреєстрації 0125U000440).

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ DIFF-АНАЛІЗУ ТА МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Москаленко М. Л.¹, Коротка Л. І.²

¹Аспірант кафедри інформаційних систем, “Український державний університет науки і технологій” м. Дніпро, Україна

²Кандидат технічних наук, доцент, “Український державний університет науки і технологій” м. Дніпро, Україна

Вступ. Системне програмне забезпечення, зокрема операційні системи (ОС), є ключовим компонентом сучасних обчислювальних платформ – від серверів і хмарних датацентрів до вбудованих пристроїв та IoT-рішень [1, 2]. Стабільність, безпека та надійність ОС безпосередньо впливають на функціонування прикладного програмного забезпечення, роботу апаратних засобів і критичних інфраструктур. Зі зростанням складності операційних систем та частоти їх оновлень процес тестування стає дедалі більш ресурсозатратним та складним. Традиційні підходи, засновані на ручному тестуванні або unit-тестуванні високорівневих компонентів, не забезпечують належного охоплення, особливо на рівні ядра, драйверів та системних бібліотек [3, 4]. Крім того, активна кастомізація ОС під специфічні апаратні вимоги – наприклад, як HarmonyOS Next від Huawei [7], HiOS від Tecno [8] чи LineageOS – збільшує кількість версій і значно ускладнює процес верифікації.

У таких умовах виникає потреба в нових підходах до тестування, які дозволяють автоматизувати процес аналізу змін, класифікувати їх за критичністю та прогнозувати потенційні ризики появи дефектів. Одним із перспективних напрямів є поєднання diff-аналізу з методами глибокого навчання [5, 6, 10].

Основний матеріал. Запропонована методика оптимізації процесу тестування складається з трьох ключових етапів: diff-аналіз, класифікація змін та побудова моделі прогнозування ризиків.

Diff-аналіз та формування diff-файлу. Порівняння двох білдів операційної системи (наприклад, v5.0 та v6.0 Linux Kernel) здійснюється за допомогою утиліти diff, яка генерує структурований файл відмінностей. Цей файл містить додані, змінені або видалені рядки коду, а також їх контекст [2]. Отриманий diff-файл обробляється для виділення релевантних фрагментів і метаданих. Для цього застосовуються автоматичні правила класифікації, що враховують:

- шлях до файлу (наприклад, /drivers/usb/ → драйвери);
- ключові слова (наприклад, malloc, memory, auth, socket);
- історію змін (наприклад, модулі, які часто спричиняли дефекти) [5-9].

У результаті кожен фрагмент коду класифікується за типом: ядро системи, драйвери, мережеві компоненти, бібліотеки чи інтерфейс користувача.

Побудова моделі прогнозування ризиків. Сформовані ознаки використовуються як навчальна вибірка для моделі глибокого навчання (наприклад, Random Forest, LSTM або Transformer). Вхідні параметри включають кількість змінених рядків, тип змін (додавання, видалення,

модифікація), підсистему, до якої належить зміна, а також наявність історичних дефектів. Вихідна мітка – рівень ризику (низький, середній або високий). Навчена модель дозволяє прогнозувати критичність нових змін та формувати карту ризиків для планування тестування [5].

Експериментальна перевірка методики проведена на прикладі порівняння ядра Linux версій v5.x та v6.x [2]. Після проведення diff-аналізу було отримано понад 40 000 змінених рядків коду. Автоматична класифікація розподілила їх на п'ять основних категорій, найбільші з яких – зміни у драйверах (37 %) та мережевих компонентах (25 %).

Після навчання моделі точність прогнозування критичних змін становила близько 91 %, а середній час аналізу diff-файлу скоротився на 63 % у порівнянні з ручною обробкою. Приблизно 12 % змін були визначені як високоризикові, що дозволило сконцентрувати зусилля спеціалістів з тестування саме на них [9-10].

Висновки. Запропонований підхід до оптимізації процесу тестування системного програмного забезпечення на основі diff-аналізу та прогнозування ризиків із використанням методів глибокого навчання має значний потенціал для підвищення ефективності верифікації. Основні переваги підходу включають:

- зменшення обсягу ручної праці та часу на аналіз коду;
- автоматичне виявлення критичних змін та побудову карти ризиків;
- можливість інтеграції з CI/CD-процесами для безперервного тестування [10].

У перспективі планується розширення підходу на інші типи системного програмного забезпечення, інтеграція моделі з системами керування тестуванням та розробка інтерфейсу для візуалізації карти ризиків.

Список літературних джерел

1. Литвин В. В., Рудакова Г. В. Моделі та методи машинного навчання. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019.
2. Love R. Linux Kernel Development. – Addison-Wesley, 2020.
3. Silberschatz A., Galvin P. B., Gagne G. Operating System Concepts. – Wiley, 2022.
4. Chen T. et al. Intelligent Software Testing: A Survey. – *Journal of Systems and Software*, 2022.
5. Li H. et al. DACE: Deep Automatic Code Review. – *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2021.
6. Zhang Y. et al. DISCOREV: Knowledge Distillation for Multi-task Code Review. – *IEEE Access*, 2023.
7. Huawei. HarmonyOS NEXT Overview. – [Online]. Available: <https://consumer.huawei.com/>
8. Tecno Mobile. HiOS Features and Innovations. – [Online]. Available: <https://www.tecno-mobile.com/>
9. Бурячок В. Л., Ковальчук І. А. Інтелектуальні системи аналізу даних. – Київ: НАУ, 2020.
10. Литвин В. В., Рудакова Г. В. Моделі та методи машинного навчання. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ КАДРІВ ГІМНАСТИЧНИХ ПОЗ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЖЕВОЙ АРХІТЕКТУРИ CONV LSTM

Нескородєва А. Р.¹, Федоров Є. Є.¹, Нескородєва Т. В.²

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна
Уманський національний університет, Умань, Україна

Сучасний розвиток методів штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизованого аналізу відеоінформації. Одним із актуальних напрямів є розпізнавання рухів та поз людини, що знаходить застосування у спорті, медицині, системах моніторингу активності. Особливий інтерес становить класифікація послідовностей кадрів гімнастичних елементів, адже це вид спорту, який поєднує елементи танцю, акробатики та фізичної підготовки, створюючи унікальне поєднання сили, гнучкості та грації.

Для формування власного набору даних було використано відеозаписи фінального етапу змагань з художньої гімнастики на XXXII Олімпійських іграх 2021 року в Токіо[1]. Покадровий аналіз здійснювався у програмі Vegas PRO[2], що дозволило з високою точністю виокремити фрагменти виконання елементів. Для створення набору даних було обрано наступні чотири види оцінюваних елементів, зображені на рисунку 1, які затверджені правилами міжнародної федерації гімнастики та дозволені для виконання: клас 1 - поворот в положенні шпагат без використання рук, з горизонтальним розташуванням тулуба; клас 2 - поворот в положенні шпагат з використанням рук, з вертикальним розташуванням тулуба; клас 3 - елемент рівноваги в положенні шпагат без використання рук, з горизонтальним розташуванням тулуба; клас 4 - стрибок з обертом в положенні шпагат без використання рук, з горизонтальним розташуванням тулуба.

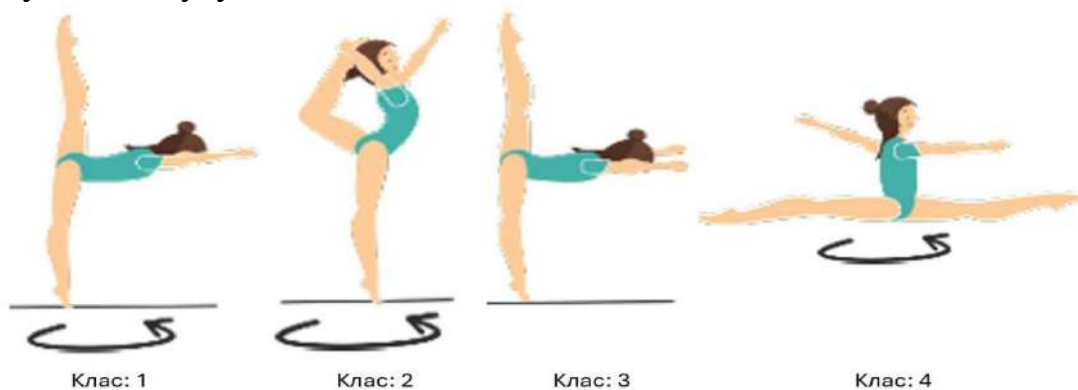


Рисунок 1 - Схематичне зображення положення тіла при виконанні елемента кожного класу.

Отриманий набір даних RG Elements містить 240 прикладів чотирьох видів гімнастичних елементів, виконаних десятьма різними спортсменками з використанням різних снарядів (стрічка, обруч, м'яч, булави). Така структура забезпечила різноманіття та варіативність рухів, що є важливою умовою для навчання моделей машинного навчання.

Архітектура моделі побудована із використанням бібліотеки Keras та включає повторювані шари ConvLSTM2D із зростаючою кількістю фільтрів (4, 8, 14, 16), шари MaxPooling3D для зменшення розмірності та Dropout для регуляризації. На виході застосовано щільний шар із функцією активації softmax для багатокласової класифікації. Загальна кількість параметрів моделі становить близько 127 тис. Навчання моделі подібного розміру використовуючи ресурси TPU Google Colaboratory займає близько 15 хвилин.

Модель навчалася протягом 25 епох із використанням оптимізатора Adam, функції втрат категоріальної крос-ентропії та механізму ранньої зупинки. Для навчання застосовувалася вибірка послідовностей кадрів довжиною 30 із просторовим розміром 126×126 пікселів. Розподіл даних: 75% — тренувальна, 25% — валідаційна вибірка.

На тренувальній вибірці модель досягла точності 96,5%, однак після 23-ї епохи спостерігалось перенавчання. Найкращий результат на валідаційній вибірці становив 70,4% при мінімальних втратах 0,8034. На незалежному тестовому наборі даних точність моделі склала 75,6%, що підтверджує її здатність до узагальнення. На рисунку 2 представлено графіки залежності точності та втрат протягом процесу навчання побудованої моделі на тренувальному та валідаційному наборах даних моделі ConvLSTM.

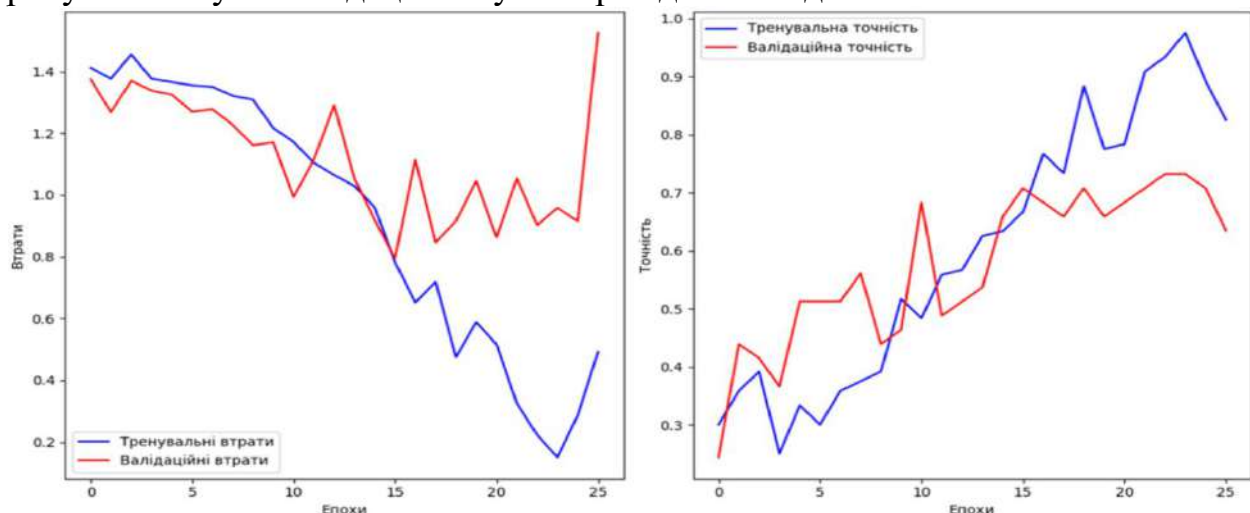


Рисунок 2 Залежність втрат та точності від кількості ітерацій моделі ConvLSTM.

Отримані результати демонструють ефективність архітектури ConvLSTM для задачі класифікації спортивних рухів за послідовностями кадрів. Подальші напрями дослідження пов'язані з оптимізацією гіперпараметрів, розширенням навчальної вибірки та використанням гібридних моделей (наприклад, поєднання CNN+LSTM з трансформерами) для підвищення точності.

Список літературних джерел

1. Olympics: FULL Rhythmic Gymnastics Individual All Around Final at Tokyo 2020. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v6ZuroWdLTs> (дата звернення: 30.09.2025).
2. Neskorodieva A. Classification of rhythmic gymnastics sport elements by video. Automation of Technological and Business Processes. 2024. 16(2), P. 103-112. URL: <https://doi.org/10.15673/atbp.v16i2.2845>

ЗАДАЧА ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ТРИДОЛЬНОМУ ГРАФІ З НЕЧІТКИМИ ВЕРШИНАМИ

Ощепков Є.С., Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Задачі розподілу ресурсів та оптимізації призначень є невід’ємною складовою процесів прийняття рішень. Класична задача про призначення традиційно моделюється на дводольних графах, але в реальних умовах часто виникає необхідність враховувати взаємодію трьох та більше категорій об’єктів одночасно. Це вимагає застосування більш складних тридольних (або багатодольних) графів.

При моделюванні подібних систем інформація про ефективність взаємодії об’єктів (сумісність, надійність) зазвичай має нечіткий та неоднозначний характер. Оскільки детерміновані моделі ігнорують цю невизначеність, що часто призводить до неоптимальних рішень, для адекватного врахування суб’єктивності та розмитості критеріїв доцільно застосовувати теорію нечітких множин.

Розглянемо орієнтований зважений тридольний граф [1] $G = (V, E)$ (рис. 1), множина вершин V якого розпадається на три попарно непересічні долі: $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3$. Вершини V_1, V_2, V_3 представляють три непересічні множини об’єктів (наприклад, персонал, техніку та завдання).

Кожна дуга $(u, v) \in E$ має вагу, яка визначається як ступінь істинності [2], [3] нечіткого висловлювання про надійність виконання відповідної вимоги (наприклад, «об’єкт u спрацюється з об’єктом v »). Ваги дуг знаходяться в діапазоні $[0,1]$.

Тривершинний ансамбль – це шлях, що складається з двох дуг і містить три різні вершини, по одній з кожної долі графа: (w_i^1, w_j^2, w_k^3) . Вага ансамблю визначається як мінімальна зі ступенів істинності його дуг. Тривершинним зіставленням P назвемо таку множину ансамблів, що будь-які два різні ансамблі з P не є суміжними, тобто не мають спільних вершин.

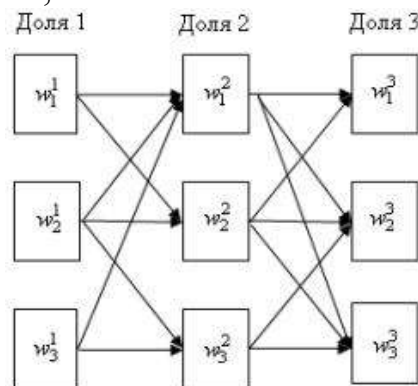


Рисунок 1 – Тридольний граф G

Задача полягає у формуванні такого поєднання груп, щоб були виконані дві вимоги. По-перше, цей набір повинен містити максимально можливу

кількість груп (тобто потужність), причому жоден об'єкт не може бути використаний двічі. По-друге, із усіх можливих наборів максимальної кількості необхідно вибрати той, що має найвищу загальну надійність. Загальна надійність всього набору, у свою чергу, вимірюється найменшою надійністю серед усіх груп, які до нього входять. Фактично, ми шукаємо найбільше число найбільш надійних команд, які можна сформувати.

Для вирішення цієї задачі використовується підхід, заснований на теорії максимального потоку у транспортних мережах. Процес розв'язку передбачає трансформацію вихідного тридольного графа у спеціальну допоміжну транспортну мережу. Завдяки цій трансформації, максимально можлива потужність поєднання безпосередньо відповідає максимальному потоку, що може пройти через цю мережу. Для визначення найбільш надійного набору серед усіх варіантів максимальної кількості застосовується ітеративний підхід: ми послідовно виключаємо з розгляду ті зв'язки з низькою надійністю, які не впливають на максимальну кількість груп, зберігаючи при цьому максимальний потік. Цей пошук продовжується, доки подальше відсіювання низьконадійних зв'язків не призведе до зменшення загальної кількості сформованих груп. Набір, знайдений безпосередньо перед цим зменшенням, і є оптимальним розв'язком, що поєднує максимальну потужність та найбільший рівень надійності.

Прикладом такої задачі може бути задача комплектування автономних рятувальних модулів для екстрених ситуацій. Необхідно сформувати рятувальні команди для дій у надзвичайних ситуаціях. Кожна команда складається з трьох елементів:

- V_1 – спеціалісти-рятувальники, що мають різні рівні підготовки;
- V_2 – автономні транспортні модулі, що можуть мати різні можливості;
- V_3 – комплекти обладнання, необхідні для операцій.

Кожен рятувальник має нечітко визначений рівень підготовки. Транспортні модулі змінюють характеристики залежно від прохідності, витрат пального та погодних умов, а комплекти обладнання оцінюються за нечіткими критеріями надійності й ефективності.

Запропонований підхід може забезпечити ефективний інструментарій для розв'язання складних завдань оптимального призначення ресурсів в умовах невизначеності. А застосування нечітких ваг дозволяє коректно моделювати ступінь надійності взаємодії об'єктів.

Список використаних джерел

1. Флегонтов, А. В., Вилков, В. Б., Черных, А. К. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных. Лань, 2020. 329 с.
2. Solving Fuzzy Assignment Problems via Ranking Methods: A Comprehensive Approach / S. Kumar, S. K. Suman, D. K. Sah [et al.]. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 2025. Vol. 12, № 3. P. 877–889.
3. Матвієнко О. І., Закутній С. В. Нечітка логіка в задачах визначення економічних параметрів виконання проєктів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2024. № 1 (27). С. 96-108.

ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МЕНЕДЖЕРІВ ПАРОЛІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ПІДКАЗОК ТА ВІДОКРЕМЛЕНОГО ЇХ ШИФРУВАННЯ

Пасічник А.М.¹, Пасічник В.А.²

¹Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

²Компанія програмного забезпечення і цифрової трансформації Luxoft, Лондон, Англія

Корпоративні телекомунікаційні мережі (КТМ) є одним із основних елементів створення ефективних систем управління підприємствами та організаціями, а відповідно удосконалення моделей безпеки таких мереж має надзвичайно важливе значення [1]. Одним із важливих елементів безпеки КТМ є менеджери паролів які використовуючи централізовані сховища та функції автозаповнення забезпечують безпечно зберігання паролів, автозаповнення та синхронізацію між пристроями. Але більшість менеджерів паролів застосовують алгоритм глобального розблокування за яким після введення головного пароля всі облікові дані стають доступними в оперативній пам'яті без умови введення додаткових підтверджень для перегляду окремих записів. Застосування такої моделі має суттєві ризики [2] пов'язані із надмірною експозицією даних після розблокування сховища, оскільки введення головного пароля відкриває доступ до всіх збережених облікових даних, що суперечить принципу найменшого необхідного доступу (*least privilege*). У випадку отримання зловмисником доступу до сховища, він отримує повну карту цифрової ідентичності користувача.

Для вирішення вказаної проблеми в даній роботі запропоновано застосувати модифікований алгоритм відокремленого шифрування кожного паролю із використанням підказки (*hint keys*) – короткої фрази, визначеної користувачем (наприклад: *work-time*, *@sys-adam5*, *kafe-night*), який забезпечує:

- Ізольоване шифрування: кожен запис має власний ключ, похідний від підказки.

- Дешифрування на вимогу: доступ до паролю можливий лише після введення відповідної підказки.

- Відсутність глобального розблокування: навіть при розблокуванні основного сховища всі паролі залишаються зашифрованими.

- Контекстна прив'язка: користувачі можуть використовувати різні підказки для різних категорій (робота, особисте, фінанси).

За таким алгоритмом кожен запис автентифікації зберігається у форматі:

```
{
  "id": "entry_12345",
  "encryptedPassword": "base64-encoded string",
  "salt": "randomSaltValue",
  "metadata": {
    "username": "...",
    "hintLength": 8,
    "creationTime": "..."
  }
}
```

Для проведення розшифрування необхідно надати:

- ідентичну підказку;
- основний ключ сховища (лише для шифрування метаданих).

Послідовність операцій реалізації алгоритму дешифрування:

- користувач вибирає запис;
- система запитує підказку;
- на основі підказки через KDF генерується відповідний ключ.

Пароль дешифрується та очищається з пам'яті після використання.

Застосування запропонованого алгоритму реалізації менеджерів паролів корпоративних телекомунікаційних мереж підвищеного рівня безпеки дозволить отримати такі переваги:

- ізоляція: один зламаний запис не дає доступу до інших;
- немає масового доступу: навіть при частковому зламі дані недоступні без участі користувача;
- активна участь користувача: робить неможливим приховане зчитування паролів;
- індивідуальний рівень безпеки: користувачі можуть застосовувати більш складні підказки для важливих облікових записів.

Зазначимо також, що застосування запропонованого підходу має такі особливості:

- додаткові дії користувача: потребує введення підказки кожного разу;
- складність відновлення: у разі втрати підказки запис може бути втрачено;
- несумісність із автозаповненням.

Запропоновані рішення для покращення безпеки корпоративних телекомунікаційних мереж з урахуванням сучасних викликів дають змогу зменшити потенційні вразливості системи та запобігти можливим інформаційним втратам. Реалізація запропонованого підходу дозволить значно підвищити рівень безпеки, ізолюючи кожен обліковий запис і вимагаючи інтерактивної участі користувача для доступу до нього. Запропонована архітектура з підказками та окремим шифруванням кожного запису практично унеможливує несанкціонований доступ до інформації мережі та зменшує наслідки можливого зламу. Таким чином, менеджери паролів мають еволюціонувати – від централізованого сховища до моделі з поетапним доступом та контекстною авторизацією.

Список літературних джерел

1. М. В. Болдуєв, О. В. Болдуєва, О. Г. Лищенко. Сучасні підходи до забезпечення надійності та безпеки інформації в корпоративних телекомунікаційних системах. *Агросвіт*, 2024, №13. С.40-47. DOI: 10.32702/2306-6792.2024.13.40
2. Цуркан В., Шаповал О. Аналіз методів оцінювання ризику безпеки комп'ютерних мереж. *Information Technology and Security*. 2022. Вип. 10(2). С. 204–215.

ПРОГНОЗУВАННЯ КРИЗОВИХ ПОДІЙ НА ФОНДОВОМУ РИНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТИВНО-ЗМАГАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Перцев Ю.О., Коротка Л. І.

Український державний університет науки і технологій ННІ УДХТУ, Дніпро, Україна

Своєчасне та точне моделювання динаміки фондових ринків для прогнозування їхньої поведінки, особливо під час криз і високої волатильності, вже роки залишається пріоритетом для науковців та практиків. Глибоке навчання виявилось перспективним інструментом для таких прогнозів, оскільки на відміну від традиційних методів машинного навчання воно здатне опрацьовувати складність фінансових даних. Однак прогнозування таких подій залишається складним завданням через їхню рідкісність, непередбачуваність та специфічні характеристики біржових даних, включаючи нелінійність, нестационарність та високу волатильність, що створює дисбаланс у навчальних даних, приклад наведений на рисунку 1.



Рисунок 1 - Динаміка цін закриття цінних паперів

Для вирішення цієї проблеми застосовують методи збагачення даних, зокрема генеративно-змагальні нейромережі (GAN). Хоча застосування GAN для прогнозування біржових цін активно досліджується, у науковій літературі все ще бракує робіт про використання цієї технології для передбачення та симуляції саме екстремальних ринкових рухів. Більшість існуючих досліджень оцінювали якість GAN лише за нормальних ринкових умов, тоді як генерація даних для екстремальних ситуацій вимагає спеціального налаштування [1].

У цьому дослідженні запропоновано методологію на основі трьох сучасних GAN-алгоритмів (VanilaGAN, TimeGAN та рекурентна умовна GAN (RCGAN)) для ефективного моделювання різких коливань акцій та створення синтетичних прикладів, що покращують прогнозування під час екстремальних ринкових подій. Створюючи реалістичні синтетичні дані зі статистичними властивостями оригінальних даних, наш підхід імітує численні можливі сценарії розвитку ринку, що дозволяє подолати обмеження, пов'язані з недостатністю інформації про рідкісні події [2-3].

Генеративно-змагальні мережі (GAN) належать до класу алгоритмів неконтрольованого навчання та складаються з двох протидіючих систем.

Генератор G перетворює випадковий шум z з гауссівського розподілу на зразки, схожі на реальні дані x , тоді як дискримінатор D розрізняє справжні та згенеровані дані. Обидві системи навчаються одночасно у форматі гри з нульовою сумою згідно з функцією корисності $V(G,D)$:

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim P_{data}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log (1 - D(G(z)))], \quad (1)$$

де $D(x)$ - ймовірність, яку дискримінатор приписує реальним прикладам; $D(G(z))$ - ймовірність, що штучний приклад є справжнім; E - очікуване значення [4].

Навчання GAN є складним процесом через можливі проблеми зникаючих градієнтів або колапсу режимів, що може призвести до відсутності збіжності. У нашому дослідженні особливу увагу приділено рекурентній умовній GAN (RCGAN) - варіанту для генерації часових рядів, у якому і генератор, і дискримінатор побудовані на основі LSTM-мереж з додатковою умовною інформацією, що забезпечує стабільніше навчання.

Методологію перевірено на даних індексу S&P 500 та п'яти найбільш популярних компаній, а саме Apple, Google, Microsoft, Tesla та Amazon. Після збагачення навчального набору синтетичними даними використовувалася LSTM-модель для прогнозування майбутніх ринкових змін.

Для оцінки якості прогнозування використовувалися три метрики: середня абсолютна похибка (MAE), середньоквадратична похибка (RMSE) та коефіцієнт детермінації (R^2). Вони обчислювалися за відомими формулами:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|, \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}, \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

де n – загальна кількість вибірок, y_i – фактичні значення, \hat{y}_i – передбачені значення, \bar{y} – середнє фактичних значень тестової вибірки [5].

Результати розрахунку якості прогнозування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати чисельних експериментів

Модель	MAE	RMSE	R^2
VanilaGAN	4,72	5,24	0,73
TimeGAN	4,56	5,71	0,81
RCGAN	4,37	6,15	0,89

Достовірність та прогностичну цінність згенерованих даних перевірили за допомогою кількісних та якісних показників. Результати експериментів на даних індексу S&P 500 та п'яти компаній, показують, що запропонована

методологія здатна генерувати реалістичні часові ряди, відтворюючи важливі властивості справжніх даних. Результати роботи свідчать, що сучасні архітектури GAN можуть ефективно відображати закономірності екстремальних біржових коливань. Цей висновок має важливе практичне значення для науковців, інвесторів, трейдерів та корпорацій, які прагнуть передбачати майбутні тенденції своїх фінансових активів. Розроблену методологію можна використовувати як інструмент симуляції для імітації поведінки фондового ринку.

Список літературних джерел

1. С.В.Ткаліченко. (2023) Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Державний університет економіки і технологій, 2023. –150 с.
2. Перцев, Ю. О., Коротка, Л. І. (2025). Порівняльний аналіз традиційних статистичних методів та нейромережевої моделі LSTM. Системні технології, №1(156), 65–77.
3. Перцев, Ю. О., Коротка, Л. І. (2025). Аналіз та адаптація генеративно-змагальних мереж до фінансових ринків. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (2), 122–134. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.14>
4. І.А. Терейковський, Д.А. Бушуєв, Л.О. Терейковська. (2022) Штучні нейронні мережі : базові положення. Навчальний посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –123 с
5. Субботін С. О. (2020) Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗ ДАНИХ**Резніченко О.В., Ляшенко О.А.**

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Кількість інформації в сучасному світі постійно збільшується, причому це зростання відбувається майже експоненційно, обсяги даних вимірюються зетабайтами. Раніше збільшення потужності інформаційної системи відбувалося шляхом вертикального масштабування, тобто додаванням більшої кількості накопичувачів, оперативної пам'яті та швидших процесорів. Але неможливо безкінечно збільшувати потужність будь-якого сервера, оскільки це буде нести величезні технічні труднощі. Це зумовило необхідність зберігання та обробки даних на декількох сховищах (горизонтальне масштабування), тобто призвело до створення розподілених систем.

Тому зараз розподілені системи (рис. 1) дуже поширені. Існує багато їх видів, основною ознакою виступає незалежне просторове розташування апаратного (серверів та мережевого обладнання) і програмного забезпечення, об'єднаного в єдину систему.

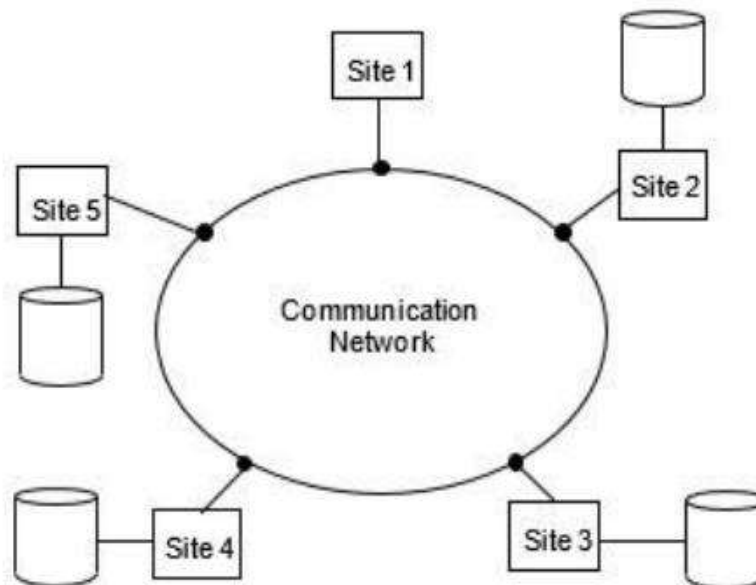


Рисунок 1 - Розподілена база даних [1]

Розподіленою системою може бути база даних моніторингу довкілля (рис. 2) [2], що містить інформацію про атмосферу, гідросферу і літосферу, отриману з мережі різноманітних пунктів спостереження довкілля. Причому джерела отримання даних змінюються від автоматичних стаціонарних станцій до ручного відбору проб людиною. Зібрана інформація завантажується, зберігається та обробляється на локальних серверах. Потім вже ці вузли автоматично поєднуються в єдину систему [2].

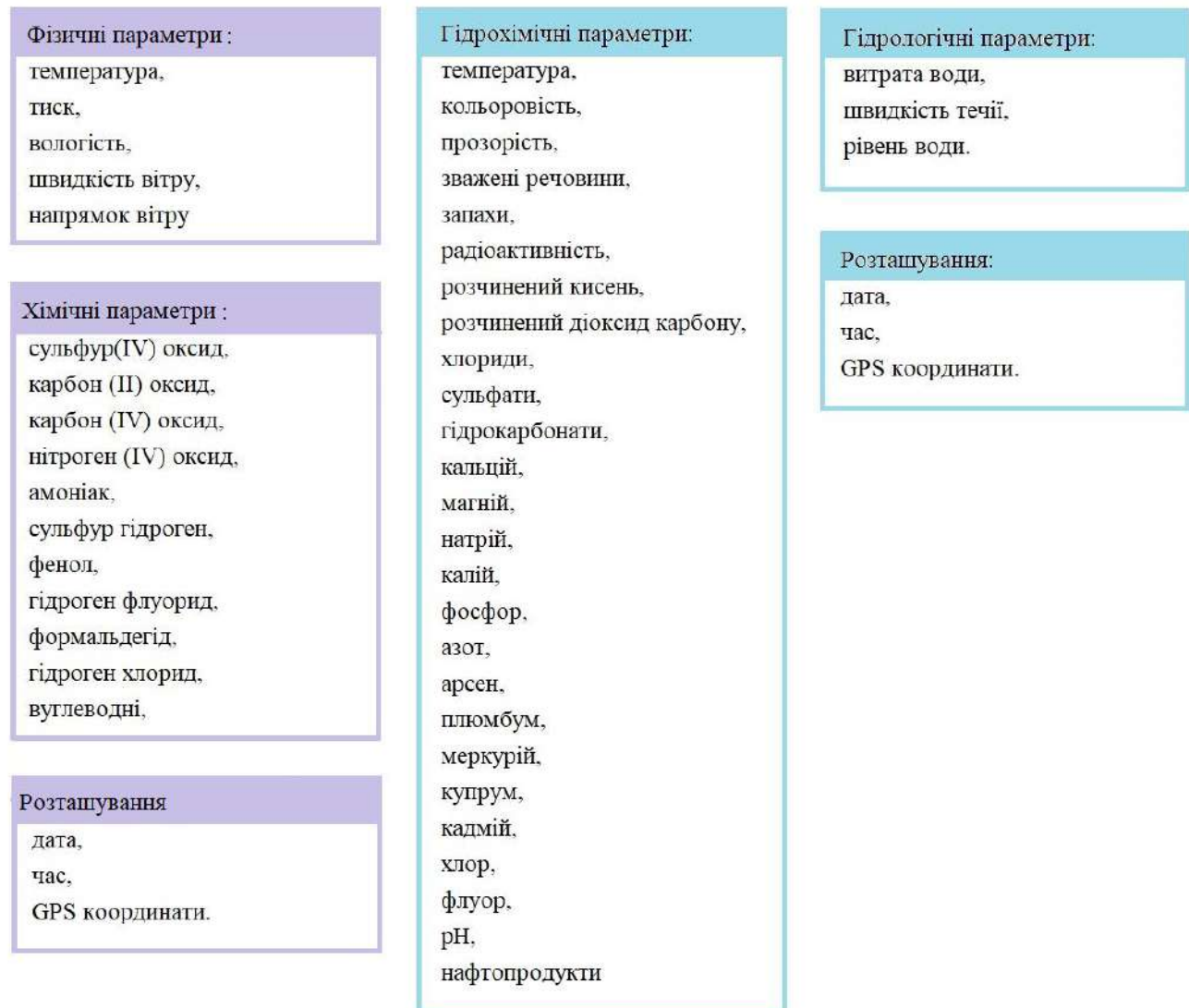


Рисунок 2 – База даних моніторингу довкілля

Функціонування розподілених систем повинно підпорядковуватися декільком вимогам:

- система повинна надавати можливість легко додавати нові вузли без порушення цілісності та поточного режиму роботи;

- доступ до інформації має бути швидким та ефективним, оскільки сервери, де вона зберігається, можуть знаходитися в різних місцях земної кулі, і час доступу до них може бути досить значним, особливо якщо обробляється велика кількість документів. Для зменшення затримок оптимальним буде розміщення даних на локальних серверах у місцях, звідки частіше будуть надходити запити;

- алгоритми, які керують роботою розподіленої системи, зобов'язані враховувати всі її елементи, мати єдину логіку та носити динамічний, постійно оновлюваний характер;

- порушення роботи одного вузла системи не повинно порушувати роботу всієї системи або значної кількості вузлів. Для забезпечення відмовостійкості часто використовується механізм реплікації даних;

– забезпечення безпеки повинно охоплювати всі елементи системи, процеси користування та управління нею. Для цього відбувається використання контролю доступу до системи шляхом аутентифікації та авторизації, призначення ролей, шифрування даних, постійний моніторинг та аудит системи [3, 4].

До недавнього часу більш поширеними були реляційні бази даних, однак їхні елементи часто жорстко пов'язані в єдину систему, що, як правило, проектується «зверху вниз», тому масштабування несе у собі додаткові складнощі.

Тому це, а також необхідність збереження різноманітної інформації в єдиній системі, стимулює використання нереляційних баз даних у якості розподілених баз даних [5].

Список літературних джерел

1. Aswal, S. Distributed Database Systems for Large-Scale Data Management [Electronic resource] // Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry. – 2020. Volume 11(4). – 2260-2269. DOI: <https://doi.org/10.52783/tojqi.v11i4.10020>
2. Резніченко, О.В. Дослідження моделей баз даних для зберігання big data у сфері моніторингу довкілля / О.В. Резніченко, О.А. Ляшенко, В.В. Архипова // Системні технології. – 2024, № 6 (155). – С. 185-195. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-155-2024-18>
3. Краснощок, В.М. Перспективи розвитку розподілених баз даних в Україні / В.М. Краснощок, Я. І. Шестак // Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві : збірник тез VI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 30 вересня 2022 р.). – Київ. – С. 133-137. https://www.researchgate.net/publication/391063425_Perspektivi_rozvitku_rozpodilene_nih_baz_danih_v_Ukraini
4. Tanenbaum A.S., Steen M. Distributed systems. Principles and paradigms. Amsterdam (Netherlands): Pearson Education inc, 2007. – 705 p.
5. Резніченко, О.В. Вибір між реляційними та нереляційними базами даних / О.В. Резніченко, О.А. Ляшенко, В.В. Архипова // Технічні науки та технології. – 2024, № 3 (37). – С. 162–169. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-162-169](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-162-169)

РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТОВОЇ МОВИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ**Семенов В.В., Солодка Н.О.**

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Забезпечення доступності відеокомунікацій для людей із порушеннями слуху передбачає автоматизацію інтерпретації жестової мови. Ключовим компонентом такої системи є модуль який здатний у реальному часі розпізнавати жести рук і перетворювати їх у текстову форму або інтерпретувати у певну дію. У сучасних рішеннях широко застосовується бібліотека MediaPipe Hands, яка забезпечує виділення ключових точок руки з RGB-кадру [1]. Рішення MediaPipe Hands побудоване за двоетапною схемою: спочатку виконується виявлення долоні (palm detection), далі – визначення ключових точок руки (hand landmark) у межах знайденої області [1].

Пальмовий детектор (Palm Detector). На вхід подається повне зображення, і модель виявляє орієнтований прямокутник, у якому ймовірно міститься рука. Для підвищення швидкодії використовується зменшена кількість анкерів і алгоритм non-maximum suppression (NMS) для відсіювання зайвих кандидатів [2]. Ця модель базується на легковажній архітектурі BlazePalm, побудованій на принципах глибинних згорткових нейронних мереж (Depthwise Separable Convolutions), що забезпечує обробку в реальному часі навіть на мобільних пристроях.

Модель ключових точок (Hand Landmark). На вхід цього етапу подається обрізаний фрагмент з попереднього детектора. Модель побудована на базі згорткової нейронної мережі, яка виконує регресію координат 21 ключової точки руки. Кожна точка характеризується трьома координатами x, y, z : перші дві нормалізовані до розмірів кадру, а третя — визначає відносну глибину (відстань від площини долоні до зап'ястка) [1, 2].

Вихід моделі – це не просто класи міток, а вектор числових значень, що описує просторове положення кожного суглоба. На відміну від методів класифікації, які визначають тип об'єкта, модель MediaPipe Hands застосовує регресійний підхід, що дозволяє точно визначити координати навіть при частковому перекритті пальців.

Для підвищення точності передбачення використовується спеціальна процедура після обробки. Вона включає:

- перетворення координат із зображення долоні у координати повного кадру;
- експоненціальне згладжування послідовних кадрів, що зменшує «тремтіння» точок під час руху;
- фільтрацію за достовірністю, яка дозволяє відкидати нестабільні результати при поганому освітленні або швидкому русі.

Отримані координати формують тривимірну модель руки, яка описує положення пальців та їх розташування. Кожна точка має свій індекс від 0 до 20: 0 – зап'ясток, 4, 8, 12, 16, 20 – кінчики пальців.

Подальша обробка даних включає нормалізацію відносно зап'ястка щоб зробити систему інваріантною до положення руки у кадрі (1):

$$(x_i - x_{wrist}, y_i - y_{wrist}), \quad (1)$$

Потім набір координат передається в класифікаційний модуль, який аналізує просторові відносини між точками та визначає відповідний жест.

Після визначення координат ключових точок виконується класифікація жесту, який саме символ або рух демонструє користувач. Для цього застосовується модель машинного навчання, що аналізує просторові співвідношення між landmark-точками.

Виконання обчислення векторів між точками та кутів згину суглобів, які формують набір ознак (feature vector). Ці ознаки подаються до алгоритму класифікації, що може бути реалізований на базі нейронної мережі, K-ближчих сусідів (KNN) або логістичної регресії.

У випадку жестової мови ASL класифікатор навчається на наборі прикладів, де кожна конфігурація landmark-координат відповідає певній літері. Після навчання система здатна в реальному часі розпізнавати жести користувача, перетворюючи рухи рук у текст чи команди інтерфейсу.

MediaPipe Hands забезпечує високу швидкість роботи – близько 30–90 кадрів за секунду – і може функціонувати без спеціального графічного обладнання. У практичних реалізаціях часто використовується зв'язка OpenCV для зчитування відеопотоку, попередньої обробки кадрів і візуалізації ключових точок, тоді як обчислення координат і класифікація виконуються за допомогою MediaPipe.

Подальший розвиток подібних систем може бути спрямований на інтеграцію з глибинними сенсорами, використання більш стійких моделей до перекриття пальців, а також на створення універсальних інтерфейсів, що забезпечують повноцінну комунікацію для користувачів із вадами слуху та мовлення.

Крім того, впровадження таких технологій має значний соціальний ефект, оскільки сприяє інклюзивності цифрового середовища та розширює можливості спілкування для людей з обмеженими можливостями. Розвиток систем розпізнавання жестів відкриває перспективи не лише в галузі освіти та медицини, але й у сфері розумних інтерфейсів, дистанційного керування та робототехніки. Таким чином, технології на основі MediaPipe демонструють практичну цінність і потенціал для подальших наукових досліджень у напрямі комп'ютерного зору та штучного інтелекту.

Список літературних джерел

1. MediaPipe Hand: On-device Real-time Hand Tracking URL: <https://arxiv.org/abs/2006.10214>
2. MediaPipe Hand landmarks URL: https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker

ІОТ-СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ НА ОСНОВІ LORAWAN ДЛЯ ПОТРЕБ ПОВОЄННОГО АГРОВІДНОВЛЕННЯ

Сергєєва К.Л., Бешта Л.В., Біліба Б.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Вступ

Після руйнування Каховської ГЕС та зникнення водосховища південь України зіткнувся з деградацією зрошувальних систем і дефіцитом води, що загрожує аграрному сектору – основі післявоєнного відновлення економіки. Для раціонального використання водних ресурсів потрібні сучасні технології моніторингу вологості ґрунтів. Перспективним напрямом є Інтернет речей (ІоТ), який забезпечує автоматизований збір і аналіз даних у реальному часі. Технології LPWAN та LoRaWAN дають змогу створювати енергоефективні сенсорні мережі на великих площах.

Основний матеріал

Моніторинг вологості ґрунтів традиційними методами є трудомістким і малоєфективним. Автоматизовані сенсорні системи дають змогу щоденно отримувати точні дані про вологість на різних глибинах і своєчасно реагувати на зміни умов. Створення ІоТ-мережі сенсорів забезпечує збір інформації з великих площ, інтеграцію з автоматичними системами поливу та оптимізацію використання водних ресурсів, що особливо важливо для посушливих регіонів півдня України [1].

Метою дослідження є розроблення архітектури ІоТ-мережі сенсорів моніторингу вологості ґрунтів для підтримки прийняття рішень у системах зрошення в умовах післявоєнного відновлення. Для наземних вимірювань використовуються сенсори типу Teros 12, HydraProbe, CS616, Acclima TDR-310H, які фіксують вологість, температуру й електропровідність ґрунту [2].

Особливе значення має вибір технології передавання даних. Для умов півдня України доцільним є використання технології LoRaWAN, що належить до класу LPWAN і забезпечує велику дальність передачі сигналу (до 20 км).

Проектування ІоТ-системи моніторингу вологості ґрунтів передбачає вибір архітектури, що поєднує енергоефективність, безпеку, масштабованість та зручність адміністрування. У запропонованій моделі використано хмарно-орієнтований підхід із застосуванням технології LoRaWAN для передачі даних від польових сенсорів до шлюзу Sentrius RG191 Gateway, який виконує роль посередника між пристроями та хмарною платформою Microsoft Azure ІоТ. Такий дизайн забезпечує стабільний обмін даними, підтримує шифрування, автентифікацію пристроїв і розподіл обчислювального навантаження між сенсорами та хмарними сервісами [3].

Архітектура системи складається з двох частин: мережі LoRaWAN, що охоплює польові сенсори, і глобальної бездротової мережі (WAN), через яку дані передаються до хмарного середовища Azure. На платформі реалізовано основні модулі: ІоТ Hub для управління пристроями, Stream Analytics для обробки даних у реальному часі, Blob Storage для збереження великих обсягів інформації, Machine Learning для побудови прогнозних моделей та Power BI

для візуалізації результатів. Такий дизайн дозволяє забезпечити безперервний моніторинг вологості, автоматичну аналітику та інтеграцію із системами управління зрошенням.

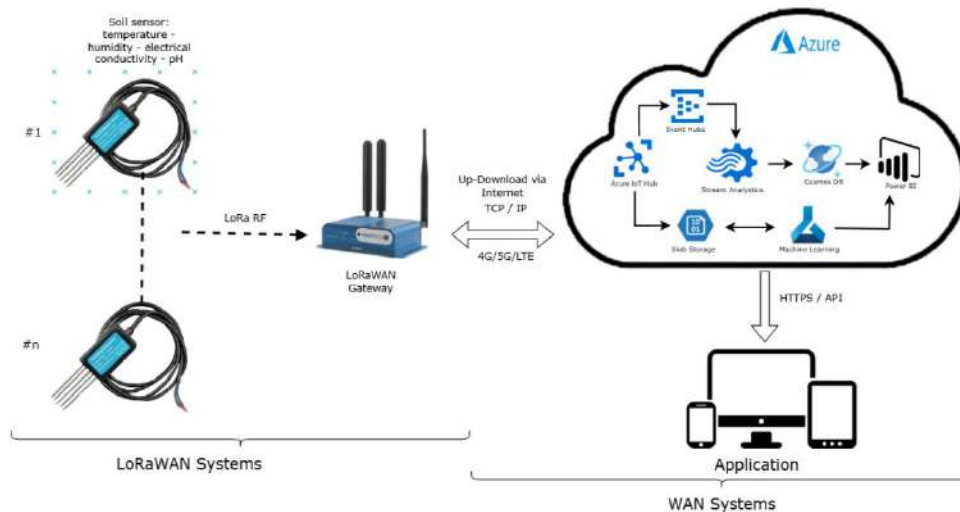


Рисунок 1 – Пропонована схема мережі

Висновки

Впровадження IoT-мережі моніторингу вологості ґрунтів на основі LoRaWAN є стратегічним напрямом відновлення аграрного сектору півдня України. Система малопотужних сенсорів (*TDT Soil Moisture Sensor SDI-12*) з використанням технологій LoRaWAN, LTE/5G та хмарних сервісів Microsoft Azure IoT Platform забезпечує збір, обробку й аналітику даних у режимі реального часу. Її інтеграція з системами зрошення сприятиме ефективному використанню води та розвитку розумного землеробства. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення AI/ML-моделей і підвищення енергоефективності сенсорів.

Список літературних джерел

- Cherches I. A., Gaspar F., Danci I. A. Designing and calibration of a low-cost multi-point soil moisture monitoring system for precision agriculture // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 72, №1. P. 245–254. <https://doi.org/10.35633/inmateh-72-23>
- Fragkos A., Loukatos D., Kargas G., Symeonaki E., Arvanitis K. G. Assessment of the TEROS 10 and TEROS 12 sensors in soil moisture measurement // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 551. 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455103005>
- Hnatushenko V., Shuleshko V., Bulana T., Molodets B. Information system to enhance agricultural production efficiency based on sustainable development principles // *AdvAIT-2024: 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies*, December 5, 2024, Khmelnytskyi, Ukraine – Zilina, Slovakia. Режим доступу: <https://ceur-ws.org/Vol-3899/paper2.pdf>

ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ЯКІСНОГО ДАТАСЕТУ ДЛЯ ДОНАВЧАННЯ БАГАТОМОВНОЇ МОДЕЛІ XLM-ROBERTA

Солодка Н.О., Івасенко П.Ю.

Український державний університет науки і технологій

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

У процесі створення датасету для донавчання багатомовної моделі XLM-RoBERTa може виникнути низка практичних проблем, пов'язаних із якістю, репрезентативністю та різномірністю даних. Для досягнення цієї мети потрібен якісний, збалансований і реалістичний набір текстових даних. Формування зазначеного датасету було необхідним для розв'язання завдання автоматичної класифікації текстів оголошень за категоріями, що є важливим етапом у розробці системи автоматичної модерації контенту на торговельних онлайн-платформах. Модель мала навчитися розпізнавати тематику оголошень, незалежно від мови, стилю чи особливостей написання користувачів. Однією з перших труднощів є нерівномірність розподілу даних між категоріями. Частина категорій мала тисячі оголошень, тоді як інші - лише по кілька десятків. Така диспропорція негативно впливає на збалансованість навчального набору, через що модель може схилитися до переважно представлених класів. Для мінімізації цього ефекту було прийнято рішення обрати мінімальну кількість прикладів для кожної категорії (до 250 оголошень). Другою важливою проблемою стала автентичність джерела даних. Теоретично датасет можна було сформувати шляхом генерації синтетичних прикладів за допомогою моделей на кшталт GPT чи Gemini, проте такі тексти не відображали б реальну структуру й стиль чи настрій оголошень розміщених реальними користувачами. Синтетичні дані створюють «шум» у навчальному наборі й можуть викликати небажану поведінку моделі. Тому було обрано шлях автоматизованого збору реальних даних через власноруч створений парсер сайту OLX, за допомогою чого з'явилися можливість отримати тексти, написані реальними користувачами. Третя проблема – низька точність категоризації на платформі OLX. Під час перших спроб парсингу виявилось, що частина оголошень у категорії не відповідає її тематиці. Для підвищення точності відбору було реалізовано механізм перевірки кожного запису за допомогою варіацій ключових слів – різних форм, словосполучень та орфографічних варіантів пошукових запитів. Такі словникові варіації допомогли здійснити ефективну фільтрацію нерелевантних результатів перед додаванням їх до датасету. Ще однією задачею було очищення та нормалізація текстів перед передачею їх у модель. Для очищення текстів використовувалися спеціальні фільтри та стоп-списки, що допомогло позбутися частини зайвої інформації (контактів, повторів, HTML-тегів) і зосередитись на змістовних частинах тексту. У результаті проведеної роботи вдалося побудувати структурований, очищений і збалансований датасет, який забезпечує якісну основу для донавчання моделі XLM-RoBERTa у завданні класифікації текстів за категоріями. Вирішення зазначених проблем підвищило точність моделі та зменшило вплив шуму, зробивши модель придатною для практичного застосування у системі автоматичної модерації контенту на багатомовних онлайн-платформах.

ІМПУЛЬСНЕ КЕРУВАННЯ ВІДНОСНИМ РУХОМ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ У КОВЗНОМУ РЕЖИМІ З ВИКОРИСТАННЯМ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ

Сорочинський В.В., Хорошилов С.В.

Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ, Дніпро, Україна

Анотація. Розглянута задача керування відносним рухом космічних апаратів з використанням реактивних двигунів, які мають лише два стани – включено або вимкнено. Керування реалізовано у ковзному режимі з використанням інтелектуального агента, що налаштовує параметри закону керування з використанням навчання з підкріпленням. Визначено діапазони зміни цих параметрів при яких гарантується стійкість руху з урахуванням обмежень на амплітуду керуючих впливів.

Ключові слова: керування відносним рухом, ковзний режим, навчання з підкріпленням, стійкість руху.

Розглянуто задачу керування відносним рухом космічних апаратів за допомогою реактивних виконавчих органів із двома станами (“включено/вимкнено”). Коли роздільна здатність тяги не забезпечує якісної апроксимації лінійних законів із широтно-імпульсним модулятором тяги [1], доцільним є прямий пошук закону керування методом навчання з підкріпленням, що встановлює зв’язок між вектором стану та командами увімкнення/вимкнення двигунів [2]. Втім, “чистий” RL не гарантує стійкість під час навчання агента і вимагає тривалих експериментів. Для подолання цих обмежень запропоновано поєднання ковзного керування та інтелектуального керування: спершу обрано структуру SMC-контролера, потім за функцією Ляпунова визначено діапазони параметрів, що гарантують стійкість за обмежень амплітуди керувань, а на завершальному етапі параметри тонко налаштовано за допомогою RL. Динаміку відносного руху двох супутників подано у формі марківського процесу прийняття рішень; агент реалізовано як нейромережеву схему “виконавець-критик” з архітектурами, узгодженими з обмеженнями SMC-контролера. Чисельні результати показують, що підхід перевершує лінійний контролер із ШІМ за точністю, швидкістю та кількістю увімкнень, одночасно гарантуючи стійкість і скорочуючи час навчання.

Список літературних джерел

1. Khoroshylov S.V., Wang C. Spacecraft relative on-off control via reinforcement learning. *Space Science and Technology*. –2024. – Vol. 30, № 2 (147). – P. 3–14.
2. Khosravi A. Tuning of pulse-width pulse-frequency modulator using PSO: An engineering approach to spacecraft attitude controller design / Khosravi A., Sarhadi P. // *Automatika*. – 2016. – № 57. – P. 212–220.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОСТКВАНТОВИХ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ

Черняк О. С., Осташко І.О.

Український державний університет науки і технологій
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро, Україна

Постквантова криптографія є ключовим напрямом сучасних досліджень у галузі інформаційної безпеки, оскільки розвиток квантових комп'ютерів створює серйозну загрозу для традиційних криптосистем. Класичні алгоритми шифрування, такі як RSA, ECC та AES, засновані на задачах, які є складними для класичних комп'ютерів, але які можуть бути ефективно розв'язані за допомогою квантових алгоритмів, таких як Shor і Grover. Це робить традиційні системи шифрування уразливими та підкреслює необхідність переходу до постквантових алгоритмів, здатних забезпечити надійний захист даних у майбутньому.

Постквантові алгоритми використовують математично складні задачі, які вважаються стійкими до атак квантових комп'ютерів. Серед них найбільш відомі підходи включають решіткову криптографію, багатовимірні поліноми та кодову криптографію. Решіткова криптографія базується на складності знаходження рішень у високовимірних решітках, що робить її стійкою до квантових атак. Такі алгоритми забезпечують високий рівень безпеки і можуть бути застосовані для захисту інформації у мобільних пристроях, корпоративних системах, державних та військових структурах. Основною перевагою постквантових алгоритмів є їхня здатність залишатися безпечними навіть у присутності потужних квантових комп'ютерів, що гарантує довгострокову надійність захисту даних.

Серед найперспективніших постквантових алгоритмів виділяють Kyber, NTRU та FrodoKEM, кожен з яких представляє різний підхід до забезпечення стійкості. Kyber є алгоритмом на основі модульних решіток (MLWE) та реалізує механізм інкапсуляції ключів (KEM), що забезпечує швидке генерування ключів, шифрування та дешифрування з компактними ключами. У тестах Kyber показав найшвидші результати серед трьох алгоритмів, а розмір ключів залишався невеликим, що робить його оптимальним для систем із обмеженими ресурсами, таких як мобільні пристрої та IoT. Крім того, Kyber пройшов відбір у рамках проекту NIST для стандартизації постквантових алгоритмів, що свідчить про його надійність та перспективність для широкого впровадження.

NTRU використовує множення поліномів у кільцевих решітках і забезпечує високу швидкодію, хоча трохи нижчу, ніж у Kyber, при середньому розмірі ключів. Цей алгоритм дозволяє стабільно генерувати ключі та виконувати операції шифрування і дешифрування навіть для великих обсягів даних, що робить його придатним для корпоративних серверних рішень і середніх обчислювальних систем. NTRU відрізняється балансом між продуктивністю та розміром ключів, що робить його універсальним вибором для практичних застосувань, де важливе поєднання швидкодії та безпеки. Його безпека базується на складності обчислень у кільцевих решітках, а алгоритм забезпечує стійкість до класичних і квантових атак.

FrodoKEM застосовує неструктуровані решітки і використовує задачу Learning With Errors (LWE), що забезпечує дуже високий рівень безпеки та

стійкість до атак, які можуть загрожувати структурованим решітковим схемам. Однак це призводить до збільшення розміру ключів і повільнішого виконання шифрування та дешифрування порівняно з Kyber і NTRU. FrodoKEM найкраще підходить для систем, де безпека має абсолютний пріоритет, таких як державні або військові застосування, де ресурсна ефективність не є критичною. Його головна перевага полягає у максимальній стійкості до квантових атак і простоті концепції, що робить його зручним для наукових та спеціалізованих впроваджень.

Порівнюючи три алгоритми, можна зробити висновок, що Kyber переважає за швидкістю та компактністю ключів, NTRU забезпечує баланс між продуктивністю та обсягом ключів, а FrodoKEM пропонує найвищий рівень стійкості до квантових атак, хоча вимагає більше обчислювальних ресурсів і пам'яті. Вибір конкретного алгоритму залежить від вимог системи: якщо критичною є продуктивність та обмежені ресурси – оптимальним є Kyber; якщо важливий баланс між швидкістю та обсягом ключів – перевага надається NTRU; а якщо пріоритетом є безпека понад усе – слід застосовувати FrodoKEM.

Для проведення дослідження алгоритми тестувалися стандартними криптографічними операціями, які включають генерацію публічних та приватних ключів, шифрування випадково згенерованих 512-бітних повідомлень та їхнє дешифрування з порівнянням з оригінальним текстом. Для кожного алгоритму виконували 400 операцій шифрування і дешифрування, вимірюючи середній час виконання, споживання пам'яті та кількість обчислювальних циклів, необхідних для успішного шифрування і дешифрування.

Перспективи розвитку постквантової криптографії включають подальшу стандартизацію алгоритмів у рамках проекту NIST, оптимізацію розміру ключів та швидкодії, а також інтеграцію в існуючі протоколи безпеки, такі як TLS, VPN та цифрові підписи. Дослідження також зосереджені на створенні ефективних комбінацій алгоритмів для різних платформ і застосувань, що дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та сумісність з сучасною інфраструктурою. Постквантова криптографія є ключовою складовою майбутньої інформаційної безпеки та основою для надійної цифрової інфраструктури в умовах епохи квантових обчислень.

Список літературних джерел

1. Ünsal, S. (2025). *A Comparative Performance Evaluation of Kyber, sntrup761, and FrodoKEM for Post-Quantum Cryptography*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2508.10023>
2. Alagic, G., Apon, D., Cooper, D., Dang, Q., Dang, T., Kelsey, J., Lichtinger, J., Liu, Y.-K., Miller, C., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R., Robinson, A., & Smith-Tone, D. (2022). *Status Report on the Third Round of the NIST Post-Quantum Cryptography Standardization Process*. NIST Interagency or Internal Report (IR) 8413. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8413>
3. Cherkaoui Dekkaki, K. (2024). *Exploring Post-Quantum Cryptography: Review and Future Directions*. MDPI. <https://www.mdpi.com/2227-7080/12/12/241>
4. Wang, X. (2023). *Lattice-Based Cryptography: A Survey*. Springer. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11401-023-0053-6>
5. Kumar, M. (2022). *Post-quantum cryptography Algorithm's standardization process: A global effort*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005622000777>

ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ З ІНТЕГРАЛЬНОГО ЧИСЛЕННЯ У ДИСТАНЦІЙНОМУ ФОРМАТІ

Шаповалов К.І.

Український державний університет науки і технологій, ННІ УДХТУ, Дніпро, Україна

Вступ. У сучасних умовах дистанційного навчання традиційні системи контролю знань з математичних дисциплін, зокрема інтегрального числення, часто базуються на статичних базах завдань, що обмежує варіативність і персоналізацію. Пропонується новий підхід до проектування інтелектуальних систем, де завдання генеруються динамічно за правилами з використанням випадкових чисел, а відповіді оцінюються за аналітичними формулами первісних функцій.

Основний матеріал. Система реалізується як веб-додаток з універсальним доступом, без статичної бази, з використанням MathJax для відображення формул. Вимоги: динамічна генерація завдань, оцінка відповідей у вигляді формул, об'єктивність незалежно від запису. Генерація завдань охоплює чотири категорії інтегралів (основні формули, підстановка, частини, квадратні тричлени) з шаблонами, де параметри (коефіцієнти, межі) обираються випадково. Генерація формул відбувається автоматично: система генерує 6–7 випадкових чисел для вибору типу ($n=1-4$), підкласу (m), коефіцієнтів та меж інтегрування $[a; b]$. Згенерована функція перевіряється на коректність (наприклад, на диференційованість), форматується в LaTeX і подається користувачеві з межами в яких вона існує та є неперивною. Алгоритм перевірки правильності розв'язання завдань у запропонованій системі базується на поєднанні аналітичного та чисельного підходів до обчислення визначеного інтеграла. Такий метод забезпечує високу точність і об'єктивність оцінювання, незалежно від форми запису первісної функції, яку подає користувач.

На першому етапі система аналітично обчислює значення інтеграла від згенерованої підінтегральної функції $f(x)$ за формулою Ньютона–Лейбніца. Для цього визначається первісна функція $F(x)$, після чого виконується обчислення різниці $F(b) - F(a)$ на заданому інтервалі інтегрування $[a; b]$. Отримане аналітичне значення приймається як еталонне. Після введення користувачем власного розв'язку система виконує чисельне обчислення інтеграла методом Сімпсона.

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left[f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,\dots}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{i=2,4,\dots}^{n-2} f(x_i) + f(x_n) \right] \quad (3)$$

Далі система порівнює аналітичне значення, знайдене за формулою Ньютона–Лейбніца, із чисельним результатом, отриманим методом Сімпсона. Якщо абсолютне відхилення між ними не перевищує встановлену похибку ε , відповідь користувача вважається правильною.

Висновки. Система забезпечує велику варіативність прикладів, унеможливує механічне запам'ятовування рішень і сприяє глибшому розумінню матеріалу. Алгоритм оцінювання базується на порівнянні математичної сутності відповідей, а не їхньої синтаксичної форми.

ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ПІДХОДІВ

Шаповалова С.І., Тітов В.М.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

Вступ: Прогнозування енергетичних показників є критичним завданням для забезпечення стабільності роботи енергосистеми та балансування між виробництвом і споживанням електроенергії. Традиційні статистичні підходи не завжди здатні адекватно враховувати нелінійні залежності та сезонні впливи, зокрема коливання температури навколишнього середовища, які суттєво впливають на рівень попиту. Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки сучасних моделей прогнозування на основі глибинного навчання, які можуть не тільки відображати складну динаміку часових рядів, але й враховувати додаткові фактори, та адаптуватися до змін зовнішніх факторів, забезпечуючи прийнятну точність прогнозів енергоспоживання.

Мета роботи – визначення оптимальної за точністю модель прогнозування показників електрогенерації ОЕС України з урахуванням кліматичних факторів на основі порівняння ефективності моделей LSTMSeq2Seq, Temporal Fusion Transformer та Chronos-T5 Large.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з останніми дослідженнями з прогнозування енергетичних показників найбільш затребуваними є методи глибинного навчання та цифрових двійників. Дослідження [1] демонструє застосування підходу цифрового двійника для прогнозування попиту на електроенергію в майбутніх станах енергомережі. Модель на основі LSTM показала високу точність для короткострокових прогнозів (до 24 годин), що підтверджує ефективність рекурентних архітектур у відображенні часової динаміки енергоспоживання. В дослідженнях [2] здійснено адаптацію трансформерних foundation-моделей до задач прогнозування енергоспоживання. Автори запропонували метод contrastive curriculum learning, що забезпечує високу ефективність навіть при обмеженій кількості даних. Це відкриває нові можливості для застосування великих мовних моделей (LLM) у задачах прогнозування часових рядів. У роботі [3] наведено аналіз можливостей Chronos, як великої моделі часових рядів, для побудови ймовірнісних прогнозів у системах енергоспоживання. Автори довели, що foundation-підхід забезпечує узагальнення без необхідності додаткового навчання на локальних даних, що робить такі заздалегідь навчені моделі перспективними для швидкої адаптації в енергетичній аналітиці.

Основний матеріал: Для навчання моделей за даними про структуру покриття ОЕС та середньодобові температури повітря за 2017–2021 роки, наданими НЕК “Укренерго”, було створено датасет. Характеристичними параметрами для прогнозування було обрано: `datetime` - часовий штамп спостереження; `consumption` - обсяг споживання електроенергії; `total_generation` - загальна генерація; `npp`, `tp`, `tec_industrial`, `hpp`, `pumped_gen`, `pumped_pump`, `solar`, `wind` - виробіток електроенергії відповідно атомними, тепловими,

промисловими, гідро- та відновлюваними джерелами; `balance_u` - енергетичний баланс системи; `temperature` - середня температура повітря; `hour`, `day_of_week`, `month`, `is_weekend` - календарні та часові індикатори. Таке поєднання показників дозволяє не лише враховувати сезонні та добові закономірності споживання, але й оцінювати вплив кліматичних умов на енергетичне навантаження системи. Це створює передумови для побудови більш стійких і гнучких моделей прогнозування.

Для вирішення поставленої задачі у даній роботі було обрано три моделі, що репрезентують різні підходи до прогнозування часових рядів — рекурентний, трансформерний та LLM-підхід.

Програмне забезпечення та інструменти моделювання. Для реалізації моделей прогнозування використовується середовище PyCharm Community Edition 2024.3.2 використання мови Python 3.10 із бібліотеками PyTorch, PyTorch Lightning, pytorch-forecasting, Hugging Face Transformers, NumPy, Pandas, Matplotlib та Seaborn. Використання цих бібліотек забезпечує гнучкість при розробці, навчанні та валідації нейронних моделей, а також можливість відтворення результатів на різних обчислювальних платформах. Модель LSTMSeq2Seq реалізовано у вигляді двоетапної архітектури (енкодер-декодер), оптимізованої для GPU-обчислень. Її реалізація здійснено в PyTorch з використанням Mixed Precision Training для зменшення споживання пам'яті. Модель Temporal Fusion Transformer (TFT) побудована за допомогою бібліотеки pytorch-forecasting, що надає готові модулі для реалізації трансформерних структур із часовими енкодерами, механізмом уваги та адаптивним нормалізатором (GroupNormalizer). Це дозволяє ефективно працювати з гетерогенними даними, поєднуючи температурні, сезонні та енергетичні ознаки в єдиному часовому контексті. Для великої моделі Chronos-T5 Large, розробленої командою Amazon [3], було використано фреймворк Chronos з ресурсу Hugging Face Hub. Модель застосовувалась у режимі inference без донавчання, що дозволило оцінити ефективність LLM для часових рядів у задачі енергетичного прогнозування. Візуалізація результатів проводиться за допомогою бібліотек Matplotlib і Seaborn. Метрики точності (MAE, MAPE, RMSE, R^2) обчислювалися розробленим для оцінювання результатів експериментів модулем `utils.metrics`, що забезпечує коректне порівняння моделей.

Результатами експериментів: всі моделі продемонстрували прийнятну точність прогнозування. Для прогнозів на горизонті 168 годин модель LSTMSeq2Seq досягла MAPE = 3.46%, модель Temporal Fusion Transformer — MAPE = 3.78%, тоді як LLM-модель Chronos-T5 Large забезпечила найвищу точність із MAPE = 3.11%.

Висновки

1. Створено датасет для прогнозування енергоспоживання України, за яким проведено навчання LSTMSeq2Seq, TFT, Chronos.

2. Розроблено експериментальне середовище, для проведення обчислювальних експериментів з прогнозування моделями LSTMSeq2Seq, TFT, Chronos-T5 Large.
3. За результатами обчислювальних експериментів визначено, що оптимальною моделлю є LLM.

Список літературних джерел

1. Daniel R. Bayer, Felix H., Marco P., Konstantin H., Electricity Demand Forecasting in Future Grid States: A Digital Twin-Based Simulation Study, 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech 2024), June 25--28, 2024 <https://ieeexplore.ieee.org/document/10612563>
2. Rui L., Yang D., Donghua X., Fang H., Dan W., Enabling Time-series Foundation Model for Building Energy Forecasting via Contrastive Curriculum Learning, Mon, 23 Dec 2024 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.17285>
3. Abdul Fatir A., Lorenzo S., Caner T., Xiyuan Z., Pedro M., Huibin S., Oleksandr S., Syama Sundar R., Sebastian Pineda A., Shubham K., Jasper Z., Danielle C. M., Hao W., Michael W. M., Kari T., Andrew Gordon W., Michael Bohlke-Schneider, Yuyang W., Chronos: Learning the Language of Time Series, Mon, 4 Nov 2024 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.07815>

**НЕІЄРАРХІЧНІ МЕТОДИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ
ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ ВИПУСКНИКІВ У
М. ХАРКІВ ЗА 2021 – 2024 РОКИ
Шарай К.В., Гибкіна Н.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Під час навчання у школі учні отримують фундаментальні знання для здобуття вищої освіти. Отже, значущими є підтримка високого рівня викладання та забезпечення регулярного контролю за якістю освітнього процесу. Аналіз результатів випускних тестів: зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО) та національного мультипредметного тесту (НМТ) – дозволяє критично оцінити ефективність навчальної підготовки у школах. Слід зазначити, що за обставин пандемії та воєнного стану моніторинг балів ЗНО та НМТ набув ще більшої важливості, його результати можуть допомогти адаптувати освітню діяльність до адже сучасних реалій із збереженням її високої якості.

Дослідження проводиться з метою вибору оптимального за низкою критеріїв методу штучного інтелекту для аналізу балів написання ЗНО та НМТ для оцінювання якості навчального процесу у закладах середньої освіти м. Харків протягом 2021 – 2024 років.

Оскільки розглядуваний набір даних з показниками ЗНО та НМТ за 2021 – 2024 роки у м. Харків має великий обсяг, то його обробка потребує значних обчислювальних ресурсів. Традиційної описової статистики не достатньо, аби виявити латентні закономірності у датасеті. Для проведення ефективного, швидкого аналізу даних доцільно буде використати методи машинного навчання, зокрема, неієрархічної кластеризації.

Вибір методів розв'язання задачі зумовлено її цілями та специфікою досліджуваних даних [1]. Одним з важливих факторів на користь неієрархічної кластеризації виступає обчислювальна складність її алгоритмів. Методи k -means і k -median з лінійною складністю $O(n)$, де n – обсяг датасету, в разі швидше обробляють багатовимірний масив даних з результатами ЗНО та НМТ, ніж методи агломеративної кластеризації, що мають квадратичну обчислювальну складність $O(n^2 \log n)$.

Структура даних, зокрема, їх розподіл і форма потенційних кластерів, теж впливає на вибір методу розв'язання задачі. Неієрархічні ітеративні методи кластеризації якісно розбивають датасет на групи подібних об'єктів незалежно від їх статистичного розподілу. У розглядуваній задачі нижча за GMM чутливість до розподілу даних алгоритмів k -means та k -median є перевагою. Водночас, слабка сторона ітеративних методів полягає у їх високій ефективності лише для утворення сфероподібних кластерів. Цей недолік не є критичним для даних з результатами ЗНО та НМТ 2021 – 2024, бо вони з високою чіткістю розділяються на кластери сферичної форми.

Часто витягнутість набору даних спричиняється викидами у ньому. Стійкість до аномалій є важливою властивістю алгоритмів кластерного аналізу.

Клас ітеративних алгоритмів кластерного аналізу є гнучким в обробці даних з аномаліями, бо в ньому виділяються робастні до викидів методи, наприклад, k -median. У методі k -median центри кластерів – це реальні спостереження з набору даних, що зменшує вплив окремих аномальних точок на склад кластерів порівняно з класичним k -means. Отже, завдяки цьому неієрархічні методи кластеризації мають перевагу над ієрархічними методами [2].

Розглянемо ще один критерій вибору методів кластеризації – простоту інтерпретації отриманих результатів. У кластерах ЗСО м. Харків за 2021 – 2024, утворених за методами k -means та k -median, центроїди являються «типовими закладами зі встановленою якістю освіти». Тож, практичний сенс центрів кластерів є інтуїтивно зрозумілим без спеціальної підготовки. Натомість, інтерпретація дендрограми в ієрархічній кластеризації має певну суб'єктивність у рішенні, на якому рівні «зрізати» дерево та зупинити кластеризацію. Реалізація методів кластеризації на основі розподілу даних вимагає глибоких статистичних знань, що також ускладнює їх застосування. Таким чином, легкість інтерпретації кластерів посилює позицію методів неієрархічної кластеризації як найбільш підходящих для аналізу результатів ЗНО та НМТ за 2021 – 2024 роки.

За проведеним багатокритеріальним дослідженням методів неієрархічної кластеризації можемо дійти висновку про їх високу ефективність для аналізу якості освіти у ЗСО м. Харків у 2021 – 2024 роках. Перевага ітеративних алгоритмів обумовлюється поєднанням обчислювальної ефективності, логічною інтерпретованістю результатів, відповідністю структурі розглядуваних даних та існуванням стійкого до аномалій методу k -median. У ході застосування алгоритмів k -means та k -median було всі ЗСО м. Харків було поділено на 5 кластерів. Кластер 1 складається зі шкіл з високим рівнем підготовки до ЗНО та НМТ, другий – із ЗСО, де переважає відсоток учнів з балами 160 – 180, у кластері 3 знаходяться посередні школи, у четвертому – школи зі слабким навчанням: домінуючою часткою балів від 100 до 140, і до кластера 5 увійшли ЗСО, всі випускники яких отримали не вище 160 балів. Сформовані за неієрархічними методами кластери ЗСО м. Харків з подібним рівнем навчальної підготовки у 2021 – 2024 роках мають прикладну цінність. На їх основі отриманих результатів можна, наприклад, розробити спеціальні учбові програми з посиленням вивчення окремих дисциплін за прикладом успішних навчальних закладів або оцінити рівень адаптованості формату занять до кризових умов, таких як пандемія та війна, і організувати майстер-класи з проведення оптимального формату уроків.

Список літературних джерел

1. Катренко А. В. Системний аналіз. Львів : “Новий світ – 2000”, 2011. 396 с.
2. Що таке кластерний аналіз? URL: <https://quasa.io/ru/media/chto-takoe-klasternyy-analiz-polnoe-rukovodstvo-dlya-nachinayushchih> (дата звернення: 13.10.2025).

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Ширяєв А.О., Хабарлак К.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Стрімке зростання обсягів електронної комерції зумовило перетворення систем рекомендацій на невід'ємний інструмент для покращення користувацького досвіду та стимулювання продажів. Вони дозволяють аналізувати поведінку споживачів та пропонувати товари, що відповідають їхнім інтересам. У сучасну епоху великих даних ефективна та масштабована обробка інформації є надзвичайно важливою для організацій у різних галузях. Apache Spark із його надійною екосистемою став провідним фреймворком для розподілених обчислень [1]. Метою даної роботи є розробка та порівняльний аналіз кількох моделей машинного навчання для побудови ефективної рекомендаційної системи на основі великих даних з використанням фреймворку Apache Spark.

Для експериментальної частини дослідження було використано набір даних відгуків на музичні інструменти з платформи Amazon. Обробка та аналіз виконувалися у середовищі PySpark, яке поєднує зручність мови Python з можливостями розподілених обчислень Spark та забезпечує ефективну роботу з великими обсягами інформації. Завдяки цьому стало можливим реалізувати масштабовані алгоритми машинного навчання та забезпечити коректне порівняння їхньої ефективності [2].

У ході роботи було розроблено та порівняно три моделі машинного навчання:

1. Базова модель на основі колаборативної фільтрації (ALS). Для цього застосовується метод Alternating Least Squares з зваженою регуляризациєю (ALS - WR), де матриця рейтингів апроксимується добутком двох латентних матриць - одна для користувачів, інша для товарів [3].

2. Базова модель на основі градієнтного бустингу (GBT). Використовується алгоритм Gradient Boosting, де кожна нова модель навчається мінімізувати функцію втрат (наприклад, MSE чи крос-ентропію) попередньої моделі за допомогою градієнтного спуску. Прогнози нової моделі додаються до ансамблю всього набору моделей, і цей процес повторюється поки не буде досягнуто умови зупинки [4].

3. Покращена модель GBT з інженерією ознак. До базової моделі GBT було додано згенеровані атрибути, такі як середній рейтинг користувача, загальна кількість його відгуків, середній рейтинг товару, кількість відгуків на товар та його ціна.

Для оцінки точності прогнозування всіх моделей використовувалася метрика середньоквадратичної помилки (RMSE). Розділення даних на навчальну та тестову вибірку проводилося у співвідношенні 80/20.

Результати експериментів показали, що базова модель GBT (RMSE = 0.9285) є точнішою за модель ALS (RMSE = 1.0824). Найкращі результати продемонструвала покращена модель GBT, в якій використання додаткових

ознак дозволило значно знизити помилку до $RMSE = 0.7267$. Порівняльний аналіз ефективності моделей наведено на рисунку 1.

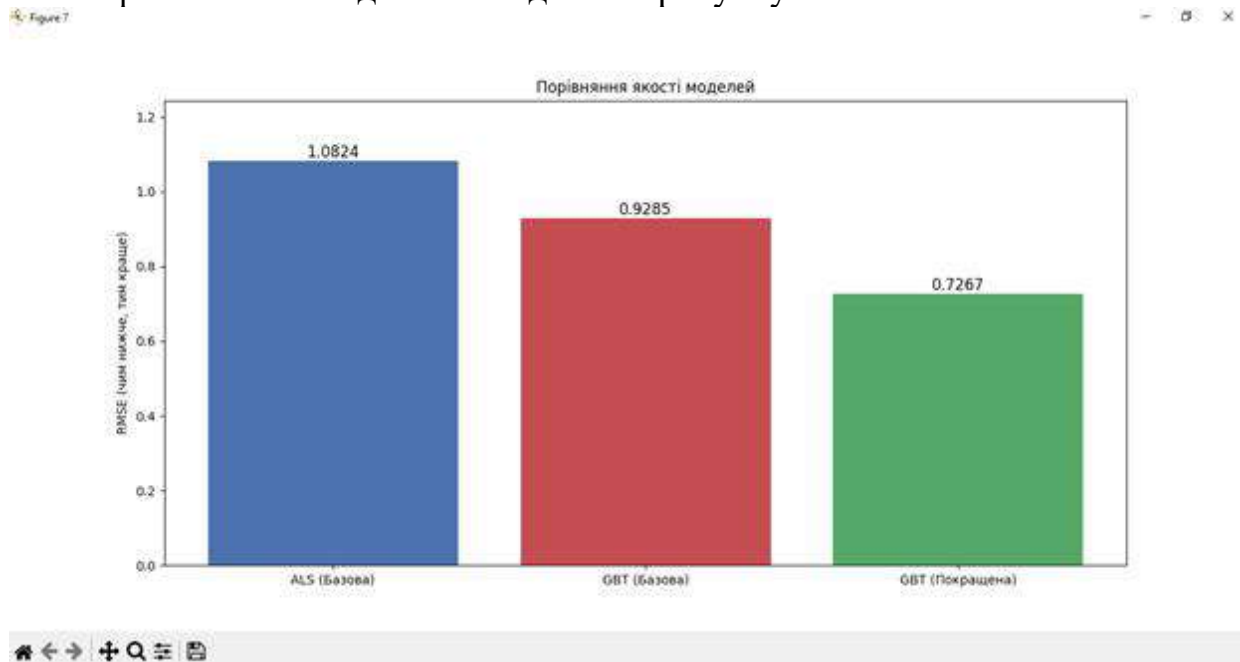


Рисунок 1 – Порівняння якості моделей

Висновки: Проведене дослідження підтвердило, що ансамблеві методи, зокрема градієнтний бустинг, демонструють високу ефективність у задачах прогнозування рейтингів. Ключовим фактором підвищення точності є інженерія ознак: збагачення моделі додатковими даними про поведінку користувачів та характеристики товарів дозволило знизити помилку прогнозування на 21.7%. Розроблена покращена модель GBT може бути використана як основа для створення промислових систем персоналізованих рекомендацій у сфері електронної комерції.

Список літературних джерел

1. Хабарлак К.С., Хом'як Т.В. Аналіз та обробка великих даних [Електронний ресурс] : конспект лекцій для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз. Дніпро : НТУ «ДП», 2024. 111 с.
2. Хабарлак К.С. Аналіз та обробка великих даних [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 82 с.
3. Alternating Least Squares with Weighted Regularization [Онлайн]. Доступ: https://ethen8181.github.io/machine-learning/recsys/1_ALSWR.html?utm_source.
4. Gradient Boosting in ML [Онлайн]. Доступ: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/ml-gradient-boosting/>.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ТА ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ОРКЕСТРАЦІЇ АГЕНТНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ІТ-КОМПАНІЙ

Юскович-Жуковська В.І., Богут О.М.

ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет
імені академіка Степана Дем'янчука», Рівне, Україна

У сучасних умовах цифрової трансформації бізнесу, коли ефективність управлінських рішень безпосередньо залежить від швидкості обробки інформації та адаптивності організаційних структур, актуальним стає впровадження інтелектуальних систем управління персоналом, здатних до автономної взаємодії та прийняття рішень. Агентний штучний інтелект (АШІ) формує нову парадигму управління, у якій замість централізованих алгоритмів ухвалення рішень використовуються множини автономних агентів, що співпрацюють у межах складних організаційних процесів [1].

Водночас одним із ключових викликів при впровадженні агентного ШІ є організація взаємодії між агентами - процес, який визначається поняттям оркестрації [2]. Методи централізованої та децентралізованої оркестрації забезпечують різні моделі керування поведінкою агентів: у першому випадку взаємодія координується через центральний контролер або менеджер завдань, у другому — агенти діють на основі локальної інформації, колективно досягаючи глобальних цілей. Застосування цих підходів у контексті управління персоналом дозволяє поєднати адаптивність і масштабованість децентралізованих систем із контрольованістю та передбачуваністю централізованих рішень [3]. Це створює передумови для побудови гібридних архітектур, які здатні автоматизувати складні управлінські процеси в ІТ-компаніях.

Метою даного дослідження є аналіз концептуальної моделі застосування методів централізованої та децентралізованої оркестрації агентного штучного інтелекту для автоматизації управлінських процесів у сфері людських ресурсів ІТ-компаній.

У роботі використано системний підхід до моделювання мультиагентних взаємодій у середовищах управління персоналом. Для опису архітектур оркестрації агентів застосовано методи багаторівневого моделювання, сценарного аналізу, а також принципи багатопроцесової автоматизації процесів (Multi-Level Process Automation, MLPA). У межах дослідження розроблено дві базові архітектурні моделі:

- централізована оркестрація, у якій головний координатор (AI Orchestrator) виконує функції розподілу завдань між агентами, контролює потоки даних і приймає остаточні рішення. Така модель забезпечує цілісність політик управління, уніфікацію правил та високу прозорість процесів;
- децентралізована оркестрація, у якій агенти діють автономно, обмінюючись результатами через протоколи консенсусу або довірчі канали. Ця

модель сприяє масштабованості, підвищенню стійкості системи до відмов і створенню самоорганізованих мереж знань.

На основі аналізу функціональних процесів HRM у типових ІТ-компаніях встановлено, що централізована оркестрація доцільна для процесів із жорстко визначеною логікою, таких як облік робочого часу, управління контрактами та розрахунок КРІ. Децентралізована - більш ефективна для задач, де важлива контекстуальна взаємодія між агентами, наприклад, у рекомендаційних системах для підбору кандидатів, у формуванні індивідуальних траєкторій навчання чи створенні гнучких командних структур, що підтверджує раніше визначену теорію оркестрації гібридних агентних систем [4].

Експериментальне моделювання показало, що використання гібридної схеми, яка поєднує централізований рівень політик і децентралізований рівень виконання завдань, дозволяє скоротити час прийняття управлінських рішень у середньому на 27 % та підвищити точність підбору кандидатів на посади програмістів і формування команд на 18 %. У межах цієї архітектури агенти можуть взаємодіяти через стандартизовані API, використовувати спільні контексти даних та колективно формувати узгоджені рішення за допомогою механізмів узагальненого навчання (federated learning).

Застосування методів централізованої та децентралізованої оркестрації агентного ШІ відкриває нові можливості для автоматизації управління персоналом у ІТ-компаніях. Централізований підхід забезпечує структурованість і контроль, тоді як децентралізований — гнучкість, адаптивність і самоорганізацію.

Список літературних джерел

1. Wang, J., Chen, K., Song, X., Zhang, K., Ai, L., Yang, E., & Shi, B. Symphony: A Decentralized Multi-Agent Framework for Scalable Collective Intelligence [Електронний ресурс]/arXiv preprint arXiv:2508.20019., 2025. - Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2508.20019>. – Назва з екрана.
2. Yu, C., Cheng, Z., Cui, H., Gao, Y., Luo, Z., Wang, Y., & Zhao, Y. (2025). A Survey on Agent Workflow-Status and Future [Електронний ресурс]/ arXiv preprint arXiv:2508.01186., 2025. - Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2508.01186>. – Назва з екрана.
3. Sapkota, R., Roumeliotis, K. I., & Karkee, M. AI Agents vs. Agentic AI: A Conceptual Taxonomy, Applications and Challenges [Електронний ресурс]/arXiv preprint arXiv:2505.10468., 2025. - Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2505.10468>. – Назва з екрана.
4. Chowdhary, R. R., Reza, S. M., & Ahamed, S. I. Comparative Study of Orchestrated, Centralised and Decentralised Approaches for Task Allocation and Collision Avoidance [Електронний ресурс]/ Journal of King Saud University., Computer and Information Sciences, 34(6), p. 3456–3465., 2018. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.09.007>. - Назва з екрана.