

Системи та технології

(правонаступник наукового журналу
“Вісник Академії митної служби України.
Серія: “Технічні науки”)

№ 1 (67)

Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії “Б”, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки”, спеціальності 113, 122, 123, 275 (наказ МОН України від 17.03.2020 р. № 409, додаток 1), 172 (наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188, додаток 5), 255 (наказ МОН України від 15.04.2021 р. № 420, додаток 3), 125 – Кібербезпека та захист інформації (наказ МОН України від 25.10.2023 р. № 1309, додаток 4)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Системи та технології
(правонаступник наукового журналу
“Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”)
Науковий журнал. Видається двічі на рік. Заснований у травні 1999 р.
Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою
Університету митної справи та фінансів (протокол № 8 від 26.02.2024 р.)

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

Редакційна колегія:

Кузьменко А. І. – к.т.н., доц.
(головний редактор);
Халіпова Н. В. – к.т.н., доц.
(заступник головного редактора);
Прокопович-Ткаченко Д. І. – к.т.н., доц.
(заступник головного редактора);
Йозеф Костольни – PhD;
Ян Рабчан – PhD;
Бакіров Мюшфік Панах огли – к.т.н.;
Балацька Н. Ю. – д.е.н., доц.;
Бондаренко І. О. – д.т.н., доц.;
Боярчук А. В. – к.т.н., доц.;
Брежнев Є. В. – д.т.н., с.н.с.;
Вишнікіна О. В. – к.х.н., доц.;
Власов А. В. – к.т.н., ст. досл.;
Волосова Н. М. – к.т.н.;
Гарт Е. Л. – д.ф.-м.н., проф.;
Гордєєв О. О. – к.т.н., доц.;
Джинджоян В. В. – д.е.н., доц.;
Доценко С. І. – д.т.н., доц.;
Защолкін К. В. – к.т.н., доц.;

Котух Є. В. – к.т.н.;
Кузін М. О. – д.т.н., доц.;
Кучер М. М. – к.е.н., доц.;
Мартинюк О. М. – к.т.н., доц.;
Музикін М. І. – к.т.н.;
Нестеренко Г. І. – к.т.н., доц.;
Огар О. М. – д.т.н., проф.;
Охріменко Т. О. – к.т.н.;
Поночовний Ю. Л. – д.т.н., проф.;
Примаченко Г. О. – к.т.н., доц.;
Прохорченко Г. О. – к.т.н., доц.;
Сабіров О. В. – к.т.н., доц.;
Сохацький А. В. – д.т.н., проф.;
Стеблюк Н. Ф. – к.е.н., доц.;
Стеблянко П. О. – д.ф.-м.н.;
Чопоров С. В. – д.т.н., проф.;
Шапорін Р. О. – к.т.н., доц.;
Щербовських С. В. – д.т.н., с.н.с.;
Юдіна О. І. – д.е.н., доц.;
Язіна В. А. – к.е.н.;
Яремчук С. О. – к.т.н.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2024-1-67>
ISSN 2521-6643

Коректори: Н. В. Славогородська, Н. С. Ігнатова
Комп'ютерна верстка: Н. С. Кузнецова

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 21857-11757ПП від 21.12.2015 р.
Адреса: м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 2/4, 49000
Тел.: +38 (099) 729 63 79
E-mail: editor@st.umsf.in.ua
Сайт видання: st.umsf.in.ua

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Підписано до друку 27.02.2024. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 11,16. Обл.-вид. арк. 9,3.
Наклад 100 прим. Замовлення № 0624/441.

ЗМІСТ

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Гук К. Г. Нейромережеве керування системою вентиляції офісного приміщення.....	5
Кімстач О. Ю. Обмежена нескінченність	11
Мотайло А. П. Побудова базису біпіраміди з трьома рухомими вузлами.....	19
Pasichnyk A. M., Ripa M. Yu. Algorithm for the construction and optimization of the territorial location of sound sources of emergency notification systems of the population.....	25

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Безверхий О. І., Куценко О. І. Шляхи оптимізації кросплатформених додатків із використанням бібліотеки React та фреймворку React Native	30
Головіна Н. В. Розроблення нейромережевої моделі моніторингу надзвичайних ситуацій природного характеру.....	36
Олексійчук Ю. Ф., Ольховський Д. М., Ольховська О. В., Андрушків О. М. Проектування, розробка та тестування web-сервісу для вибору тем дипломних робіт	43
Чанишев Р. І. Деякі соціально-економічні аспекти використання центрів обробки даних	51

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Пашковський Б. В. Розробка системи оцифрування та каталогізації протоколів комісії з безпеки дорожнього руху Івано-Франківської міської територіальної громади	58
Тягунова М. Ю., Киричек Г. Г., Костецький Д. В. Розрахунок економії часу при створенні тесту за допомогою штучного інтелекту	65

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

Voskoboinyk V. O., Savchenko Iu. V., Karpukov L. M., Parshyna O. A., Prokopovych-Tkachenko D. I. Assessment of the state of information security using expert systems.....	72
--	----

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

Луб'яний П. В., Войтович О. А., Кузьменко І. О. Особливості комерційної діяльності при змішаних комбінованих перевезеннях.....	80
Рагулін С. В., Зубенко В. О. Пошук шляхів підвищення ефективності функціонування системи технічної експлуатації радіоелектронних навігаційних систем	84

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

Бондаренко С. В., Косовцов Ю. М., Грабчак З. М. Оцінка впливу аеродинамічних коефіцієнтів сили лобового опору снаряда на дальність його польоту	90
---	----

CONTENTS

APPLIED MATHEMATICS

Huk K. G. Neuronetwork control of office room ventilation system.....	5
Kimstach O. Yu. Limited infinity.....	11
Motailo A. P. Constructing of bipyramid basis with three movable nodes.....	19
Pasichnyk A. M., Ripa M. Yu. Algorithm for the construction and optimization of the territorial location of sound sources of emergency notification systems of the population.....	25

COMPUTER SCIENCES

Bezverhiy O. I., Kutsenko O. I. Ways of optimizing cross-platform application using the React library and the React Native framework.....	30
Holovina N. V. Computer intelligence technologies usage for images analysis with the purpose of developing and designing a decision support system for monitoring and prevention of forest fires in Ukraine.....	36
Oleksiichuk Yu. F., Olkhovsky D. M., Olkhovska O. V., Andrushkiv O. M. Designing, developing and testing a web service for selecting thesis topics.....	43
Chanyshv R. I. Some socio-economic aspects of the use of data centers	51

COMPUTER ENGINEERING

Pashkovskiy B. V. Development of a system of digitization and cataloging of protocols of the traffic safety commission of the Ivano-Frankivsk city-territorial community.....	58
Tiahunova M. Yu., Kyrychek H. H., Kostetskyi D. V. Time savings calculation in test creation using Artificial Intelligence.....	65

CYBER SECURITY AND INFORMATION PROTECTION

Voskoboinyk V. O., Savchenko Iu. V., Karpukov L. M., Parshyna O. A., Prokopovych-Tkachenko D. I. Assessment of the state of information security using expert systems.....	72
---	----

TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPES)

Lubiany P. V., Voitovych O. A., Kuzmenko I. O. Peculiarities of commercial activity in mixed combined transport...	80
Rahulin S. V., Zubenko V. O. Finding ways to improve radio-electronic navigation systems operational efficiency.....	84

ARMS INVENTORY AND MILITARY HARDWARE

Bondarenko S. V., Kosovtsov Yu. M., Hrabchak Z. M. Evaluation of the influence of the aerodynamic coefficients of the frontal resistance force of the projectile on its flight distance.....	90
---	----

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 517.977

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.1>

Гук К. Г., магістрант кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара
ORCID: 0009-0007-7675-203X

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ВЕНТИЛЯЦІЇ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Проблема якості повітря в замкнених приміщеннях виникає через експлуатацію систем опалення, використання джерел відкритого вогню, дихання людей, розкладання синтетичних матеріалів, а також через потрапляння пилу ззовні і наявність мікроорганізмів. Перевищення допустимих концентрацій може погіршувати самопочуття людини, тому контроль якості повітря є важливим. Традиційні вентиляційні системи не враховують змінюваність умов і не дозволяють гнучко регулювати повітрообмін. Створення сучасних автоматизованих систем вентиляції з використанням обчислювальних технологій та з врахуванням результатів спостереження за параметрами повітря постають науковою проблемою.

Проаналізовано сучасні підходи до керування HVAC системами, які контролюють якість та комфортність повітря в приміщеннях, підтримують параметри повітря відповідно до санітарних норм та дозволяють створювати замкнені системи керування. Розглянуто системи керування на основі теорії нечіткої логіки та нейронних мереж, які дозволяють ефективно керувати параметрами повітря та забезпечувати енергоефективність будівель.

Метою статті є розробка нейроконтролера для системи вентиляції офісного приміщення, що забезпечує автоматизоване керування з урахуванням нестационарної поведінки об'єкта через регулювання швидкості двигуна компресора охолоджувальної системи вентиляції. Нейромережева система керування, що пропонується, використовує принцип інверсного нейрокерування для навчання моделі та забезпечує керування шляхом мінімізації функції похибки. Нейроконтролер побудований у вигляді багатощарової нейронної мережі з сигмоїдними функціями активації. Для аналізу ефективності запропонованого підходу використано набір даних у вигляді часових рядів, що містять вимірювання температури, вологості та концентрації вуглекислого газу. Обчислювальні експерименти з різними варіантами структури нейронної мережі показали ефективність мережі з одним прихованим шаром.

Встановлено, що нейроконтролер швидко реагує на вхідний сигнал, керована вентиляційна система забезпечує нормативну температуру у приміщенні за прийнятний час та без перерегулювання. Порівняння з П-контролером та ПІД-контролером вказує на суттєву перевагу нейроконтролера в забезпеченні точності керування, швидкості реакції на зміни у параметрах повітря та зменшення енергоспоживання.

Ключові слова: моделювання, система вентиляції, керування, нейронна мережа, нейроконтролер.

Huk K. G. Neuronetwork control of office room ventilation system

The problem of air quality in enclosed spaces arises due to the operation of heating systems, the use of open fire sources, human respiration, the decomposition of synthetic materials, the ingress of dust from outside, and the presence of microorganisms. Exceeding permissible concentrations can adversely affect human well-being, making air quality control important. Traditional ventilation systems do not account for changing conditions and do not allow flexible air exchange regulation. The creation of modern automated ventilation systems using computational technologies and considering air parameter monitoring results poses a scientific challenge.

Modern approaches to managing HVAC systems, which control the quality and comfort of indoor air, maintain air parameters according to sanitary standards, and allow for the creation of closed-loop control systems, have been analyzed. Control systems based on fuzzy logic theory and neural networks have been considered, which allow for effective air parameter management and ensure building energy efficiency.

The aim of the article is to develop a neurocontroller for an office ventilation system that provides automated control considering the non-stationary behavior of the object by regulating the compressor motor speed of the ventilation cooling system. The proposed neural network control system uses the principle of inverse neural control for model training and ensures control by minimizing the error function. The neurocontroller is built as a multilayer neural network with sigmoid activation functions. To analyze the effectiveness of the proposed approach, a dataset in the form of time series containing measurements of temperature, humidity, and carbon dioxide concentration was used. Computational experiments with various neural network structures demonstrated the effectiveness of a network with a single hidden layer.

It was established that the neurocontroller responds quickly to input signals, and the controlled ventilation system ensures the standard temperature in the room within an acceptable time and without overshoot. Comparison with P-regulator and PID-regulator indicates a significant advantage of the neurocontroller in ensuring control accuracy, response speed, and reducing energy consumption.

Key words: modeling, ventilation system, control, neural network, neurocontroller.

Постановка проблеми. У замкнених приміщеннях внаслідок експлуатації систем опалювання, застосування джерел відкритого вогню, дихання людей, розкладання синтетичних речовин, що вивільняються з оздоблювальних полімерних матеріалів (фарб, покриття підлоги, декоративних панелей тощо), меблів, оргтехніки, потрапляння пилу з зовні через відкриті вікна та двері, а також за наявності мікроорганізмів від хворих людей та носіїв мікроорганізмів, якість повітря значно погіршується. В умовах виробництва додатково виникає забруднення пилом та леткими хімічними речовинами, що утворюються в технологічному процесі та виділяються у повітря.

До складу забруднювачів повітря відносять вуглекислий газ (CO_2), оксид азоту (NO_2), дрібні часточки пилу ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}), летючі органічні сполуки (VOC), бактерії та грибки. Особливу небезпеку для здоров'я людини утворюють мікроорганізми, які разом з наявними у повітрі пилом, рідиною та іншими сполуками утворюють бактеріальні аерозолі. А за наявності у приміщенні хворих людей розпилюються краплини рідини, які з часом при висиханні утворюють бактеріальний пил. Наявність бактеріального забруднення повітря може спричинити рознесення інфекційних захворювань, оскільки пил швидко розповсюджується у замкнутому приміщенні.

Перевищення припустимих концентрацій забруднювачів повітря може викликати погіршення самопочуття людини, сенсорні подразнення слизових оболонок тощо. Тому контроль зазначених показників якості повітря відіграє важливу роль для здоров'я людини. Найчастіше для забезпечення оптимальних умов повітрообміну встановлюють вентиляційну систему та розраховують її продуктивність виходячи з показників об'єму приміщення, чинних гігієнічних норм обсягу повітрообміну, функціонального призначення приміщення, кількості осіб, які перебувають в приміщенні одночасно, та видів робіт, що виконуються. Однак такі методи не враховують змінюваність умов у приміщенні та не дозволяють гнучко регулювати параметри повітрообміну. Відкриття вікон та дверей призводить до змін у параметрах температури та вологості повітря, поява у приміщенні інших людей призводить до збільшення концентрації вуглекислого газу, означені фактори суттєво впливають на якість повітря та не можуть бути враховані під час попередніх розрахунків продуктивності вентиляційної системи.

Останнім часом сучасні офісні та житлові приміщення оздоблюються автоматизованими системами вентиляції та кондиціонування повітря для забезпечення безпеки життєдіяльності людини та покращення умов комфорту, тому моделювання систем керування вентиляцією та кондиціонуванням на основі спостережень за параметрами повітря та іншими факторами з використанням сучасних обчислювальних технологій постає як наукова проблема.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до Європейської директиви щодо енергоефективності будівель [5] до них висуваються вимоги поліпшення енергетичного функціонування з урахуванням кліматичних та місцевих особливостей, вимоги щодо мікроклімату в приміщеннях. Також висуваються вимоги щодо розробки загальної методологічної схеми обрахунку інтегрованого енергетичного функціонування будівель та керування параметрами їх ефективності.

Більшість з перелічених складових якості та комфортності повітря у приміщеннях можна контролювати та регулювати за допомогою HVAC систем (Heating, Ventilation, & Air Conditioning System), які завдяки керуванню вентиляційним, опалювальним обладнанням та обладнанням кондиціонування дозволяють підтримувати параметри повітря у відповідності до санітарних вимог. Тому значна кількість наукових робіт присвячується моделюванню та розробці таких систем, виявленню шляхів підвищення їхньої ефективності. В роботі [1] наводиться аналіз наявних енергоефективних рішень для пристроїв утилізації теплоти витяжного повітря в системах вентиляції і кондиціонування, що враховує динаміку кліматичних і внутрішніх характеристик експлуатації. Розроблено методику техніко-економічної оцінки енергетичних характеристик активних утилізаторів, що функціонують в умовах відхилень параметрів від проектних значень. Проаналізовано вплив відхилення значень параметрів, зокрема витрати повітря, температури зовнішнього повітря перед утилізатором, температури і вологості витяжного повітря. Проведено порівняльний аналіз способів підвищення енергоефективності систем вентиляції і кондиціонування.

Враховуючи, що математичні моделі систем керування станом повітря у приміщеннях є нелінійними та можуть суттєво відрізнятись для кожної окремої будівлі, для здійснення керування HVAC системами широко застосовуються різні типи контролерів. Найпростіші з них здійснюють регулювання параметрів повітря з використанням операцій увімкнення/вимкнення приладів за інформацією про стан повітря у приміщенні. Застосування такого способу керування призводить до суттєвих коливань параметрів повітря у приміщенні.

Більш складними за будовою, але й більш ефективними є ПІД-контролери [4], які дозволяють побудувати замкнену систему керування та налаштовуються в такий спосіб, щоб відповідати вимогам стабільності, забезпечувати дотримання встановлених значень параметрів, адаптуватись до перехідних процесів, досягати продуктивності регулювання в усталеному стані, зокрема забезпечувати стійкість до збурень та невизначеності умов навколишнього середовища. Труднощі у застосуванні ПІД-контролерів найчастіше викликані відсутністю інформації про характеристики об'єкту керування, нелінійністю та нестационарністю системи, необхідністю налаштовувати параметри контролерів, оскільки невірний вибір коефіцієнтів може призвести до нестабільності всієї системи. Останнім часом до налаштування коефіцієнту пропорційності, інтегрального та диференціального коефіцієнтів контролерів, а також співвідношень між ними застосовуються

методи експериментального налаштування через підключення контролера до об'єкту керування та із застосуванням нейронних мереж. Застосування нейронних мереж для підбору параметрів ПІД-контролера підвищує якість керування через зменшення в динаміці максимального відхилення величини, над якою здійснюється керування, та збільшення декременту загасання перехідного процесу.

Останнім часом розвиваються підходи, що є більш ефективними у порівнянні з традиційними регуляторами та ПІД-контролерами. В системах керування для підбору параметрів керувального впливу широко використовуються сучасні методи обчислень, зокрема еволюційні методи, експертні системи із застосуванням нечіткої логіки, нейронні мережі. Системи керування, що будуються на основі теорії нечіткої логіки та використовують систему нечітких правил без формалізації предметної області у вигляді математичної моделі, дозволяють керувати параметрами повітря та теплового комфорту, створюючи комфортні умови для людини, та водночас дозволяють досягати показників енергоефективності будівлі [3]. Але застосування такого підходу викликає складнощі під час формулювання системи правил, що повинна враховувати особливості впливу кліматичних факторів на параметри повітря.

Перевагами застосування нейронних мереж при побудові систем керування є те, що вони можуть відтворювати нелінійні залежності із заданою точністю, зокрема динаміку процесу керування, під час побудови нейромережевого регулятора не потрібно використовувати складний математичний опис системи керування та математичну модель керованих характеристик повітря [2]. На основі навчальної вибірки, що формується в результаті спостережень за параметрами повітря у приміщенні, відбувається тренування штучної нейронної мережі, а навчена на основі реальних даних мережа здатна генерувати керувальний вплив, що забезпечує наближення параметрів повітря до цільових. Спрямувавши керувальний вплив на вхід системи на поточному етапі керування здійснюється переведення системи з поточного стану в бажаний стан за певний проміжок часу. В такий спосіб здійснюється адаптивне керування нелінійною системою з прогнозуючою компенсацією.

Мета статті. Враховуючи актуальність розвитку методів автоматизованого керування, що адаптовані до нестационарної поведінки об'єкту керування, у роботі розглядається задача побудови нейроконтролера для системи вентиляції офісного приміщення.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- здійснити збір та аналіз вхідних даних для роботи системи керування;
- обрати архітектуру нейроконтролера, здійснити навчання моделі;
- дослідити якість керування параметрами повітря у приміщенні.

Виклад основного матеріалу

Метод побудови. Розглядається задача моделювання системи автоматизованого керування процесом вентиляції повітря, що забезпечує досягнення та підтримання нормативних показників температури, вологості та концентрації вуглекислого газу у повітрі приміщення. Вентиляційна система забезпечує приплив зовнішнього повітря у приміщення будівлі. Вимірювання показників повітря здійснюється датчиками, зокрема термометром, психрометром, газоаналізатором CO_2 . Значення показників повітря залежать від швидкості припливу зовнішнього охолодженого повітря у приміщення, тому через контролювання швидкості його припливу можна підтримувати нормативні значення параметрів повітря. Необхідно розробити систему автоматизованого нейромережевого керування, що здійснює керувальний вплив шляхом регулювання швидкості двигуна компресора охолоджувальної вентиляційної системи та використовує для налаштування виміряні показники якості повітря.

Функцію, що здійснює керувальний вплив на об'єкт керування, можна зобразити у такий спосіб:

$$u(t) = f(Y(t), \dot{Y}(t)),$$

де $u(t)$ – керувальний вплив в момент часу t ; $Y(t)$ – параметри стану повітря після здійснення керувального впливу $u(t)$; $\dot{Y}(t)$ – нормативні значення параметрів стану повітря.

Нейромережева система керування здійснює керувальний вплив на об'єкт керування з врахуванням похибки керування. Система керування розглядається в дискретному часі з постійним та достатньо малим кроком дискретизації t . В основу побудови нейроконтролера покладемо принцип інверсного нейрокерування, який полягає в тому, що навчання нейронної мережі відбувається з використанням інформації про поведінку динамічного об'єкту.

Для моделювання поведінки динамічного об'єкту використовується нейронна мережа зі зворотнім зв'язком, яка здатна моделювати залежності у часі та передбачати виходи системи на основі її попередніх станів та вхідних сигналів. Спостереження за значеннями керувальних впливів і відповідних ним станів об'єкту керування дозволяє створити навчальну вибірку для налаштування моделі:

$$X = \{T_i, U_i\},$$

де $T_i = \{Y(t), S(t-1)\}$; $U_i = u(t)$, $u(t)$ – керувальний вплив в момент часу t ; $S(t-1)$ – попередній стан об'єкту керування.

Для здійснення керування нейроконтролер під'єднують до об'єкту в замкненому режимі, на вхід нейроконтролера потрапляє відхилення нормативних значень параметрів стану об'єкту $Y_{norm}(t+1)$ від відповідних значень параметрів поточного стану $Y(t)$. Вихідне значення моделі нейронної мережі $Y(t)$ є зворотним зв'язком. Генерований керувальний вплив переводить об'єкт керування в стан $Y(t+1)$ та за даними $Y(t+1)$,

$Y_{norm}(t+1)$ обчислюється помилка у роботі нейроконтролера. Керуючий вихідний сигнал обчислюється шляхом мінімізації помилки та передається на модель системи вентиляції приміщення. В якості критерію навчання було обрано середньоквадратичну помилку імітації:

$$E = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \left(Y(t) - \hat{Y}(t) \right)^2},$$

де N – загальна кількість використаних даних.

Нейроконтролер побудовано у вигляді нейронної мережі, яка складалась з вхідного, вихідного та кількох прихованих шарів, що дозволило здійснити апроксимацію складної нелінійної залежності. В якості функцій активації нейронів використано сігмоїдні функції. Навчання нейронної мережі здійснювалось методом зворотного розповсюдження помилки через мінімізацію помилки методом градієнтного спуску в просторі вагових коефіцієнтів нейронів w_{ij} та біасів b_{ij} штучної нейронної мережі.

Відповідно до методу градієнтного спуску змінення вагових коефіцієнтів здійснюється в такий спосіб:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \frac{\partial E(k)}{\partial w_{ij}(t)}; \quad b_{ij}(t+1) = b_{ij}(t) + \frac{\partial E(k)}{\partial b_{ij}(t)},$$

де $E(k)$ – середньоквадратична помилка для k -ого нейрона мережі.

В разі зростання помилки імітації на контрольній вибірці, навчання завершувалось.

Числове моделювання та результати розрахунків. Для аналізу ефективності пропонованого підходу до здійснення керування системою вентиляції використовувався набір даних, що складався з близько 3000 записів у вигляді часових рядів, в яких подано результати вимірювання температури, вологості та концентрації вуглекислого газу для трьох приміщень. Навчання моделі керування здійснювалось з використанням випадково обраних прикладів з навчальної вибірки, що зберігала параметри повітря у перших двох приміщеннях. Данні по третьому приміщенню не використовувались для навчання моделі, їх застосовано для верифікації результатів та перевірки здатності нейронної мережі до узагальнення. Попередньо здійснювалась нормалізація вхідних даних. В розрахунках, що виконано, керування здійснювалось лише для підтримання нормативної температури повітря у приміщенні. Для програмної реалізації нейроконтролера застосовано бібліотеку програмного забезпечення з відкритим кодом для числових розрахунків з використанням графів потоку даних TensorFlow.

Проведено серію обчислювальних експериментів для аналізу розробленого підходу до моделювання системи керування. В результаті обчислювальних експериментів з різними варіантами структури нейронної мережі виявилось, що найбільш ефективною є нейронна мережа, що містить вхідний, вихідний та лише один прихований шар.

Для обраної архітектури нейронної мережі було здійснено розрахунки з використанням даних вибірки. Розглянуто випадок, коли за результатами вимірювання параметрів повітря встановлено, що один з параметрів, що контролюється, а саме температура повітря перевищує нормативну температуру на 5°C . Для імітації процесу керування та перевірки продуктивності нейроконтролера похибку у значенні вимірюваного параметру використано як еталонний вхід. На рис. 1 суцільною лінією наведено результат моделювання виходу за результатами роботи нейроконтролера. З аналізу можна бачити, що нейроконтролер швидко реагує на вхідний сигнал, час встановлення нормативної температури дорівнює близько 10 секунд.

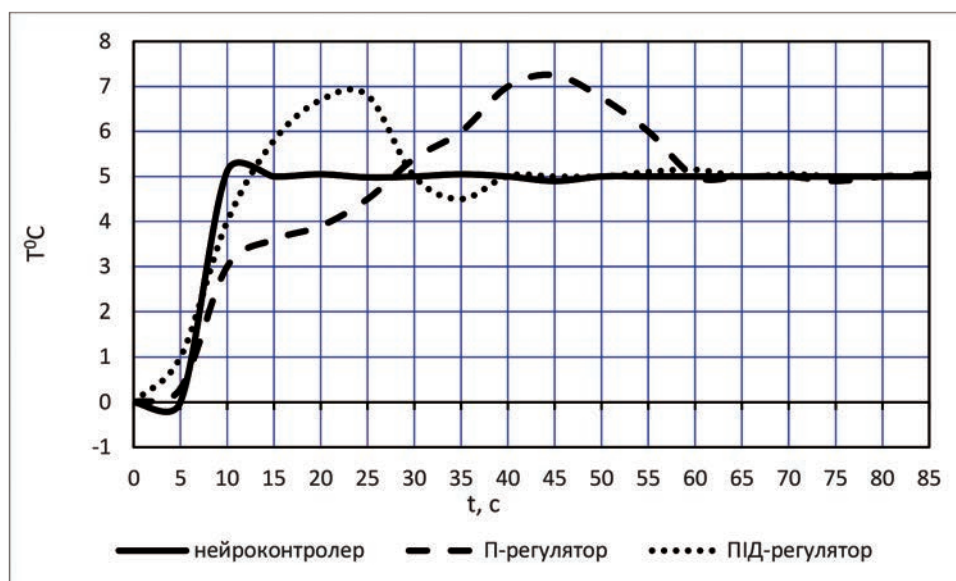


Рис. 1. Реакція виходу системи для різних систем керування

Окрім швидкості відгуку, можна бачити, що у процесі керування не спостерігається перевищення значень показника, що контролюється. Після усталення процесу регулювання відхилення значень температури від нормативних дорівнює нулю. Це вказує на те, що керування має високу швидкість реакції, забезпечує точність керування та дозволяє уникнути перерегулювання.

Для порівняння на рис. 1 наведено результат керування, що здійснюється за допомогою П-контролера (пунктирна лінія) та ПД-контролера (дрібний пунктир). Можна бачити, що П-контролер забезпечує суттєво гіршу якість керування, встановлення нормативного значення показника триває близько хвилини, спостерігається перерегулювання, що призводить до більшого енергоспоживання. Застосування ПД-контролер також не дозволяє досягти плавного регулювання, у порівнянні з нейроконтролером спостерігається більш тривалий перехідний процес, більшим є відхилення по максимальному значенню параметру.

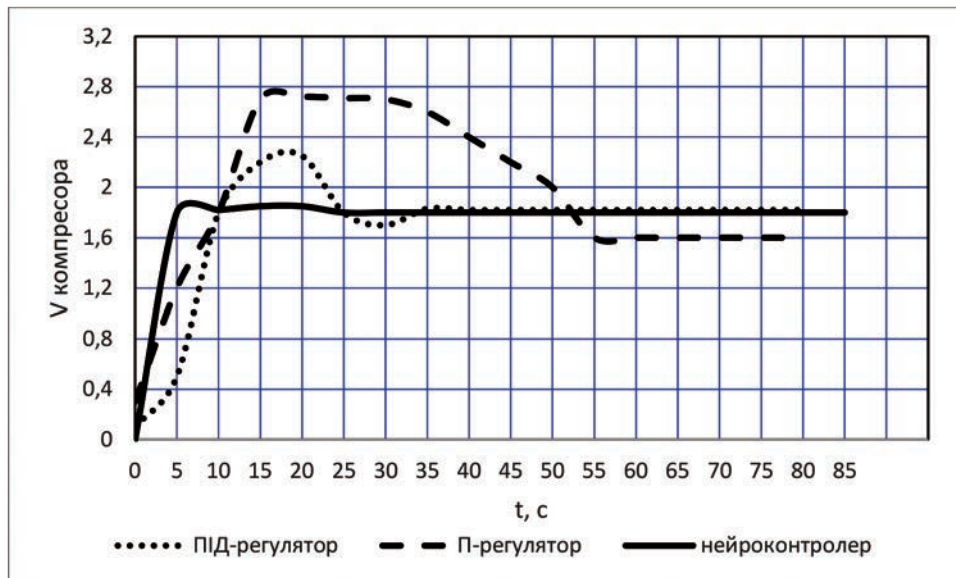


Рис. 2. Симуляція результату керування

На рис. 2 наведено вихідну характеристику П-контролера, ПД-контролера та нейроконтролера. Перехідний процес, що утворюється нейроконтролером, порівнюється з відповідними процесами, що реалізуються звичайними контролерами. З аналізу рис. 2 можна бачити, що нейроконтролер забезпечує кращу продуктивність для керування швидкістю компресора порівняно зі звичайними ПД- та П-контролерами. Реакція нейроконтролера на зміну похибки керування є швидкою та плавною порівняно зі звичайним регуляторами, під керуванням нейроконтролера не спостерігається перевищення, що сприяє зменшенню споживання електроенергії та терміну служби компресора. Таким чином, нейромережевий підхід для створення систем керування параметрами повітря у приміщенні є працездатним та ефективним.

Висновки. У роботі застосовано нейромережевий підхід до створення системи керування вентиляційною системою для забезпечення нормативних параметрів повітря у приміщенні. Розглянуто підходи до здійснення керування системами вентиляції та кондиціонування, що спираються на використання звичайних регуляторів та ПД-контролерів, інтелектуальних систем, які засновані на логічних правилах, нейронних мереж. Встановлено, що нейромережевий підхід до створення систем керування здатний відтворювати нелінійні залежності із заданою точністю, враховувати динамічні зміни, що відбуваються з об'єктом керування, та не потребує застосування складних математичних моделей об'єктів, що досліджуються.

Нейроконтролер побудовано у вигляді нейронної мережі із застосуванням навчальної вибірки, що створено за результатами спостереження за параметрами повітря у приміщенні. За результатами обчислювального експерименту обрано структуру нейронної мережі, здійснено перевірку її роботи та досліджено робастність.

Порівняно результати роботи розробленого нейроконтролера з роботою П-контролера, ПД-контролера на прикладі керування температурою середовища. Встановлено, що нейроконтролер забезпечує контроль за спостережуваними параметрами швидко та плавно порівняно зі звичайним регуляторами, під керуванням нейроконтролера не спостерігається перевищення, що сприяє зменшенню споживання електроенергії та терміну служби компресора.

В подальшій перспективі планується дослідити взаємовплив різних параметрів повітря, зокрема температури, відносної вологості, CO_2 , вмісту пилу, оскільки у реальних будівлях зазначені параметри впливають один на одного, і зміна одного параметра може призвести до зміни інших параметрів. Майбутня робота передбачає розробку стратегії контролю, що враховує взаємозв'язок між параметрами.

Список використаних джерел:

1. Літовко Б. М., Лідер М. Ю. Аналіз способів підвищення енергоефективності систем вентиляції і кондиціонування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. Випуск 4. с. 47–55. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-47-55>
2. Abida A., Richter P. HVAC control in buildings using neural network. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 65. 10555865. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105558>
3. Ali M. Baniyounes, Yazeed Yasin Ghadi, Eyad Radwan, Khalid S. Al-Olimat
Functions of fuzzy logic based controllers used in smart building. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. Vol. 12. № 3. P. 3061-3071. <http://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3061-3071>
4. Aziz M, Kadir K, Azman HK, Vijyakumar K. Optimization of Air Handler Controllers for Comfort Level in Smart Buildings Using Nature Inspired Algorithm. *Energies*. 2023. 16(24):8064. <https://doi.org/10.3390/en16248064>
5. Energy Performance of Buildings in the Official Journal of the European Communities. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council // Official Journal L 1. 2003. P. 65-71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0091>.

References:

1. Litovko, B. M., & Lider, M. Yu. (2021). Analiz sposobiv pidvyshchennia enerhoefektyvnosti system ventilatsii i kondytsionuvannia. (Analysis of ways to increase the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems.). *Visnyk Vinnytskoho Politekhnichnoho Instytutu*, (4), 47–55. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-47-55>
2. Abida, A., & Richter, P. (2023). HVAC control in buildings using neural network. *Journal of Building Engineering*, 65, 105558. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105558>
3. Baniyounes, A. M., Ghadi, Y. Y., Radwan, E., & Al-Olimat, K. S. (2023). Functions of fuzzy logic based controllers used in smart building. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(3), 3061-3071. <http://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3061-3071>
4. Aziz, M., Kadir, K., Azman, H. K., & Vijyakumar, K. (2023). Optimization of Air Handler Controllers for Comfort Level in Smart Buildings Using Nature Inspired Algorithm. *Energies*, 16(24), 8064. <https://doi.org/10.3390/en16248064>
5. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings. (2003). *Official Journal of the European Communities*, L 1, 65-71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0091>.

Кімстач О. Ю., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри суднових електроенергетичних систем
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0002-1447-8852

ОБМЕЖЕНА НЕСКІНЧЕННОСТЬ

У статті розглядається питання ідентифікації поняття обмеженої нескінченності. Актуальність роботи полягає у постійній необхідності розширення спектру математичних інструментів, які потрібні для вирішення складних прикладних завдань проектування у техніці. Цей термін розширює можливості використання класичної нескінченності в прикладних задачах математики.

Основною метою статті є формування поняття обмеженої нескінченності та проведення її різноаспектних досліджень.

В роботі сформульовано фундаментальні властивості обмеженої нескінченності, які встановлюють її основні характеристики та особливості застосування. Проведено аналіз основних математичних операцій, які можна виконувати з обмеженою нескінченністю, що надало можливість зробити висновок, що вона при визначених умовах має поведінку подібне до скінченного числа. Проведено порівняльний аналіз властивостей нескінченності, обмеженої нескінченності та множини, що надало можливість більш чітко визначити поняття обмеженої нескінченності. Для виконання математичної операції порівняння величин, які відображаються за допомогою обмеженої нескінченності, запропоновано порівняльні оцінки: абсолютну інтегральну оцінку, відносну середню інтегральну оцінку та кількість вузлів сітки припустимих похибок.

Також наведено приклади, які ілюструють використання обмеженої нескінченності в прикладних задачах, таких як застосування методів квазіконстант та функціональної збіжності. Запропонована концепція обмеженої нескінченності значно спрощує застосування різних форм нескінченності в прикладних задачах, зокрема при розв'язуванні систем рівнянь з невизначеними рішеннями.

Ключові слова: обмежена нескінченність, математична операція, порівняльна оцінка, метод квазіконстант, метод функціональної збіжності.

Kimstach O. Yu. Limited infinity

The paper discusses the identification of the concept of limited infinity, highlighting its relevance in expanding the range of mathematical tools necessary for solving complex applied design tasks in technics. Limited infinity extends the applicability of classical infinity in mathematical problems.

The primary objective of the paper is to develop the concept of limited infinity and conduct comprehensive research on it.

The paper outlines the fundamental properties of limited infinity, elucidating its key characteristics and practical applications. An analysis of basic mathematical operations involving limited infinity demonstrates that, under certain conditions, it behaves similarly to a finite number. Furthermore, a comparative analysis of infinity, limited infinity, and sets clarifies the concept of limited infinity. To facilitate comparisons involving values represented with limited infinity, the paper proposes several comparative estimates: the absolute integral estimate, the relative average integral estimate, and the number of grid nodes of permissible errors.

Additionally, the paper provides examples illustrating the application of limited infinity in practical problems such as using the quasi-constant and functional convergence methods. The introduction of the concept of limited infinity notably streamlines the utilization of various forms of infinity in applied tasks, especially when solving systems of equations with undetermined solutions.

Key words: limited infinity, mathematical operation, comparative estimate, quasi-constant method, functional convergence method.

Постановка проблеми. Поняття нескінченності є одним із найпоширеніших у математиці. Його досить важко зрозуміти через його чисельну невизначеність. Крім того, лінгвістичний збіг із поняттям нескінченності буття і простору у філософії робить цей математичний термін частково філософським [1].

Математичне поняття нескінченності настільки складне, що його вивчення потребує застосування спеціальних педагогічних методів [2]. Проте слід зазначити, що такому складному терміну в сучасному світі все ще приділяється недостатня увага [3]. Тому, незважаючи на тисячолітню історію цього поняття, його різноманітне вивчення залишається актуальним напрямком математики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У математиці поняття нескінченності має різноманітні значення [4] і застосування, що утворює різні його підвиди та аспекти його використання.

У [5] розглядається різниця між потенційною нескінченністю і фактичною нескінченністю. Цей підхід широко використовується в прикладній математиці для спрощення перетворень математичних об'єктів. Проте деякі автори втрачають об'єктивність у математичних операціях, як це видно з [6], де автор допускає грубі помилки при виконанні математичних операцій з нескінченністю та нулем (нескінченно малою величиною).

Нескінченність також широко використовується в різних математичних методах, таких як:

- розв'язування інтерполяційних задач [7];
- застосування чисельних алгоритмів для розв'язання інженерних задач, у тому числі визначення меж області обмежень [8];
- визначення поняття півпростору [9];
- визначення параметрів функцій [10] та їх меж [11];
- визначення розмірності та вибірки матриць [12, 13].

Нескінченність також використовується в аналізі нескінченних рядів [14]. У цій же роботі розглядаються парадокси нескінченності, в тому числі парадокс Торрічеллі, який тісно пов'язаний з поняттям обмеженої нескінченності.

При визначенні поняття нескінченності необхідно звернути увагу на кілька важливих аспектів, які були встановлені раніше і можуть допомогти у подальшому дослідженні:

- множина – це нескінченна сукупність підмножин [15];
- необхідно розрізняти і чітко ідентифікувати два дуже різних, хоча і жорстко взаємопов'язаних поняття: нескінченно велике і нескінченно мале [4];
- існують потенційні та реальні нескінченності [16];
- у задачах пошуку рішень в межах обмеженої області рішень можна говорити про нескінченність рішень [17].

Останній аспект часто спостерігається в наукових та інженерних задачах. Існують задачі, для яких характерним є пошук рішень за наявності невизначеної системи рівнянь [18] або коли необхідні чисельні методи розв'язання [19]. У вирішенні таких задач можуть допомогти різні математичні методи та алгоритми, наприклад метод квазіконстант [18] і метод функціональної збіжності [19]. У цьому випадку доводиться оперувати обмеженою нескінченністю, але це поняття не є чітко сформульованим і дослідженим.

Мета статті: ідентифікація та різноаспектне дослідження обмеженої нескінченності.

Виклад основного матеріалу. Обмежена нескінченність є невід'ємною частиною нескінченності; це відношення понять аналогічно двом поняттям множини і підмножини [15]. Для позначення обмеженої нескінченності пропонується використовувати символ « $\boxed{\infty}$ », тоді можна записати:

$$\boxed{\infty} \in \infty. \quad (1)$$

Враховуючи, що обмежена нескінченність є областю можливих рішень для деякої математичної задачі, яка представляє реальний фізичний об'єкт, можна стверджувати, що межі обмеженої нескінченності завжди чітко визначені та характеризуються кінцевими значеннями. Наприклад, якщо розглянути проблему визначення оптимальних геометричних розмірів об'єкта проектування [18], тоді очевидно, що ці розміри обмежені технологічними умовами або максимальними значеннями, котрі визначаються системою більш високого рівня, в яку вбудовується об'єкт проектування. Отже, можна сформулювати першу відмінну рису обмеженої нескінченності: вона має межі, які представлені кінцевими значеннями.

У цьому випадку межі можна представити у вигляді функцій обмежень, які зазвичай мають місце в прикладних задачах. Однак зазначені функціональні обмеження також характеризуються кінцевими значеннями. Це графічно показано на рис. 1.

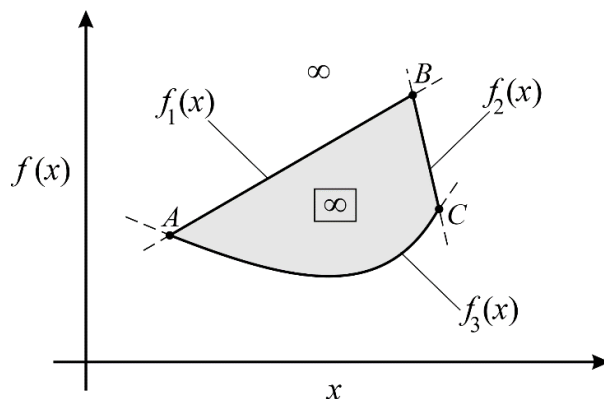


Рис. 1. Приклад зображення меж обмеженої нескінченності

Джерело: розроблено автором

Кількість незалежних змінних або розмірність простору обмеженої нескінченності можна загалом представити у вигляді n -вимірного вектору, а обмеження – m -вимірним вектором функцій. На рис. 1 для однієї незалежної змінної показано три функціональні обмеження: $f_1(x)$ – від точки A до точки B , $f_2(x)$ – від точки B до точки C і $f_3(x)$ – від точки A до точки C . Функціональні обмеження можуть бути лінійними та нелінійними, дискретними і неперервними, але вони завжди мають кінцеві значення.

У цьому представленні обмежену нескінченність можна сплутати з областю обмежень, але це помилково. Обмежена нескінченність фактично представляє кількість можливих рішень у межах області обмежень. Якщо зробити переміщення, наприклад, з точки A в точку C (рис. 1) з кроком розміром $h(\Delta x)$, тоді можливим буде зробити n кроків. Кожна з нових точок на шляху руху буде відповідати рішенню задачі пошуку. Кількість точок буде залежати від розміру кроку $h(\Delta x)$, і якщо його прийняти нескінченно малим $h(\Delta x) \rightarrow 0$, тоді кількість рішень прагне до нескінченності ∞ . У цьому полягає суть запропонованої концепції обмеженої нескінченності. Обмежена нескінченність обмежена в просторі, але має потенційно нескінченну кількість значень.

Дуже важливою властивістю обмеженої нескінченності є її позитивність. Вона являє собою кількість рішень, яке завжди вимірюється позитивним дійсним числом (варіант відсутності рішення, яке відповідає комплексним числам, у цьому випадку не розглядається, оскільки він не зустрічається в реальних прикладних задачах при правильній постановці). Тому обмежена нескінченність завжди позитивна:

$$|\infty| > 0. \quad (2)$$

Обмежена нескінченність, як і будь-який інший математичний об'єкт, характеризується набором певних властивостей. Одна з цих властивостей була відзначена вище: кінцеві межі. Виходячи з цього та враховуючи (1), можна стверджувати, що обмежена нескінченність є частиною нескінченності і, отже, менша за нескінченність:

$$|\infty| < \infty. \quad (3)$$

Нерівність (3) ставить питання про співвідношення між обмеженою нескінченністю та глобальною нескінченністю. Очевидно, що глобальна нескінченність містить у собі нескінченну кількість разів обмежену нескінченність. Це можна вважати розміщенням прямокутника зі скінченними значеннями сторін на нескінченній площині, тоді:

$$\infty/|\infty| = \infty. \quad (4)$$

Рівняння (4) вказує на те, що обмежена нескінченність насправді є «кінцевим числом», що є парадоксальним фактом. Однак цей парадокс легко усунути, якщо взяти крок за модулем $h(\Delta \bar{x})$, більший за нескінченно малу величину. Тоді загальна кількість рішень у обмеженій нескінченності відповідатиме N – кількості вузлів просторової сітки зі сторонами елементарного простору, які дорівнюють за модулем $h(\Delta \bar{x})$. У цьому випадку (4) набуває вигляду:

$$\infty/N = \infty, \quad (5)$$

що цілком узгоджується з класичним уявленням про математичні операції з нескінченністю.

Виходячи з вищезазначеного, можна виділити ще одну характерну властивість обмеженої нескінченності: вона має кінцеве значення.

Це абсолютно вірно для прикладних задач, коли точність рішення задачі визначається допустимою похибкою ε . У таких випадках виконується умова $|h(\Delta \bar{x})| \leq \varepsilon$. Тоді, на основі (4) і (5), можна нарешті записати:

$$|\infty| = \lim_{|h(\Delta \bar{x})| \rightarrow \varepsilon} |\infty| = N. \quad (6)$$

Враховуючи (6), можна зазначити, що необхідна точність визначення рішення буде досягнута за умови, якщо $|\infty| \geq N$.

У такому прикладному застосуванні обмежена нескінченність вироджується в кінцеву множину, а її концепція та застосування втрачають необхідний рівень обґрунтування. Однак це тільки на перший погляд. Зі зменшенням значення помилки ε множина перетворюється в обмежену нескінченність з рядом властивостей, близьких до глобальної нескінченності, а використання обмеженої нескінченності значно спрощує її математичне оперування, оскільки завжди простіше використовувати кінцеве значення у математичних перетвореннях та обчисленнях.

Взагалі для більш акцентованого розуміння різниці між звичайною нескінченністю, обмеженою нескінченністю та множиною необхідно порівняти їх властивості (табл. 1).

Порівняльна таблиця властивостей

Властивість	Нескінченність	Обмежена нескінченність	Множина
наявність алгоритму визначення значень	не має	не має	існує
наявність обмежень	не має	існують	існують
кількість значень	нескінченна кількість	нескінченна кількість	нескінченна кількість
кількість значень при застосуванні додаткових обмежень	нескінченна кількість	нескінченна кількість	нескінченна кількість або кінцеве значення
кількість значень при застосуванні припустимої похибки розрахунку	нескінченна кількість	кінцеве значення	кінцеве значення

Джерело: розроблено автором

Під множиною (табл. 1) розуміється, наприклад, сукупність вищих гармонійних складових електричного сигналу, які отримуються шляхом розкладання несинусоїдального сигналу за допомогою рядів Фур'є. Відповідно така множина має обмеження за найменшою частотою і не має обмеження за найвищою частотою, але це тільки теоретично. Основною особливістю прикладного застосування множини є наявність чіткого алгоритму визначення кожного елемента, що зазвичай відсутнє у класичної або обмеженої нескінченності. Остання споріднена з множиною за наявністю обмежень. Ще одною важливою властивістю є кількість значень, яка для всіх трьох понять (табл. 1) однакова і дорівнює нескінченній кількості, що поєднує їх, і створює умови їх помилкового використання. Але якщо застосовуються додаткові обмеження та припустимі похибки розрахунку, які характерні для відповідної технічної системи, тоді відбувається диференціація понять. Застосування додаткових обмежень майже завжди в електротехніці призводить до обмеження кількості членів ряду, що робить кількість, наприклад, вищих гармонійних складових кінцевим значенням. Але для класичної або обмеженої нескінченності це не призводить до суттєвих змін. На обмежену нескінченність більший вплив має похибка розрахунків, її застосування у обмеженому просторі миттєво призводить до зменшення кількості значень до визначеного числа. Така диференціація за наведеними ознаками (табл. 1) надає можливість однозначно ідентифікувати відповідний математичний інструмент у прикладній математичній задачі та чітко визначає сферу застосування обмеженої нескінченності.

На підставі властивостей, визначених вище, для обмеженої нескінченності можна сформулювати наступні правила її математичного оперування:

$$\begin{aligned}
 \overline{\infty}_1 + \overline{\infty}_2 &= N_1 + N_2, \\
 \overline{\infty}_1 \cdot \overline{\infty}_2 &= N_1 \cdot N_2, \\
 \overline{\infty} + \infty &= \infty, \\
 \overline{\infty} \cdot \infty &= \infty, \\
 \overline{\infty} \cdot 0 &= 0.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Відповідно до (7) можна стверджувати, що обмежена нескінченність поводить як скінченне число.

Єдиною складною ситуацією для визначення результату може бути варіант, коли припустима похибка прагне до нескінченно малого числа і при цьому виконуються дії, здатні значно збільшити кількісний набір обмеженої нескінченності:

$$\lim_{\varepsilon_1 \rightarrow 0} \overline{\infty}_1 \cdot \lim_{\varepsilon_2 \rightarrow 0} \overline{\infty}_2 \rightarrow \infty \tag{8}$$

або

$$\left(\lim_{\varepsilon_1 \rightarrow 0} \overline{\infty}_1 \right) \lim_{\varepsilon_2 \rightarrow 0} \overline{\infty}_2 \rightarrow \infty. \tag{9}$$

Результат, отриманий у (8) або (9), повинен мати значення, які фактично дорівнюють нескінченності, але в той же час його практично неможливо порівняти з глобальною нескінченністю, частинами якої є обмежені нескінченності. Такі труднощі виникають на межі існування обмеженої нескінченності. Щоб їх уникнути, необхідно забезпечити виконання умови:

$$1 \leq N \leq N_{\max}. \quad (10)$$

У (10) N_{\max} є деякою граничною кінцевою розмірністю обмеженої нескінченності, яка зазвичай визначається обчислювальними можливостями.

Слід зазначити, що в прикладних задачах ця умова завжди присутня і реалізується, тому що рішення з абсолютною точністю в реальній техніці не застосовується, а деяка похибка завжди припустима.

Також порівняння обмеженої нескінченності можливо виконати на основі відповідних оцінок: абсолютної інтегральної оцінки; відносної середньої інтегральної оцінки; кількості вузлів сітки припустимих похибок.

Абсолютна інтегральна оцінка визначає загальну площу, об'єм або багатовимірний простір у абсолютних одиницях, у загальному вигляді вона виглядає наступним чином:

$$I_a = \int_{x_1 \min}^{x_1 \max} \dots \int_{x_k \min}^{x_k \max} f_{1,k}(x_1, \dots, x_k) + \dots + f_{n,k}(x_1, \dots, x_k) - f_{n+1,k}(x_1, \dots, x_k) - \dots - f_{m,k}(x_1, \dots, x_k) d\bar{x}, \quad (11)$$

де $f_{1,k}(x_1, \dots, x_k) \dots f_{n,k}(x_1, \dots, x_k)$ – функції верхньої межі простору обмеженої нескінченності за i -тою незалежною змінною; $f_{n+1,k}(x_1, \dots, x_k) \dots f_{m,k}(x_1, \dots, x_k)$ – функції нижньої межі простору обмеженої нескінченності за i -тою незалежною змінною.

Оцінку (11) доцільно використовувати лише у випадку однакової розмірності фізичних величин всіх функцій меж $f(\bar{x})$ та припустимих похибок $\bar{\varepsilon}(\bar{x})$, інакше виникає конфлікт порівняння. Також виникає проблема врахування форми простору у співвідношенні до припустимих похибок.

Відносна середня інтегральна оцінка

$$I_B = \int_{x_1 \min}^{x_1 \max} \dots \int_{x_k \min}^{x_k \max} \frac{1}{(x_k \max - x_k \min) \cdot F_{\text{сєрк}}} \cdot [f_{1,k}(x_1, \dots, x_k) + \dots + f_{n,k}(x_1, \dots, x_k) - f_{n+1,k}(x_1, \dots, x_k) - \dots - f_{m,k}(x_1, \dots, x_k)] d\bar{x}, \quad (12)$$

де $F_{\text{сєрк}} = \frac{f_{p,k}(x_1, \dots, x_{\max k}) + f_{q,k}(x_1, \dots, x_{\min k})}{2}$ – середньоарифметична величина варіації простору обмеженої нескінченності за i -тою незалежною змінною.

Оцінка (12) на відміну від оцінки (11) є відносною та осередненою, що робить її незалежною від розмірності функцій $f(\bar{x})$, а використання середнього значення дозволяє порівнювати відповідні простори обмеженої нескінченності з частковим урахуванням фактору його форми. Але така оцінка, як і попередня, має обмежену наочність, яку можна спостерігати при використанні третьої оцінки – кількості вузлів сітки припустимих похибок.

Остання – третя запропонована оцінка – відображає кількість вузлів сітки припустимих похибок на площу простору обмеженої нескінченності, тому її застосування може бути виконане лише для прикладів, як на рис. 1, для j -тої площини

$$N_j = \sum_{i=0}^n \text{trunc} \left(\frac{f_{\max j}(x_{\min j} + i \cdot \varepsilon_j) - f_{\min j}(x_{\min j} + i \cdot \varepsilon_j)}{\varepsilon_j} \right) + 1, \quad (13)$$

де ε_j – припустима похибка для j -тої площини; $f_{\min j}(x_j)$ і $f_{\max j}(x_j)$ – максимальна та мінімальна обмежувальні функції площини простору обмеженої нескінченності; $n = \frac{x_{\max j} - x_{\min j}}{\varepsilon}$ – кількість кроків сітки за віссю незалежної змінної.

Якщо має місце багатовимірний простір, тоді задача визначення оцінки зводиться до сукупності плоских задач, тобто суми отриманих за (13) субоцінок

$$N = \sum_{j=1}^k N_j. \quad (14)$$

Таким чином, застосовуючи оцінки (11), (12) і (14) загалом або окремо, можна об'єктивно порівняти не тільки обмежені нескінченності, а ще й складні вирази, до яких вони входять.

Найбільш яскраво обмежена нескінченність проявляється в методах квазіконстант [18] і функціональної збіжності [19], де фактично нескінченна множина (глобальна нескінченність) рішень зводиться до скінченної множини (обмежена нескінченність). Це зменшення триває до тих пір, поки не буде досягнута задана точність розрахунку, яка має місце при $N = 1$.

Обидва методи відносяться до прикладних математичних інструментів, які розроблені для реалізації проектних процедур.

Метод квазіконстант, наприклад, надає змогу перетворити математичну модель електричної машини, яка представлена у вигляді невизначеної системи рівнянь, на математичну модель, яка вже відображається за допомогою визначеної системи рівнянь (рис. 2, а).

Це досягається шляхом перетворення деяких змінних і невідомих параметрів в умовні середньозважені константи (квазіконстанти) для отримання паритету в кількості невідомих змінних і незалежних рівнянь. Насправді метод працює з обмеженою нескінченністю рішень на першому етапі, яка поступово зводиться до стану, коли $N = 1$.

Метод функціональної збіжності (рис. 2, б) дозволяє забезпечити штучну надлишковість у певній системі рівнянь, що призводить до двох і більш кратного вираження одної з невідомих у функціях одної чи кількох інших невідомих величин.

Перетинання отриманих функцій надає шуканий результат або визначає простір обмеженої нескінченності рішень. Подальша корекція отриманої надмірності в системі рівнянь дозволяє зменшити розмір обмеженої нескінченності до єдиного рішення з необхідною точністю.

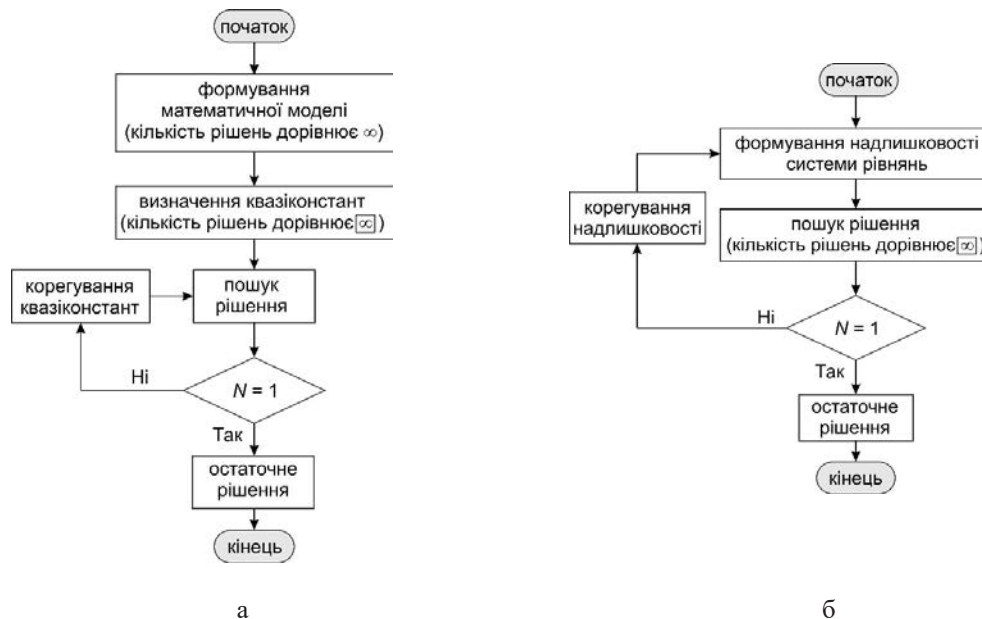


Рис. 2. Алгоритми методу квазіконстант (а) та методу функціональної збіжності (б)

Джерело: розроблено автором

Обмежена нескінченність спостерігається також при дослідженні перехідних процесів у різних технічних пристроях, наприклад, це стосується динамічних режимів електричних машин [20]. Будь-який перехідний процес є сполучною ланкою між двома сталими режимами. Він характеризується нелінійною зміною величин, які визначають стан технічного пристрою. Кількість точок, які дозволяють побудувати криві перехідного процесу, залежить від кроку за часом; якщо вважати його нескінченно малим, тоді кількість точок прагне до нескінченності, але насправді вона все одно визначається кінцевим числом, тобто кількість точок – обмежена нескінченність.

Іншими прикладами використання обмеженої нескінченності є задачі оптимізації [21], які пов'язані з пошуком оптимального рішення в обмеженому просторі припустимих рішень. При цьому кількість можливих варіантів об'єкта проєктування визначається припустимою похибкою рішення і розміром простору пошуку. Якщо похибка стає нескінченно малою, тоді кількість варіантів об'єкта проєктування прагне до нескінченності, точніше, до обмеженої нескінченності.

Концепція обмеженої нескінченності має більш широке застосування, котре виходить за межі технічних проблем. Прикладом може бути кількість космічних об'єктів, які спостерігаються в об'єктиві телескопа. Насправді це має бути нескінченний набір, оскільки кількість об'єктів нескінченно збільшується з віддаленням у космос, але оптична роздільна здатність телескопа дозволяє побачити лише частину з них. Таким чином, характеристики телескопа створюють обмеження, яке перетворює нескінченну множину в обмежену нескінченність.

Загалом існує широкий спектр задач (здебільше прикладних), в яких можна використовувати поняття обмеженої нескінченності.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Обмежена нескінченність є окремим і добре сформованим поняттям у галузі прикладної математики. Його застосування спрощує формалізацію розв'язування задач, які характеризуються невизначеністю системи рівнянь, вимагають використання чисельних процедур розв'язування або містять глобальну нескінченність.

Основна складність застосування обмеженої нескінченності є порівняння наближено однакових за умовним простором величин, які відображаються за допомогою обмеженої нескінченності. Наведені у роботі порівняльні оцінки ще потребують подальшого дослідження та вдосконалення.

Список використаних джерел:

1. Hong Z. Dialectical infinity and the third mathematical crisis – on the fundamental error of actual infinity // *Journal of Research in Philosophy and History*, Vol. 3, No. 2. 2020, pp. 73–95.
2. Díaz-Chang T., Arredondo E.-H. Conceptual metaphors and tacit models in the study of mathematical infinity // *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, No. 17(15), 2022, pp. 16–27.
3. Kajander A., Lovric M. “It does not exist”: Infinity and division by zero in the Ontario mathematics curriculum // *Can J Sci Math Techn.*, No. 18, 2018, pp. 154–163.
4. Tall D. Natural and formal infinities // *Educational Studies in Mathematics*, vol. 48, 2001, pp. 199–238.
5. Jacquette D. *Philosophy of logic*. Elsevier, 2007.
6. Denis O. Global dimensional mathematics // *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 36(7), article no. JAMCS.72488, 2021, doi: 10.9734/jamcs/2021/v36i730378
7. Anetor Osemekhian, Ebhohimen Fidelis, Esekhaigbe Edwin. Rational interpolation method for solving initial value problems (IVPS) in ordinary differential equations // *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, Issue 9, 2013. Av.: <http://www.ijrsp.org/research-paper-0913.php?rp=P211754>.
8. Lamtyugova S.N., Sidorov M.V., Sytnykova I.V. Method of numerical analysis of the problem of mass transfer of a cylindrical body with the uniform translational flow, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, vol. 2, 2018, doi: 10.15588/1607-3274-2018-2-3.
9. Brazitikos S., Giannopoulos A., Pafis M. Half-space depth of log-concave probability measures // *Probab. Theory Relat. Fields*, 2023, doi: 10.1007/s00440-023-01236-2.
10. Al-Shamiri M.M., Rexma Sherine V., Britto Antony Xavier G., Saraswathi D., Gerly T.G., Chellamani P., Abdalla M.Z.M., Avinash N., Abisha M. A New Approach to Discrete Integration and its Implications for Delta Integrable Functions // *Mathematics*, 2023, 11, 3872, doi: 10.3390/math11183872.
11. Abdulhameed Qahtan Abbood Altai. Fuzzy limits of fuzzy functions // *Malaysian Journal of Science*, 40(3): Oct 2021, pp. 76–106.
12. Xiaodong Wang, Feng Wang. Infinity norm upper bounds for the inverse of S DDK matrices // *AIMS Mathematics*. No. 8. 2023. pp. 24999-25016, doi: 10.3934/math.20231276.
13. Johannes H., Jianfeng Y. Limiting distributions for eigenvalues of sample correlation matrices from heavy-tailed populations // *The Annals of Statistics*. Vol. 50, 2022, pp. 3249–3280.
14. Sergeev Y. D. Some paradoxes of infinity revisited // *Mediterr. J. Math.*, article no. 19:143, 2022, doi: 10.1007/s00009-022-02063-w.
15. Hijriati N., Yulianti I., Susanti D., Angraini D. The construction of soft sets from fuzzy subsets // *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*. Vol. 17, Iss. 3, Sep. 2023, pp. 1473–1482, doi: 10.30598/barekengvol17iss3pp1473-1482.
16. Mueckenheim W. The meaning of infinity // *arXiv: General Mathematics*, 2004, doi: 10.48550/arXiv.math/0403238.
17. Yan B., O’Regan D., Agarwal R.P. Infinite number of solutions for some elliptic eigenvalue problems of Kirchhoff-type with non-homogeneous material // *Boundary Value Problems*, vol. 44, 2021, doi: 10.1186/s13661-021-01522-9.
18. Кімстач О.Ю. Проектування асинхронних двигунів малої і середньої потужності загального призначення з короткозамкненим ротором: навчальний посібник. – Миколаїв; НУК, 2015. – 188 с.
19. Кімстач О.Ю. Метод функціональної збіжності. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: ХНТУ, 2017. Вип. 1 (60) С. 11–19.
20. Chiasson John Nelson. Modeling and high-performance control of electric machines / John Chiasson. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2005. – 709 p.
21. Çunkaş M., Akkaya R. Design optimization of induction motor by genetic algorithm and comparison with existing motor // *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 11, No. 3, 2006, pp. 193–203.

References:

1. Hong, Z. (2020). Dialectical infinity and the third mathematical crisis – on the fundamental error of actual infinity. *Journal of Research in Philosophy and History*, Vol. 3, No. 2, pp. 73-95.
2. Díaz-Chang, T., Arredondo, E.-H. (2022). Conceptual metaphors and tacit models in the study of mathematical infinity. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, No. 17(15), pp. 16-27.
3. Kajander, A., Lovric, M. (2018). “It does not exist”: Infinity and division by zero in the Ontario mathematics curriculum. *Can J Sci Math Techn.*, No. 18, pp. 154-163.
4. Tall, D. (2001). Natural and formal infinities. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 48, pp. 199-238.
5. Jacquette, D. (2007). *Philosophy of logic*. Elsevier.

-
6. Denis, O. (2021). Global dimensional mathematics. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 36(7), article no. JAMCS.72488, doi: 10.9734/jamcs/2021/v36i730378
 7. Anetor Osemenkhan, Ebhohimen Fidelis, Esekhaigbe Edwin. (2013). Rational interpolation method for solving initial value problems (IVPS) in ordinary differential equations. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, Issue 9. Av.: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0913.php?rp=P211754>.
 8. Lamtyugova, S.N., Sidorov, M.V., Sytnykova, I.V. (2018). Method of numerical analysis of the problem of mass transfer of a cylindrical body with the uniform translational flow. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, vol. 2, doi: 10.15588/1607-3274-2018-2-3.
 9. Brazitikos, S., Giannopoulos, A., Pafis, M. (2023). Half-space depth of log-concave probability measures. *Probab. Theory Relat. Fields*, doi: 10.1007/s00440-023-01236-2.
 10. Al-Shamiri, M.M., Rexma Sherine, V., Britto Antony Xavier, G., Saraswathi, D., Gerly, T.G., Chellamani, P., Abdalla, M.Z.M., Avinash, N., Abisha, M. (2023). A New Approach to Discrete Integration and its Implications for Delta Integrable Functions. *Mathematics*, 11, 3872, doi: 10.3390/math11183872.
 11. Abdulhameed Qahtan Abbood Altai. (2021). Fuzzy limits of fuzzy functions. *Malaysian Journal of Science*, 40(3), pp. 76-106.
 12. Xiaodong Wang, Feng Wang. (2023). Infinity norm upper bounds for the inverse of S DDK matrices. *AIMS Mathematics*. No. 8. pp. 24999-25016, doi: 10.3934/math.20231276.
 13. Johannes, H., Jianfeng, Y. (2022). Limiting distributions for eigenvalues of sample correlation matrices from heavy-tailed populations. *The Annals of Statistics*. Vol. 50, pp. 3249-3280.
 14. Sergeev, Y. D. (2022). Some paradoxes of infinity revisited. *Mediterr. J. Math.*, article no. 19:143, doi: 10.1007/s00009-022-02063-w.
 15. Hijriati, N., Yulianti, I., Susanti, D., Anggraini, D. (2023). The construction of soft sets from fuzzy subsets. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*. Vol. 17, Iss. 3, pp. 1473-1482, doi: 10.30598/barekengvol17iss3pp1473-1482.
 16. Mueckenheim, W. (2004). The meaning of infinity. *arXiv: General Mathematics*, doi: 10.48550/arXiv.math/0403238.
 17. Yan, B., O'Regan, D., Agarwal, R.P. (2021). Infinite number of solutions for some elliptic eigenvalue problems of Kirchhoff-type with non-homogeneous material. *Boundary Value Problems*, vol. 44, doi: 10.1186/s13661-021-01522-9.
 18. Kimstach, O.Yu. (2015). *Proektuvannia asynkhronnykh dvyhuniv maloi i serednoi potuzhnosti zahalnoho pryznachennia z korotkozamknenym rotorom: navchalnyi posibnyk*. Mykolaiv: NUK.
 19. Kimstach, O.Yu. (2017). Metod funktsionalnoi zbizhnosti [Method of functional convergence] // *Visnyk of Kherson National Technical University*, issue 1 (60), pp. 11-19.
 20. Chiasson John Nelson. (2005). *Modeling and high-performance control of electric machines*. New Jersey: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
 21. Çunkaş, M., Akkaya, R. (2006). Design optimization of induction motor by genetic algorithm and comparison with existing motor. *Mathematical and Computational Applications*, vol. 11, No. 3, pp. 193-203.

Мотайло А. П., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри природничо-наукової підготовки
Херсонської державної морської академії
ORCID: 0000-0002-6775-5788

ПОБУДОВА БАЗИСУ БІПІРАМІДИ З ТРЬОМА РУХОМИМИ ВУЗЛАМИ

У статті розглянуто можливості апроксимації методом скінченних елементів функції трьох змінних в області, яка має форму чотирикутної біпіраміди. Основною задачею даного дослідження є покращення апроксимаційних властивостей решіток тетрадрально-октадральної структури шляхом поповнення їх комірками, які не є правильними багатогранниками. Зокрема, автором вивчаються скінченні елементи, які утворені в результаті лінійних деформацій октаедра.

У даній роботі об'єктом досліджень є скінченний елемент у формі біпіраміди з трьома рухомими вузлами, які можна переміщати вздовж півосей багатогранника. Дана властивість дозволяє пристосувати скінченний елемент, який не є правильним багатогранником, до границі розрахункової області краще за правильний багатогранник.

У роботі побудовано два скінченно-елементні базиси біпіраміди з сімома та шістьма вузлами інтерполяції. Для побудови базисних функцій біпіраміди застосовано два методи: геометричний та метод конденсації. Отримані базиси є поліноміальними функціями, які параметрично залежать від значень трьох коефіцієнтів видовження/стиснення півосей біпіраміди. Базис з шістьма вузлами інтерполяції містить додатковий параметр у вигляді вагового коефіцієнта, який є наслідком застосування процедури конденсації до функцій семивузлового базису біпіраміди. Наявність параметрів дозволяє покращувати інтерполяційні властивості побудованих базисів біпіраміди відповідно до критеріїв якості апроксимації, які використовують в методі скінченних елементів. В даній роботі таким критерієм вважається величина сліду матриці жорсткості. Згідно з обраним критерієм знайдено значення коефіцієнтів лінійної деформації трьох півосей октаедра, при яких слід матриці жорсткості біпіраміди є мінімальним.

У статті отримано інтервальні оцінки для коефіцієнтів видовження/стиснення трьох півосей октаедра, які характеризують відхилення геометричних розмірів біпіраміди від правильного багатогранника та приводять до втрати всіх видів симетрії. Для визначення меж допустимих значень коефіцієнтів лінійних деформацій октаедра розраховано показник асиметрії Skewness, який використовують в системі скінченно-елементного аналізу ANSYS. Отримані інтервальні оцінки для коефіцієнтів видовження/стиснення півосей октаедра відповідають критерію мінімальності сліду матриці жорсткості біпіраміди з трьома рухомими вузлами, що вказує на позитивний прогноз використання даного скінченного елемента як комірки решітки тетрадрально-октадральної структури.

Перспективою подальших досліджень є побудова кубатурних формул на скінченному елементі в формі біпіраміди з трьома рухомими вузлами з метою використання його при алгоритмізації методу скінченних елементів.

Ключові слова: скінченний елемент, біпіраміда, вузли інтерполяції, метод конденсації, базис, базисні функції, матриця жорсткості.

Motailo A. P. Constructing of bipyramid basis with three movable nodes

The article discusses the possibilities of approximation by the finite element method of the function of three variables in the region that has the shape of a quadrangular bipyramid. The main task of this study is to improve the approximation properties of lattices of the tetrahedral-octahedral structure by replenishing them with cells that are not regular polyhedra. In particular, the author studies finite elements, which are formed as a result of linear deformations of the octahedron.

In this work, the object of research is a finite element in the form of a bipyramid with three movable nodes that can be moved along the semi-axes of the polyhedron. This property makes it possible to adjust a finite element that is not a regular polyhedron to the boundary of the computational domain better than a regular polyhedron.

Two finite-element bases of a bipyramid with seven and six interpolation nodes are constructed in the paper. Two methods are used to construct the basic functions of the bipyramid: the geometric method and the condensation method. The obtained bases are polynomial functions that parametrically depend on the values of the three elongation/compression coefficients of the semi-axes of the bipyramid. The basis with six interpolation nodes contains an additional parameter that is a weight coefficient, which is a consequence of the application of the condensation procedure to the functions of the seven-node basis of the bipyramid. The availability of parameters allows improving the interpolation properties of the constructed bipyramid bases in accordance with the approximation quality criteria used in the finite element method. In this work, such a criterion is considered to be the value of the trace of the stiffness matrix. According to the selected criterion, the values of the linear deformation coefficients of the three semi-axes of the octahedron are found, at which the trace of the bipyramid stiffness matrix is minimal.

In the article we have obtained interval estimates for the elongation/compression coefficients of the three semi-axes of the octahedron, which characterize the deviation of the geometric dimensions of the bipyramid from the regular polyhedron and lead to the loss of all types of symmetry. To determine the limits of the permissible values of the coefficients of linear deformations of

the octahedron, the Skewness asymmetry index used in the ANSYS finite element analysis system was calculated. The obtained interval estimates for the elongation/compression coefficients of the octahedron semi-axes correspond to the criterion of minimality of the trace of the stiffness matrix of a bipyramid with three moving nodes, which indicates a positive prediction of the use of this finite element as a lattice cell of the tetrahedral-octahedral structure.

Prospect for further research is the construction of cubature formulas on a finite element in the form of a bipyramid with three moving nodes in order to use it in the algorithmization of the finite element method.

Key words: finite element, octahedron, bipyramid, interpolation nodes, condensation method, basis, basis functions, condensation method, stiffness matrix.

Постановка проблеми. Як відомо при розв'язанні граничних задач математичної фізики методом скінченних елементів (МСЕ) для об'ємних областей обчислювальна складність алгоритму є достатньо високою. Найчастіше це пов'язано з уточненням дискретної моделі розрахункової області в місцях дії зовнішніх та внутрішніх сил, навантажень, джерел тепла тощо. Відповідно збільшуються часова складність алгоритму та об'єм пам'яті, необхідні для реалізації МСЕ. У випадках, коли задача не може бути розв'язана за прийнятний час, одним із способів зменшення складності обчислень є застосування альтернативних решіток для побудови дискретної моделі. На практиці відомо про використання в 3D решіток тетраедрадрально-октаедрадральної структури, які дозволяють скоротити час скінченно-елементних розрахунків порівняно з решітками тетраедрадральної структури. При цьому октаедр не міститься в бібліотеках систем скінченно-елементного аналізу (ANSYS, NASTRAN, ЛІРА та ін.). Тому існує задача дослідження скінченних елементів (СЕ) в формі октаедра та чотирикутної біпіраміди, яка краще за правильний багатогранник може бути пристосована до границь розрахункової області.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [1, 2] побудовано скінченно-елементні базиси октаедра з сімома вузлами інтерполяції. Авторами [1] застосовано решітки, які містять октаедри, при розв'язанні граничних задач для розрахунку медичних характеристик. У вказаній роботі експериментально доведено, що застосування октаедрів зменшує часову складність алгоритму МСЕ порівняно з результатами, які отримано при триангуляції області задачі. У роботі [2] рівняння 3D-ідеального потоку нестисливої рідини дискретизовано МСЕ. Збіжність чисельного розв'язку до точного в даній задачі перевірено в області, яка має форму гексаедра з вписаним у нього октаедром. У роботі [3] побудовано базиси октаедра з шістьма вузлами інтерполяції та доведено збіжність МСЕ при розв'язанні граничних задач для рівнянь еліптичного типу за умови дискретизації розрахункової області решіткою тетраедрадрально-октаедрадральної структури.

У роботах [4, 5] біпіраміда розглядається як СЕ, який отримано шляхом лінійних деформацій неоднієї та двох півосей октаедра. Подібні деформації СЕ правильної геометричної форми виникають при дискретизації розрахункової області, коли деякі вузли доводиться виносити на границю. У даних роботах побудовано параметричні базиси біпіраміди з одним та двома рухомими вузлами, а також визначено умови їх використання при розв'язанні граничних задач МСЕ. При цьому питання винесення на границю трьох вузлів октаедра залишається не дослідженим. Отже, актуальною є задача вивчення можливостей інтерполяції на СЕ в формі біпіраміди, яка утворена в результаті трьох лінійних деформацій півосей октаедра.

Метою даної статті є побудова базисів біпіраміди з трьома рухомими вузлами, дослідження їх геометричних та апроксимаційних властивостей, а також визначення умов їх використання при розв'язанні граничних задач МСЕ.

Виклад основного матеріалу. Розглядається чотирикутна біпіраміда, яка має сім вузлів інтерполяції, розташовані в її вершинах та точці перетину діагоналей (рис. 1). Вважається, що точки K_3, K_4, K_6 віддалені від центру багатогранника K_0 на відстань a ($a \in R$), а відрізки K_0K_1, K_0K_2 та K_0K_5 мають пропорційні величині a довжини:

$$K_0K_1 = r \cdot a = t, K_0K_2 = p \cdot a = b, K_0K_5 = q \cdot a = c, \quad (1)$$

де $r, p, q > 0$ та $r, p, q \in R$.

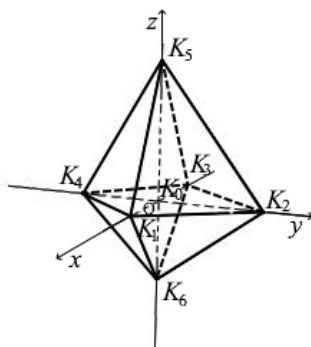


Рис. 1. Чотирикутна біпіраміда як скінченний елемент

Джерело: побудовано в середовищі комп'ютерної математики Maple для коефіцієнтів $r=0,9; p=0,7; q=1,2$

Базисні функції біпіраміди, які відповідають її вершинам, легко отримати, застосовуючи геометричні методи побудови [7]:

$$\begin{aligned} NS_1 &= \frac{1}{t(a+t)} x(x+a); & NS_3 &= \frac{1}{a(a+t)} x(x-t); \\ NS_2 &= \frac{1}{b(a+b)} y(y+a); & NS_4 &= \frac{1}{a(a+b)} y(y-b); \\ NS_5 &= \frac{1}{c(a+c)} z(z+a); & NS_6 &= \frac{1}{a(a+c)} z(z-c). \end{aligned} \quad (2)$$

Базисну функцію, яку асоційовано з центральним вузлом, можна знайти з рівності:

$$NS_0 = 1 - \sum_{i=1}^6 NS_i, \text{ де } i = \overline{1;6}. \quad (3)$$

Тоді за формулами (1), (2) можна бачити, що функція (3) є явно залежною від координат (x, y, z) та параметрів a, r, p, q :

$$NS_0 = 1 - \frac{1}{pqra^2} (pq(x^2 + a(1-r)x) + rq(y^2 + a(1-p)y) + rp(z^2 + a(1-q)z)). \quad (4)$$

Тотожними перетвореннями функцію (4) можна звести до вигляду:

$$NS_0 = \left(1 + \frac{(1-r)^2}{4r} + \frac{(1-p)^2}{4p} + \frac{(1-q)^2}{4q} \right) \cdot F, \quad (5)$$

$$\text{де } F = 1 - \frac{\left(x + \frac{1}{2}a(1-r)\right)^2}{\frac{a^2G}{4pq}} - \frac{\left(y + \frac{1}{2}a(1-p)\right)^2}{\frac{a^2G}{4qr}} - \frac{\left(z + \frac{1}{2}a(1-q)\right)^2}{\frac{a^2G}{4pr}},$$

$$G = pq(r^2 + 1) + (qp^2 + (1-q)^2 p + q)r.$$

Представлення функції NS_0 у вигляді (5) дозволяє геометрично її інтерпретувати. Дійсно, поверхнями рівня базисної функції $NS_0 = NS_0(x, y, z, a, r, p, q)$ в цьому випадку є еліпсоїди зі зміщеними в точку $\left(\frac{a(r-1)}{2}, \frac{a(p-1)}{2}, \frac{a(q-1)}{2}\right)$ центрами, якщо початок системи координат пов'язувати з вузлом K_0 (рис. 2).

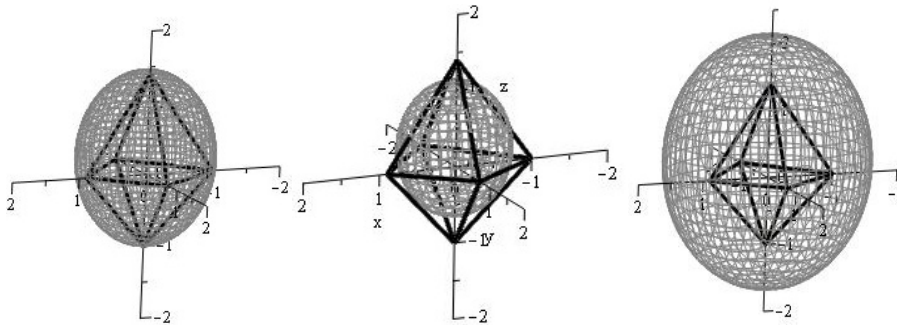


Рис. 2. Поверхні рівня центральної функції $NS_0(x, y, z, a, r, p, q) = C$

Джерело: побудовано в середовищі комп'ютерної математики Maple для $a=1, p=0,7, q=1,2, r=0,9; C=0, C=0,7, C=1,2$

Поверхні рівня базисних функцій $\{NS_i\}_{i=1}^6$ є парами паралельних площин, що проходять через основу, яка не містить однойменного вузла i , та протилежну вершину біпіраміди.

Для побудови базису чотирикутної біпіраміди з шістьма вузлами інтерполяції достатньо застосувати процедуру конденсації [7], розподіляючи внесок центральної функції з ваговими коефіцієнтами по тих вузлах, які знаходяться в вершинах багатогранника, тобто:

$$\begin{aligned} NC_1 &= NS_1 + \alpha_1 \cdot NS_0, & NC_3 &= NS_3 + \alpha_2 \cdot NS_0, \\ NC_2 &= NS_2 + \beta_1 \cdot NS_0, & NC_4 &= NS_2 + \beta_2 \cdot NS_0, \\ NC_5 &= NS_5 + \gamma_1 \cdot NS_0, & NC_6 &= NS_6 + \gamma_2 \cdot NS_0, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 + \beta_2 + \gamma_1 + \gamma_2 = 1; 0 \leq \alpha_1 \leq 1$.

Для дослідження апроксимаційних властивостей скінченно-елементного базису (6) необхідно зменшити кількість невідомих вагових коефіцієнтів. Задовольняючи умови повноти базису [7]:

$$\sum_{i=1}^6 x_i NC_i = x, \sum_{i=1}^6 y_i NC_i = y, \sum_{i=1}^6 z_i NC_i = z, \sum_{i=1}^6 NC_i = 1, -$$

та враховуючи їх лінійну залежність, можна отримати такі співвідношення вагових коефіцієнтів:

$$\alpha_2 = r\alpha_1; \beta_1 = \frac{1 - \alpha_1(r+1)}{p+1}; \beta_2 = p\beta_1; \gamma_1 = \frac{1 - \alpha_1(r+1)}{q+1}; \gamma_2 = q\gamma_1. \quad (7)$$

Згідно з умовами (6), ваговий коефіцієнт α_1 змінюється в межах від нуля до одиниці. Звідси легко отримати інтервальні оцінки для інших вагових коефіцієнтів:

$$0 \leq \alpha_2 \leq r; 0 \leq \beta_1 \leq \frac{1}{p+1}; 0 \leq \beta_2 \leq \frac{p}{p+1}; 0 \leq \gamma_1 \leq \frac{1}{q+1}; 0 \leq \gamma_2 \leq \frac{q}{q+1}.$$

Отже, базисні функції біпіраміди з шістьма вузлами інтерполяції визначаються формулами (6), (7).

Побудовані функції $\{NC_i\}_{i=1}^6$ є функціями координат (x, y, z) з параметрами r, p, q, α_1 . Для вивчення інтерполяційних властивостей отриманого базису в залежності від значень коефіцієнтів видовження/стиснення півосей багатогранника необхідно обрати критерій якості апроксимації. На думку автора [6], такою характеристикою може бути мінімальний слід матриці жорсткості SE. Обравши дану характеристику за основу визначення найкращого серед базисів біпіраміди, треба знайти відповідні значення параметрів r, p, q , при яких слід матриці жорсткості біпіраміди з базисними функціями (6), (7) буде мінімальним.

За формулою:

$$Trace = \sum_{i=1}^6 \iiint_V \left(\left(\frac{\partial NC_i}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial NC_i}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial NC_i}{\partial z} \right)^2 \right) dV,$$

де V – об'єм біпіраміди, – слід матриці жорсткості біпіраміди є функцією, яку можна представити функцією однієї змінної α_1 з параметрами r, p, q :

$$Trace = \frac{a}{30r^2 p^2 q^2 (1+r)(1+p)(1+q)} (A\alpha_1^2 + B\alpha_1 + C), \quad (8)$$

де

$$A = \sum_{|\alpha| \leq 12} a_{ijk} r^i p^j q^k, B = \sum_{|\alpha| \leq 12} b_{ijk} r^i p^j q^k, C = \sum_{|\alpha| \leq 12} c_{ijk} r^i p^j q^k \quad (9)$$

$$(\alpha = (i, j, k) - \text{мультиіндекс, } i, j, k = 0..4, |\alpha| = i + j + k)$$

– поліноміальні функції трьох змінних r, p, q зі сталими коефіцієнтами $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}$, які через громіздкість запису в даній роботі не наводяться.

Скориставшись необхідною умовою існування екстремуму функції однієї змінної ($d(Trace)/d\alpha_1 = 0$), легко знайти критичну точку $\alpha_1 = -B/(2A)$, яка є точкою мінімуму функції $Trace = Trace(\alpha_1)$, коли $A > 0$. При цьому $\alpha_1 = \alpha_1(r, p, q)$. Підстановкою даного виразу для α_1 у рівність (8) можна отримати функцію сліду матриці жорсткості як функцію трьох змінних параметрів $Trace = Tr(r, p, q)$. Для дослідження на екстремум необхідно знайти критичні точки даної функції (рис. 3), які є розв'язком системи рівнянь:

$$\begin{cases} \partial Tr / \partial r = 0; \\ \partial Tr / \partial p = 0; \\ \partial Tr / \partial q = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Виявляється, що умові $r, p, q > 0$ задовольняють лише два розв'язки системи:

$$r_1 \approx 0,64917; p_1 \approx 0,70588; q_1 \approx 0,70593;$$

$$r_2 \approx 0,16991; p_2 \approx 0,77288; q_2 \approx 0,77375.$$

Перевірка знаків головних мінорів матриці частинних похідних другого порядку функції $Trace = Tr(r, p, q)$ вказує на те, що точка (r_1, p_1, q_1) є точкою мінімуму. Отже, слід матриці жорсткості біпіраміди є мінімальним в цій точці та становить приблизно 2,358.

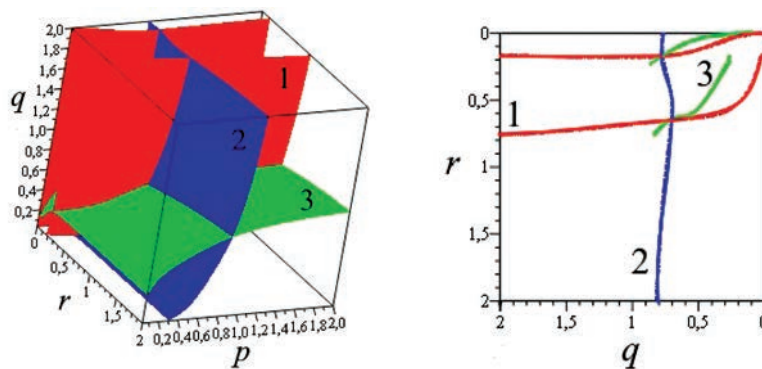


Рис. 3. Графічне представлення розв'язків системи (9) у просторі $Orpq$ та проєкції на площину Orq :
 1 – поверхня $\partial Tr/\partial r = 0$; 2 – поверхня $\partial Tr/\partial p = 0$; 3 – поверхня $\partial Tr/\partial q = 0$

Джерело: побудовано в системі комп'ютерної математики Maple за формулами (8), (9) для $a=1$; $r=0,9$; $p=0,7$; $q=1,2$

Подальший аналіз отриманих функцій базису біпіраміди, яка має три рухомі вузли, розташовані в вершинах K_1, K_2, K_5 , пов'язаний з тим, що даний СЕ не є правильним багатогранником. Дійсно, в даній роботі біпіраміду слід розглядати як поліедр, який отримано в результаті лінійних деформацій трьох півосей октаедра. Тоді необхідно визначити умови використання біпіраміди при алгоритмізації МСЕ. Застосовуючи методи, які рекомендовано системою скінченно-елементного аналізу ANSYS, для СЕ, який не є правильним багатогранником, треба обчислити показник асиметрії Skewness [8, 9]. Його значення є мірою асиметрії, яка розраховується як коефіцієнт пропорційності відносно об'єму СЕ, який є правильним багатогранником. При цьому відхилення в межах $\pm 0,1$ та $\pm 0,25$ від об'єму правильного геометричного тіла вважаються допустимими, відповідно, при високих та невисоких вимогах до точності отримуваних розв'язків.

Таким чином, на практиці припустимими є такі значення коефіцієнтів видовження/стиснення r, p, q півосей біпіраміди, які задовольняють умові $3,6 \leq rpq + r(p+1) + p(q+1) + q(r+1) \leq 4,4$ при високих вимогах до точності отримуваних розв'язків і $3 \leq rpq + r(p+1) + p(q+1) + q(r+1) \leq 5$ – при невисоких вимогах до точності отримуваних розв'язків. При цьому критичні значення коефіцієнтів r, p, q , при яких слід матриці жорсткості біпіраміди є мінімальним, задовольняють нерівність, яка відповідає високим вимогам до точності при розв'язанні задач МСЕ.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

1. У роботі побудовано два базиси біпіраміди з трьома рухомими вузлами, які можуть бути застосовані при дискретизації диференціальних рівнянь МСЕ для тривимірних областей. Побудовані функції допускають геометричну інтерпретацію та містять невизначені параметри, які дозволяють покращувати інтерполяційні властивості даного СЕ відповідно до обраного критерію якості апроксимації.

2. Досліджено геометричні властивості функцій семивузлового базису біпіраміди, які є рівняннями параболічного та еліптичного типів при будь-яких допустимих значеннях коефіцієнтів видовження/стиснення трьох півосей біпіраміди. Поверхні рівня функцій, які асоційовано з вершинами біпіраміди та її центром, є, відповідно, виродженими параболічними циліндрами та еліпсоїдами.

3. Досліджено апроксимаційні властивості побудованого базису біпіраміди з шістьма вузлами інтерполяції, функції якого залежать від значень коефіцієнтів видовження/стиснення трьох півосей біпіраміди. Згідно з критерієм визначення найкращого базису біпіраміди знайдено критичні значення коефіцієнтів видовження/стиснення трьох півосей біпіраміди, при яких слід матриці жорсткості на даному СЕ є мінімальним.

4. Знайдено інтервальні оцінки для коефіцієнтів видовження/стиснення трьох півосей біпіраміди з шістьма вузлами інтерполяції. Межі допустимих значень вказаних коефіцієнтів розраховано відповідно до вимог, які висувають до асиметричних СЕ в системі скінченно-елементного аналізу ANSYS.

5. Перспективою подальших досліджень є побудова кубатурних формул на СЕ в формі чотирикутної біпіраміди з метою включення його до бібліотеки МСЕ.

Список використаних джерел:

1. Greiner, G., Grosso, R. Hierarchical Tetrahedral-Octahedral Subdivision for Volume Visualization. *The Visual Computer*. 2000. Vol. 16. P. 357–369. URL: <https://doi.org/10.1007/PL00007214> (date of access: 25.04.2024).
2. de Bruijn, H. Numerical Method for 3D Ideal Flow. URL: <https://hdebruijn.soo.dto.tudelft.nl/jaar2010/octaeder.pdf> (date of access: 25.04.2024).
3. Мотайло А.П. Геометричне моделювання скалярних та векторних полів на решітках тетраедрально-октаедральної структури: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Дніпро, 2019. 24 с.

4. Мотайло А. П., Хомченко А. Н., Тулученко Г. Я. Побудова базису біпіраміди. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2016. №4 (39), С. 29–36. DOI: 10.15588/1607-3274-2016-4-4 (дата звернення: 25.04.2024).

5. Мотайло А.П. Побудова базису біпіраміди з двома рухомими вузлами. *Системи та технології*. Т. 65, №1. Дніпро, 2023. С.7–12 DOI: 10.32782/2521-6643-2023.1-65.1 (дата звернення: 25.04.2024).

6. Sekulović, M. *Metod konačnih elemenata*. Beograd: Gradevinska knjiga, 1984. 592 p.

7. Zienciewicz, O. C. *Introductory Lectures on the Finite Elements Method*. Wien: Springer-Verlag, 2014. 99 p.

8. ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide - 6.2.2 Mesh Quality. URL: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node167.htm> (date of access: 25.04.2024).

9. Skewness in ANSYS Meshing – Illustrated Explanation. URL: <https://mechanicalland.com/skewness-of-mesh-structures-in-ansys-meshing/#gsc.tab=0> (date of access: 25.04.2024).

References:

1. Greiner, G. & Grosso, R. (2000). Hierarchical Tetrahedral-Octahedral Subdivision for Volume Visualization. *The Visual Computer*, (16), 357–369. <https://doi.org/10.1007/PL00007214>

2. de Bruijn, H. (2010). Numerical Method for 3D Ideal Flow. Retrieved from: <https://hdebruijn.soo.dtu.tudelft.nl/jaar2010/octaeder.pdf>

3. Motailo, A. P. (2019). *Heometrychne modeliuвання skaliarnykh ta vektornykh poliv na reshitkakh tetraedralno-oktaedralnoi struktury* [Geometric modeling of scalar and vector fields on the lattices of tetrahedral-octahedral structure] (avtoref. dys. ... kandydata tekhn. nauk). Dniprovskiy natsionalnyi universytet imeni Olesia Honchara. Dnipro, Ukraina.

4. Motailo, A. P., Khomchenko, A. N. & Tuluchenko, H. Ya. (2016). Pobudova bazysu bipiramidy [The constructing of bipyramid's basis]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*. (4(39)), 29–36. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2016-4-4>

5. Motailo, A. P. (2023). Pobudova bazysu bipiramidy z dvoma rukhomymy vuzlamy. [Construction of bipyramid basis with two movable nodes] *Systemy ta tekhnolohiyi*. (65(1)), 7–12. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.1>

6. Sekulović, M. (1984). *Metod konačnih elemenata* [The Finite Element Method]. Beograd: Gradevinska knjiga.

7. Zienciewicz, O. C. (2014). *Introductory Lectures on the Finite Element Method*. Wien: Springer-Verlag.

8. ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide - 6.2.2 Mesh Quality. Retrieved from <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node167.htm>

9. *Skewness in ANSYS Meshing – Illustrated Explanation*. Retrieved from <https://mechanicalland.com/skewness-of-mesh-structures-in-ansys-meshing/#gsc.tab=0>

Pasichnyk A. M., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor at the Department of Mathematical Modeling and System Analysis
Dnipro State Technical University
ORCID: 0000-0002-8561-1374

Ripa M. Yu., Postgraduate Student at the Department of Mathematical Modeling and System Analysis
Dnipro State Technical University
ORCID: 0009-0006-0932-1945

ALGORITHM FOR THE CONSTRUCTION AND OPTIMIZATION OF THE TERRITORIAL LOCATION OF SOUND SOURCES OF EMERGENCY NOTIFICATION SYSTEMS OF THE POPULATION

The article is devoted to the development of an algorithm for solving the problem of optimizing the territorial placement of elements of the public emergency notification system according to the criterion of maximizing the coverage of the territory of the settlement with the permissible power level of sound signal sources based on the application of genetic algorithms.

The relevance of the article is due to the need to improve modern systems of emergency notification of the population, especially in cases where it is necessary to take into account the characteristics of certain territories. This problem is quite important in today's world of permanent emergency situations, and the high-quality distribution of emergency notification sources can become one of the important elements of the system of warning and timely response to disasters.

One of the most effective technologies for building such systems is the use of genetic algorithms, which ensure the search for the most effective options in a dynamic mode with the possibility of their further optimization. Therefore, the development and improvement of methods of rational placement of sources and optimization of the technical characteristics of the system of emergency notification of the population is an urgent problem for the safety and preservation of the health of the population.

The purpose of this article is to develop an algorithm for structural optimization of the territorial placement of sound signal sources of the public emergency notification system according to the criterion of maximizing the coverage of the territory of the settlement with the permissible power level of sound signal sources based on the modification of the genetic algorithm.

In accordance with the proposed approach, the function of maximum coverage of the territory of the settlement with a minimum number of sound signal sources of permissible power is used as an optimization criterion. In the process of searching for the optimal structure of the territorial arrangement of elements of the notification system, a modified genetic algorithm of analysis and determination of the most effective options is used. As a condition for building an optimal solution to the problem, the condition of complete coverage of the territory of the population with sound warning signals is defined.

According to the results of the conducted research, it was found that the developed algorithm allows determining the optimal structure of the territorial placement of sound signal sources of the emergency public notification system based on the criterion of maximizing the coverage of the territory of the settlement with the permissible power level of the sound signal sources.

Key words: genetic algorithm, algorithm for placement of sound signal sources, optimization of the public notification system.

Пасічник А. М., Ріпа М. Ю. Алгоритм побудови та оптимізації територіального розміщення звукових джерел системи екстреного оповіщення населення

Стаття присвячена розробці алгоритму вирішення задачі оптимізації територіального розміщення елементів системи екстреного оповіщення населення за критерієм максимізації покриття території населеного пункту із допустимим рівнем потужності джерел звукових сигналів на основі застосування генетичних алгоритмів.

Актуальність статті обумовлена потребою у покращенні сучасних систем екстреного оповіщення населення, особливо у випадках необхідності врахування особливостей певних територій. Ця проблема досить важлива у сучасному світі постійних надзвичайних ситуацій, а якісний розподіл джерел екстреного оповіщення може стати одним із важливих елементів системи попередження та вчасного реагування на катастрофи.

Однією із найбільш ефективних технологій побудови таких систем є застосування генетичних алгоритмів, які забезпечують пошук найбільш ефективних варіантів в динамічному режимі з можливістю їх подальшої оптимізації. Тому розробка і удосконалення методів раціонального розміщення джерел та оптимізації технічних характеристик системи екстреного оповіщення населення є актуальною проблемою для безпеки та збереження здоров'я населення.

Метою даної статті є розробка алгоритму структурної оптимізації територіального розміщення джерел звукових сигналів системи екстреного оповіщення населення за критерієм максимізації покриття території населеного пункту із допустимим рівнем потужності джерел звукових сигналів на основі модифікації генетичного алгоритму.

У відповідності із запропонованим підходом в якості критерія оптимізації використовується функція максимального покриття території населеного пункту при мінімальній кількості джерел звукових сигналів допустимої потужності. В процесі пошуку оптимальної структури територіального розміщення елементів системи оповіщення застосовується модифікований генетичний алгоритм аналізу та визначення найбільш ефективних варіантів. В якості умови побудови оптимального розв'язку задачі визначено умову повного покриття території розміщення населення сигналами звукового оповіщення.

За результатами проведених досліджень встановлено, що розроблений алгоритм дозволяє визначити оптимальну структуру територіального розміщення джерел звукових сигналів системи екстреного оповіщення населення за критерієм максимізації покриття території населеного пункту із допустимим рівнем потужності джерел звукових сигналів.

Ключові слова: генетичний алгоритм, алгоритм розміщення джерел звукових сигналів, оптимізація системи оповіщення населення.

Problem's Formulation. Overview of modern emergency notification systems population indicates a wide range of various modern technologies for them buildings. However, among the main shortcomings of the existing systems it is worth noting that characteristics of the notification sources not always correspond to their locations placement, or that in general distribution of sources of certain part of cities is insufficient or excessive. Insufficient coverage of the territory can lead to lower speed of the population's reaction to an emergency event, and excessive the level of sound signals can cause health deterioration of people. Therefore, it is necessary to use combinations of common sources emergency notification and mass media: Internet, television, radio and others [1]. If the issue of mass media to some extent is decided, the placement of emergency notification sources needs to take into account a greater number of factors: energy supply, territorial features of the city, population and others. So the power of the notification sources has to be provided from several supply options, since sources without permanent access to energy supply will be limited by the left number of energy, and those that connected only to the main power grid in general may not work during problems with energy supply [2, 3]. Also, the effectiveness of emergency systems notification directly depends on the effectiveness of their interaction with people. According to this, the development of methods of rational placement of sources and optimization of the technical characteristics of the public emergency notification system is an urgent problem for the safety and health of the population.

Analysis of recent research and publications. Currently for resolution of various optimization problems have been widely used modifications of genetic algorithms. In which are used partially modified principles of the genetic evolution and selection, and the main advantage is the possibility of solving rather complex problems of a large size, which do not allow to build an exact analytical solution. Genetic algorithms are effectively used to build solutions to problems of searching of local extrema, both differentiated and undifferentiated functions [4, 5].

The works [6,7] also note the importance of the evolutionary approach for improving the quality of results by using new generations of the population, where each generated generation will give better result and protect algorithm from stopping at certain optimal local solutions.

From recent advances there is an increase in the variety of methods for crossovers and mutations, that are used in different types of problems for improving the quality of results and the speed of obtaining them [8].

A genetic algorithm can be adapted to solve a problem of maximum coverage of a certain territory of the settlement by means notifications taking into account the specifics of their locations and other criteria systems.

Formulation of the study purpose. The purpose of this work is to develop an algorithm for solving the optimization problem of territorial placement of sound signal sources of an emergency alert system for the population, based on the criterion of maximizing the coverage area of the locality with an acceptable power level of sound signal sources.

Presenting main material. To build an effective emergency alert system for the population, it is important to solve the problem of optimal placement and determination of the number of sound signal sources of acceptable power. The optimization criterion chosen is the maximum coverage area of the locality with a minimum number of sound alert sources of acceptable power. To solve this problem, it is proposed to apply a genetic algorithm, according to which:

1. Definition and preparation of the information presentation of the structure and area of the settlement, fig. 1. The start of the coordinate system coincides with the geometric center of the city territory, as shown in fig. 1.

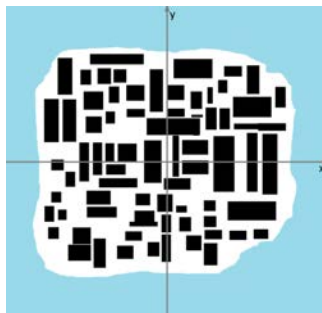


Fig. 1. Structural scheme of the settlement

The corresponding information base should reflect the following parameters of the city territory: population of the territory – black color; possible locations for sound signal sources – white color; places where no devices can be placed – blue color.

The area of the settlement S_v is determined as the area of the closest geometric figure or taken from existing reference data. In most cases, for the software implementation of the algorithm, it is suggested to approximate the area of the settlement by a polygon, whose area is found as the sum of the areas of corresponding triangles. For this, a point inside the polygon is chosen, and it is divided into n triangles. Then, the area is found using Gauss's formula:

$$S_v = \frac{1}{2} | (\sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1}) + x_n y_1 - (\sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i) - x_1 y_n |, \quad (1)$$

where n – number of sides of the polygon; (x_0, y_0) – coordinates of a fixed point inside the polygon; (x_i, y_i) $i=1, 2, \dots, n$ – coordinates of the vertices of the polygon.

In specific cases, when the shape of the territory can be approximated by a circle, the area of the settlement is approximately calculated by the formula:

$$S_v = \pi * ((x_r - x_0)^2 + (y_r - y_0)^2), \quad (2)$$

where (x_0, y_0) – coordinates of the center of the circle; (x_r, y_r) – coordinates of a point on the circle.

Locations of people to whom it is necessary to ensure the arrival of warning signals are determined by the set of coordinates of their location points in accordance with the parameters of the settlement structure:

$$P = \{ (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \}, \quad (3)$$

where (x_i, y_i) – corresponding coordinates of the points of the territory of population placement.

The distance of effective propagation, or the radius of action of sound signal sources for the warning system, taking into account the influence of various criteria, is calculated by the formula:

$$r = r_0 * 10^{\frac{p_0 - p - h * k_1 - E * k_2}{20}} \quad (4)$$

where p – expected minimum sound pressure at the limit of operation of the warning source r , cannot exceed the initial sound p_0 (the maximum permissible value of p_0 is 100 – 105 dB); r_0 – initial distance, 30 m is recommended; h – height of the source location; k_1 – coefficient of influence of height; E – power supply capacity; k_2 – power supply influence factor.

Note, that the radius of the sound signal determines the coverage area of the notification system. The expected minimum sound pressure at the working limit of the warning source cannot exceed the initial permissible regulatory value. The results of the calculation of the dependence of the radius of action of the sound signal on the value of its power are shown in table 1.

Table 1

The distance of propagation of sound signals

p_0 , (dB)	80	85	90	95	100	105	110
r , (m)	168	300	533	948	1687	2935	5334

The initial minimum number of warning sources q for the system is determined by the formula:

$$q = \frac{S_v}{\pi * r^2}, \quad (5)$$

where S_v – area of the settlement; r – radius of action of the warning sources.

The value of q must be an integer greater than or equal to 2, otherwise the problem has a trivial solution with the placement of the sound signal source in the geometric center of the territory.

2. To generate the first set of combinations of coordinates for the placement of warning sources (x, y) , several such coordinates are combined into a genotype O , a set of such genotypes is combined into a population V :

$$V = [O_1, O_2, \dots, O_n], \quad (6)$$

$$O_n = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_q, y_q)], \quad (7)$$

where O_n – is a representative of the population; n – number of individuals in the population; (x_m, y_m) – coordinates of the points of placement of sources; q – number of notification sources.

Thus, the genotype combines the coordinates of all points of possible placement of alert sources into a single list. The highest adaptability, according to this algorithm, will be in the genotype in which the total area of coverage around the warning sources will cover the largest area of population placement P at a given sound signal level p .

For each genotype, the adaptability coefficient reflects the number of population locations that fall within the sound signal coverage area. The initial value of the coefficient of adaptability of the genotype O_n is assumed to be zero: $K_{O_n} = 0$ and according to the formula

$$K_{O_n} = K_{O_n} + 1, \quad (8)$$

only those points (x_i, y_i) of the set P are counted that satisfy the condition

$$\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \leq r, \quad (9)$$

where (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots, n$) – coordinates of the i -th point from the set P of population locations; (x_j, y_j) ($j=1, 2, \dots, m$) – coordinates of the j -th point from the set of O locations of sound signal sources; r – radius of action of the warning sources.

The greater the value of K_{o_i} for each genotype, the greater its adaptability.

3. Conducting a spatial crossover. The initial (parental) pair (O_1, O_2) with the largest value K_{o_i} is selected from the population V . An arbitrary point is chosen on the map of the settlement area in fig. 1 and all points of a circle with a radius r around it are calculated. All points O_1 located in this circle and points O_2 located outside are combined to generate a new genotype (offspring). If the number of points in the new genotype is greater than q , then the extra points with the least adaptability are removed. This step is performed several times to determine pairs of the most fit genotypes.

4. Carrying out genetic operations of mutation of each representative with a certain probability will work regardless of other parameters:

– Mutation. A random genotype O is selected from the population V , a random point is selected in it (usually with a small adaptability), its coordinates are changed to other random ones within the available coverage area. It is recommended to set the probability of such a mutation to 5 – 10 %.

– Modified mutation. A random genotype O is selected from the population V , in which one random value is added to the coordinates of a random point, so that the point is shifted by a small distance. It is recommended to set the possibility of such a mutation to 10 – 20%.

Further, new adaptability values for each genotype are calculated using formula (8). The best of them are selected for inclusion in the next O generation.

5. Analysis of the fulfillment of the criterion of optimal coverage and conditions for termination of the work of the genetic algorithm.

If, after several cycles of the genetic algorithm, the optimal coverage criterion will not be met, then it is necessary to increase the indicator q by 1 and add one arbitrary point to each genotype. The optimal coverage criterion has the following form:

$$S_v \leq (S_1 + S_2 + \dots + S_n), \quad (10)$$

where S_v – area of the city; S_i ($i=1, 2, \dots, n$) – area of coverage of the territory by warning sources with radii of action r .

Now it is checked whether the value of K_{o_i} of the most adapted genotype is equal to the number of points of the set P .

If this condition is not met, the algorithm continues its work, again moving to point 4. Otherwise, the transition to the next stage is performed.

6. Checking for the need to optimize the obtained solution. The radii of all warning sources are checked for intersection using the ratio:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \leq r_1 + r_2, \quad (11)$$

where (x_1, y_1) and (x_2, y_2) – are the coordinates of the locations of the warning sources, and r_1 and r_2 – are the radii of the action.

In the case when condition (11) is not fulfilled, the radii of the notification sources do not intersect and additional optimization is not required.

Otherwise, there is a possibility of reducing the radius of action of the warning sources. Based on the relation (4), this can be done by reducing the power E or the placement height h . The reduction must be carried out until the adaptation factor K_{o_i} of this warning system is equal to the number of points of the set P .

Let's consider the model problem of placing sources of sound signals with a power of 105 dB for a settlement whose structural scheme can be approximated by a circle with a radius of 5500 meters. In this case, the ratio of the area of the territory of settlement to the area of coverage of one source with a power of 105 dB, in accordance with the data in Table 1, is equal to 3.51. That is, it is necessary to determine the locations of 4 sources of sound signals. The results of the calculation of the location coordinates are shown in Table 2, the scheme of their placement is shown in fig. 2.

Analysis of the given data on fig. 2 shows, that the proposed approach allows optimize resource costs and provides an acceptable notification mode for the population with a permissible sound pressure level of 105 dB, which reduces negative impact on health.

Table 2

Coordinates of the locations of sound signals of the notification system

Coordinates of the locations	Sound source number			
	1	2	3	4
$x, (m)$	1325	-1625	-1570	1115
$y, (m)$	1120	1325	-1220	-1120

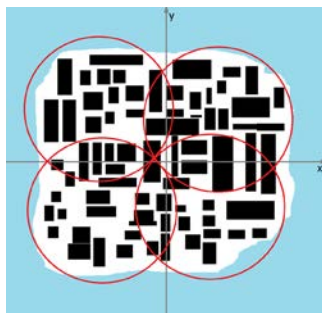


Fig. 2. Scheme of placement of four sources

Conclusions from this study and prospects for further research in this direction. The results of the research allow us to conclude that the developed algorithm allows us to determine the optimal locations of sound signal sources of the public emergency notification system, taking into account the permissible parameters of its operation. The search for the optimal accommodation option is carried out on the basis of maximizing the coverage of the area of the inhabited locality, taking into account the permissible level of power of sound signals. In the future, it is necessary to consider the possibility of building a system of emergency notification of the population using sources of different power and optimizing their locations.

Bibliography:

1. Bean H., N. Grevstad, A. Meyer, & A. Koutsoukos. Exploring whether wireless emergency alerts can help impede the spread of Covid-19. *Journal of Contingencies and Crisis Management*. 2022. No.2. P. 185-203. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12376>.
2. Abukhalaf A. H. I. & J. Von Meding. Communication challenges in campus emergency planning: The case of hurricane dorian in Florida. *Natural Hazards*. 2020. No.104. P. 1535-1565. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04231-1>.
3. Sutton J., Spiro E., S. Johnson B., Fitzhugh S., Gibson B., & Butts C. T. Warning tweets: Serial transmission of messages during the warning phase of a disaster event. *Information, Communication & Society*. 2014. No.6. P.765-787. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2013.862561>.
4. Sivanandam S. N., Deepa S. N. Genetic Algorithms. Introduction to Genetic Algorithms. *Springer, Berlin, Heidelberg*. 2008. No.1. P.15-37. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73190-0_2
5. Пиріг Я., Климаш М., Пиріг Ю., Лаврів О. Генетичний алгоритм як засіб розв'язання оптимізаційних задач. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2023. С.95 – 103.
6. Porta, J., Parapar, R., Doallo, F., Rivera, F., Santé, I., & Crecente, R. (High performance genetic algorithm for land use planning. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2013. No.37. P.45-58. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.05.003>.
7. Zhang, R., Ong, S.K., & Nee, A.Y.C. A simulation-based genetic algorithm approach for remanufacturing process planning and scheduling. *Applied Soft Computing*. 2015. No.37. P.521-532. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.08.051>
8. Pengfei G., Wang X., Han Y. The enhanced genetic algorithms for the optimization design. *3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*. 2010. No.1. P.2990-2994. 10.1109/BMEI.2010.5639829.

References:

1. Bean H., N. Grevstad, A. Meyer, & A. Koutsoukos. (2022). Exploring whether wireless emergency alerts can help impede the spread of Covid-19. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, (2), 185-203. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12376>
2. Abukhalaf A. H. I. & J. Von Meding. (2020). Communication challenges in campus emergency planning: The case of hurricane dorian in Florida. *Natural Hazards*, (104), 1535-1565. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04231-1>
3. Sutton J., Spiro E., S. Johnson B., Fitzhugh S., Gibson B., & Butts C. T. (2014). Warning tweets: Serial transmission of messages during the warning phase of a disaster event. *Information, Communication & Society*, (6), 765-787. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2013.862561>
4. Sivanandam S. N., Deepa S. N. (2008). Genetic Algorithms. Introduction to Genetic Algorithms. *Springer, Berlin, Heidelberg*, (1), 15-37. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73190-0_2
5. Pyrih Y., Klymash M., Pyrih Y., Lavriv O. (2023). Ghenetychnyj alghorytm jak zasib rozv'jazannja optymizacijnykh zadach [Genetic algorithm as a tool for solving optimization problems]. *Infocommunication technologies and electronic engineering*, (2), 95-103. <https://doi.org/10.23939/ict2023.02.095>
6. Porta, J., Parapar, R., Doallo, F., Rivera, F., Santé, I., & Crecente, R. (2013). High performance genetic algorithm for land use planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, (37), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.05.003>
7. Zhang, R., Ong, S.K., & Nee, A.Y.C. (2015). A simulation-based genetic algorithm approach for remanufacturing process planning and scheduling. *Applied Soft Computing*, (37), 521-532. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.08.051>
8. Pengfei G., Wang X., Han Y. (2010). The enhanced genetic algorithms for the optimization design. *3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, (1), 2990-2994. 10.1109/BMEI.2010.5639829

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.5>

Безверхий О. І., доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри інформаційних систем і технологій
Національного транспортного університету
ORCID: 0000-0002-0834-6335

Куценко О. І., аспірант кафедри інформаційних систем
і технологій
Національного транспортного університету
ORCID: 0000-0003-0047-4874

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ КРОСПЛАТФОРМЕННИХ ДОДАТКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БІБЛІОТЕКИ REACT ТА ФРЕЙМВОРКУ REACT NATIVE

У сучасному світі, зі зростанням використання мобільних пристроїв, важливість створення кросплатформених додатків, що забезпечують високу продуктивність та якість користувацького досвіду, значно зросла. Удосконалення створення таких додатків з використанням React та React Native відкриває широкі можливості для розробників завдяки можливості перевикористання коду, високій швидкості розробки та легкості впровадження інновацій і набуває особливої актуальності, оскільки вона стосується не тільки технологічних аспектів розробки, але й економічної ефективності, якості користувацького досвіду та швидкості впровадження інновацій на ринок програмного забезпечення. Відкритий код та активне спілкування у спільноті дозволяють швидко виявляти та усувати проблеми, розробляти нові функції та покращення, а також сприяють обміну знаннями та досвідом між розробниками. Це створює позитивне середовище для інновацій та росту, сприяє швидкому прогресу технологій та підвищує якість кінцевих продуктів.

В роботі проведено аналіз ключових аспектів та викликів, пов'язаних із створенням кросплатформених додатків, аналізуються основні види оптимізацій на різних рівнях розробки, включаючи компонентний рівень, рівень стану та даних, рівень роботи з API та зовнішніми даними, а також рівень завантаження та коду. Особлива увага приділяється інтеграції синхронного та асинхронного рендерингу для досягнення оптимальної продуктивності та користувацького досвіду. Висвітлюються переваги гнучкого управління станом за допомогою стейт-менеджерів, а також важливість оптимізації зображень та медіа для підвищення загальної продуктивності веб-сайтів.

В статті відзначена роль спільноти розробників у процесі удосконалення та інновацій. Розробники, які володіють цими технологіями та оптимізаціями їх застосування, можуть створювати продукти, що не просто відповідають вимогам часу, а формують нові стандарти у сфері мобільної та веб-розробки. Подальше дослідження та інтеграція новітніх технологій у процес розробки кросплатформених додатків буде мати значний вплив на індустрію програмного забезпечення.

Ключові слова: React, React Native, кросплатформенні додатки, оптимізація, розробка програмного забезпечення.

Bezverhiy O. I., Kutsenko O. I. Ways of optimizing cross-platform application using the React library and the React Native framework

In today's world, with the growing use of mobile devices, the importance of creating cross-platform applications that provide high performance and quality of user experience has increased significantly. Improving the creation of such applications using React and React Native opens up wide opportunities for developers due to the possibility of code reuse, high development speed and ease of innovation, and is especially relevant because it concerns not only the technological aspects of development, but also economic efficiency, quality of user experience and the speed of introducing innovations to the software market. Open source and active community communication allow rapid identification and resolution of issues, development of new features and enhancements, and the sharing of knowledge and experience between developers. This creates a positive environment for innovation and growth, promotes rapid technological progress, and improves the quality of end products.

The paper analyzes the key aspects and challenges associated with the creation of cross-platform applications, analyzes the main types of optimizations at different levels of development, including the component level, the state and data level, the level of working with APIs and external data, as well as the loading and code level. Special attention is paid to the integration of synchronous and asynchronous rendering to achieve optimal performance and user experience. Highlights the benefits of flexible state management using state managers, as well as the importance of image and media optimization to improve overall website performance.

The article notes the role of the developer community in the process of improvement and innovation. Developers who master these technologies and optimize their application can create products that not only meet the requirements of the time, but also form new standards in the field of mobile and web development. Further research and integration of the latest technologies into the development process of cross-platform applications will have a significant impact on the software industry.

Key words: React, React Native, cross-platform applications, optimization, software development.

Постановка проблеми. Використання бібліотеки React та React-native для створення крос платформених додатків впливає з ряду тенденцій:

1. Зростання мобільного трафіку та використання мобільних додатків. У сучасному світі спостерігається стійке зростання кількості користувачів мобільних пристроїв, що спонукає до розробки додатків, здатних задовольнити різноманітні потреби цієї аудиторії. Кросплатформність стає ключовою відповіддю на цей виклик, дозволяючи розробникам створювати додатки, що ефективно функціонують на різних платформах.

2. Необхідність скорочення часу та витрат на розробку. Розробка окремих версій додатків для кожної платформи є часомісткою та дорогою. Використання React та React Native дозволяє значно оптимізувати ресурси, оскільки розробники можуть використовувати одну та ту ж кодову базу для створення додатків, що працюють на різних операційних системах.

3. Попит на високу продуктивність та якість додатків.

4. Необхідність постійного оновлення та підтримки додатків. Умови ринку та вимоги користувачів постійно змінюються, нові додатки потребують регулярного оновлення та модернізації.

Наукові дослідження в галузі оптимізації застосування JavaScript, розробка нових патернів розробки, покращення архітектури додатків та інтеграція з іншими технологіями і платформами є критично важливими для досягнення цієї мети. Спільними зусиллями науковців, розробників і спільноти можна досягти значного прогресу у створенні ефективних, доступних та високоякісних кросплатформних додатків, що задовольнятимуть потреби сучасних користувачів і ринку програмного забезпечення.

Аналіз основних видів оптимізацій React-додатку. Оптимізація React-додатків є ключовим елементом для підвищення продуктивності, забезпечення швидкості роботи інтерфейсу та покращення загального користувацького досвіду. Існує кілька рівнів, на яких можливо виконати оптимізацію React-додатків, кожен з яких вимагає застосування специфічних підходів і технік. Розглянемо основні види оптимізацій на різних рівнях:

1. Компонентний рівень

Перевикористання компонентів

– Створення перевикористовувальних компонентів для зменшення дублювання коду та підвищення читабельності та підтримки коду.

Попередження непотрібних рендерів

– Використання React.memo для класових компонентів та React.PureComponent для функціональних компонентів дозволяє уникнути непотрібних рендерів, порівнюючи props та state.

Якщо компонент відображає той самий результат з тими самими пропсами та станом, можна обгорнути його у виклик React.memo для підвищення продуктивності в деяких випадках шляхом запам'ятовування результату. Це означає, що React пропустить рендеринг компоненту та повторно використає останній результат рендерингу.

React.memo тільки перевіряє чи змінилися пропси. Якщо функція, згорнута у React.memo, має useState або useContext хуки в своїй імплементації, вона все ще буде ререндеритися при зміні стану або контекста.[1]

За замовчуванням він тільки поверхово порівнює складні об'єкти, що знаходяться в об'єкті пропсів. Якщо ви хочете контролювати процес порівняння, ви також можете надати користувацьку функцію для порівняння помістивши її другим аргументом.

Використання shouldComponentUpdate

– Для класових компонентів, метод shouldComponentUpdate дозволяє контролювати процес рендерінга шляхом порівняння поточних і наступних props та state.

Асинхронний рендеринг з React.Suspense та лінива загрузка:

– React.Suspense та React.lazy пропонують механізм для асинхронного рендерінга компонентів, що дозволяє компонентам чекати завантаження необхідних даних або інших компонентів перед їх відображенням. Це особливо корисно для покращення продуктивності шляхом лінивої загрузки компонентів, які не потрібні користувачеві відразу після завантаження додатку.

React.lazy приймає функцію, яка має викликати динамічний import(). Вона має повернути Promise, який при вирішенні поверне модуль з default-експортом, який містить React-компонент.

Ледачий компонент потім повинен відрендеритися у тілі компонента Suspense. Це дозволяє нам показати резервний контент (наприклад, індикатор завантаження), поки ми чекаємо на завантаження ледачого компонента.[2]

Використання React.memo та React.PureComponent для запобігання непотрібних рендерів та методу shouldComponentUpdate для контролю оновлень компонентів.

2. Рівень Стану та Даних

Управління Станом

– Ефективне управління станом, використовуючи контексти або стейт-менеджери типу Redux чи MobX, може значно зменшити кількість рендерів та спростити потік даних.

Бібліотека Redux використовується для керування станом додатку, що дозволяє зменшити кількість коду та зробити додаток більш простим для розуміння та розширення [3]

Розробка додатку на Redux без використання Redux toolkit може бути досить складною та вимагати багато часу. Необхідно вручну створювати дії, редуктори та створювати зв'язки між ними. З іншого боку, Redux toolkit має багато готових функцій, таких як createSlice, яка дозволяє автоматично створювати дії та редуктори для конкретного сегмента стану додатку. Це значно зменшує кількість написаного коду та спрощує розробку [4]

Лінива Загрузка Даних

– Застосування лінивої загрузки (lazy loading) для даних та компонентів може покращити час завантаження додатку та ефективність використання ресурсів.

Асинхронне Завантаження Даних:

– Використання хуків, наприклад useEffect, для асинхронного завантаження даних дозволяє ініціювати запити до API або баз даних без блокування рендеринга компонентів. Це дозволяє інтерфейсу залишатися відгуковим, поки дані завантажуються, та зменшує відчуття затримок у користувачів.

На відміну від componentDidMount і componentDidUpdate, функція передана в useEffect запускається після розмітки та рендеру, протягом відкладеної події. Це робить хук підходящим для багатьох поширених побічних ефектів, таких як налаштування підписок та обробників подій, оскільки більшість типів роботи не повинні блокувати оновлення екрану браузером. [5]

Використання Конкурентного Режиму (Concurrent Mode):

– Конкурентний режим у React надає більш гнучкий спосіб для асинхронного рендеринга інтерфейсів. Він дозволяє React розпочати рендеринг змін в інтерфейсі без того, щоб блокувати основний потік, тим самим підвищуючи відгуковість додатку та забезпечуючи більш гладке оновлення інтерфейсу.

Оптимізація на рівні стану та даних включає ефективне управління станом за допомогою контекстів чи стейт-менеджерів, що сприяє зменшенню рендерів та спрощенню потоку даних. Лінива загрузка даних та компонентів покращує час завантаження додатку. Асинхронне завантаження даних через хуки, як-от useEffect, дозволяє здійснювати запити без блокування рендеринга, підтримуючи інтерфейс відгуковим. Конкурентний режим підвищує відгуковість, дозволяючи асинхронний рендеринг змін.

3. Рівень Роботи з API та Зовнішніми Даними

Кешування Відповідей

– Кешування відповідей від сервера може зменшити кількість запитів до сервера та прискорити відображення даних користувачу.

Оптимізація Запитів

– Уникайте надмірних або непотрібних запитів до сервера, агрегуючи дані або використовуючи debounce/throttle для обробки подій.

На рівні роботи з API та зовнішніми даними, кешування відповідей від сервера може значно зменшити навантаження на сервер та прискорити процес завантаження даних для користувача. Оптимізація запитів через уникнення надмірних або непотрібних запитів, а також використання методів агрегації даних або debounce/throttle для обробки подій, дозволяє підвищити ефективність взаємодії з сервером та оптимізувати загальну продуктивність додатку

4. Рівень Загрузки та Коду

Code Splitting

– Використання розділення коду (code splitting) дозволяє розділити код на менші частини, які можуть бути завантажені за потреби, зменшуючи час завантаження додатку.

Лінива Загрузка Компонентів

– React.lazy та Suspense дозволяють організувати ліниву загрузку компонентів, що не є критичними для початкового рендеринга.

Використання Web Workers для Обробки Важких Завдань

– Для обробки складних обчислень без блокування основного потоку UI, можна використовувати Web Workers, що дозволяє покращити відгуковість інтерфейсу.

На рівні загрузки та коду, оптимізація включає в себе такі підходи як розділення коду (code splitting), що дозволяє зменшити час завантаження додатку шляхом поділу коду на менші частини, які завантажуються лише за потреби. Лінива загрузка компонентів за допомогою React.lazy та Suspense покращує продуктивність, оскільки важливі компоненти завантажуються тільки коли це необхідно. Використання Web Workers для обробки складних обчислень допомагає покращити відгуковість інтерфейсу, не блокуючи основний потік UI.

5. Оптимізація Зображень та Медіа

– Компресія зображень, використання форматів, оптимізованих для WEB (наприклад, WebP), та лінива загрузка медіа можуть значно покращити продуктивність за рахунок зменшення обсягу переданих даних.

Оптимізація зображень та медіа є важливою для підвищення продуктивності веб-сайтів. Компресія зображень, використання форматів, які оптимізовані для WEB, таких як WebP, та лінива загрузка медіа можуть значно зменшити обсяг переданих даних і таким чином покращити час завантаження сторінок та загальну продуктивність сайту.

Мета статті: аналіз потенціалу та особливостей використання шляхів оптимізації React і React Native для розробки кросплатформених додатків, а також аналіз основних напрямків оптимізації.

Оптимізація React-додатків на всіх цих рівнях дозволяє досягти значного підвищення продуктивності та забезпечити кращий досвід користувача. Важливо зауважити, що оптимізація є процесом, який потребує постійного аналізу, тестування та вдосконалення.

Застосування синхронного та асинхронного рендерингу для оптимізації додатків. Використання синхронного та асинхронного рендерингу у React повинно бути збалансоване, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та користувацький досвід. Синхронний рендеринг може бути ефективним для відображення контенту, який доступний відразу або для дуже критичних для користувача частин інтерфейсу, тоді як асинхронний рендеринг є ідеальним для оптимізації завантаження додаткових даних, модулів або компонентів, які не є необхідними для початкового відображення.

Ключ до ефективного використання цих підходів полягає в аналізі потреб користувача та вимог до продуктивності додатку, а також в постійному тестуванні та оптимізації з метою досягнення найкращого балансу між швидкістю рендерингу, відгуковістю інтерфейсу та загальною якістю користувацького досвіду.

У React можна використовувати як синхронний, так і асинхронний рендеринг для різних частин вашого додатку. Це можливо завдяки механізмам управління станом і рендерингу, які React надає, дозволяючи розробникам оптимізувати продуктивність і користувацький досвід.

Синхронний рендеринг – це стандартний підхід у React, де компоненти рендеряться один за одним у основному потоці виконання. Коли компонент отримує нові props або його state оновлюється, React перерендерює компонент і його дочірні елементи синхронно. Це означає, що інтерфейс користувача блокується до завершення всього процесу рендеринга.

Асинхронний рендеринг у React дозволяє компонентам очікувати завантаження даних або інших ресурсів без блокування інтерфейсу користувача. Це може бути реалізовано за допомогою таких функцій, як React.lazy для лінивої загрузки компонентів і React.Suspense, що дозволяє компонентам «чекати» завантаження необхідного контенту перед їх рендерингом. Конкурентний режим (Concurrent Mode) — це ще одна функція, яка дозволяє React працювати над кількома завданнями асинхронно, покращуючи відгуковість додатку.

Приклади застосування синхронного та асинхронного рендерингу для оптимізації

– Синхронний рендеринг використано для рендеринга основного скелету додатку або критично важливих компонентів, які повинні бути відразу доступні користувачу.

– Асинхронний рендеринг використано для завантаження великих компонентів, модулів, які вимагають додаткових даних з сервера, або для функціоналу, що використовується не відразу після завантаження додатку (наприклад, модальні вікна, додаткові сторінки).

Використовуючи ці методи розумно, можна значно покращити продуктивність додатку і користувацький досвід, зменшуючи час завантаження та відгуковість інтерфейсу. React надає гнучкі інструменти для оптимізації рендерингу, і ефективно їх використання дозволяє досягти високої продуктивності навіть у великих та складних додатках.

Асинхронний рендеринг компоненту в React виконано за допомогою комбінації React.lazy та <Suspense>. Це дозволяє відкласти завантаження компонента до моменту, коли він дійсно потрібен, наприклад, при маршрутизації або відкладеному рендерингу частини інтерфейсу

```
import React, { Suspense } from 'react';
const LazyComponent = React.lazy(() => import('./LazyComponent'));
```

```
function App() {
  return (
    <div>
      <Suspense fallback={<div>Loading...</div>}>
        <LazyComponent />
      </Suspense>
    </div>
  );
}
```

Додаткові зауваження. Асинхронний рендеринг особливо корисний для великих компонентів або бібліотек, що мають значний вплив на час завантаження вашого додатку.

Для використання маршрутизації, застосовано асинхронний рендеринг для компонентів сторінок, щоб кожна сторінка завантажувалася незалежно, покращуючи загальну продуктивність.

1. Оптимізація Контекстно-Залежний Рендерингу

– Пристосування до Умов Користувача: Розробка логіки, що адаптує рендеринг компонентів залежно від контексту (наприклад, швидкості інтернет-з'єднання, типу пристрою), переключаючись між синхронним рендерингом для швидкого з'єднання або потужних пристроїв та асинхронним для повільного з'єднання або менш потужних пристроїв.

Синхронний Рендеринг:

– Адаптація рендерингу компонентів на основі поточного контексту користувача, наприклад, використання різних версій компонентів для різних типів пристроїв або умов мережі, що вимагає синхронного рендерингу для швидкого відображення.

Асинхронний Рендеринг:

– Динамічне включення або виключення компонентів на основі змін у контексті користувача або даних, які вимагають асинхронної обробки для плавного оновлення інтерфейсу.

2. Покращене Управління Даними

Асинхронне Завантаження Даних з Кешуванням: Реалізація стратегій кешування для даних, що завантажуються асинхронно, може значно покращити час реакції додатку, мінімізуючи затримки в рендерингу та зменшуючи навантаження на сервер.

Синхронний Рендеринг:

– Оптимізація доступу до кешованих даних для синхронного оновлення інтерфейсу. Швидкий доступ до кешованих даних дозволяє миттєво оновлювати стан компонентів без затримки.

Асинхронний Рендеринг:

– Використання асинхронних запитів для поповнення кешу та оновлення інтерфейсу на основі нових даних. Асинхронне кешування дозволяє підтримувати інтерфейс актуальним, мінімізуючи час очікування для користувача.

3. Використання Конкурентного Режиму

– Конкурентний Режим React для Покращеної Відгуковості: Експериментування з Конкурентним Режимом для розуміння, як він може допомогти у покращенні відгуковості додатку, дозволяючи React працювати над рендерингом нових оновлень інтерфейсу без переривання поточних взаємодій користувача.

Синхронний Рендеринг:

– В конкурентному режимі React може оптимізувати синхронний рендеринг шляхом пріоритизації взаємодій користувача та важливих оновлень UI, забезпечуючи плавність та швидкість відгуку інтерфейсу.

Асинхронний Рендеринг:

– Дозволяє React працювати над декількома оновленнями інтерфейсу одночасно, використовуючи асинхронність для розподілу завдань рендерингу. Це зменшує блокування основного потоку та покращує загальну відгуковість додатку.

4. Гнучке Управління Станом

– Використання Стейт-Менеджерів: Застосування глобальних стейт-менеджерів (наприклад, Redux або MobX) для ефективного управління станом у великих додатках, що дозволяє краще контролювати процеси оновлення стану та їх вплив на рендеринг компонентів.

Синхронний Рендеринг:

– Оновлення Стану з Кешу: Швидке оновлення стану компонентів за допомогою синхронного читання даних з локального кешу, що забезпечує миттєвий доступ до актуальних даних.

Асинхронний Рендеринг:

– Асинхронне Кешування та Оновлення Даних: Використання асинхронних механізмів для оновлення кешованих даних з сервера, забезпечуючи актуальність даних без затримок в роботі інтерфейсу.

Застосування синхронного та асинхронного рендерингу вимагає ретельного планування та розуміння потреб користувачів та обмежень додатку. Регулярний аналіз продуктивності та користувацького досвіду допомагає виявити оптимальний баланс між швидкістю рендерингу, ефективністю завантаження та загальною якістю взаємодії з додатком.

Висновки. Удосконалення створення кросплатформених додатків з використанням бібліотеки React та фреймворку React Native є значущим напрямком в дослідженнях з комп'ютерних наук, особливо у контексті WEB- та мобільної розробки. Цей підхід не тільки сприяє підвищенню ефективності розробки, але й відкриває широкі можливості для створення високоякісних, інтерактивних та доступних додатків для широкого спектру користувачів на різноманітних платформах.

Важливо також відзначити роль спільноти розробників у процесі удосконалення та інновацій. Відкритий код та активне спілкування у спільноті дозволяють швидко виявляти та усувати проблеми, розробляти нові функції та покращення, а також сприяють обміну знаннями та досвідом між розробниками. Це створює позитивне середовище для інновацій та росту, сприяє швидкому прогресу технологій та підвищує якість кінцевих продуктів.

Інтегрування синхронного та асинхронного рендерингу сприяє підвищенню ефективності розробки та дає можливість відповідати на швидкозмінні вимоги ринку. Впровадження інноваційних підходів, таких як

конкурентний режим React, глибоке інтегрування з PWA, та розширення можливостей <Suspense>, відкриває нові горизонти для розширення функціональності та доступності додатків.

За результатами аналізу, можна зробити висновок, що подальше дослідження та інтеграція новітніх технологій у процес розробки кросплатформених додатків буде мати значний вплив на індустрію програмного забезпечення. Розробники, які володіють цими технологіями та оптимізаціями їх застосування, можуть створювати продукти, що не просто відповідають вимогам часу, а формують нові стандарти у сфері мобільної та веб-розробки.

Список використаних джерел:

1. React.memo. Режим доступу: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/react-api.html#reactmemo>
2. React.lazy. Режим доступу: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/code-splitting.html#reactlazy>
3. Abramov D. (2015). Getting Started with Redux. Режим доступу URL: <https://egghead.io/courses/getting-started-with-redux>
4. Kang, J., Kim, Y., & Kim, D. (2017). A study on the implementation of cross-platform mobile application using react-native. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 18(4), С.155-167
5. UseEffect. Режим доступу: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/hooks-reference.html#useeffect>

References:

1. React.memo. Access mode: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/react-api.html#reactmemo>
2. React.lazy. Access mode: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/code-splitting.html#reactlazy>
3. Abramov D. (2015). Getting Started with Redux. URL access mode: <https://egghead.io/courses/getting-started-with-redux>
4. Kang, J., Kim, Y., & Kim, D. (2017). A study on the implementation of cross-platform mobile application using react-native.// Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 18(4), P.155-167
5. UseEffect. Access mode: URL: <https://uk.legacy.reactjs.org/docs/hooks-reference.html#useeffect>

Головіна Н. В., аспірант, викладач-стажист
кафедри Програмних засобів і технологій
Херсонського національного технічного університету
ORCID: 0000-0003-0985-0135

РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

У статті представлено результати дослідження та розроблення нейромережевої моделі моніторингу надзвичайних ситуацій природного характеру, а саме – лісових пожеж на території України. Було проведено дослідження лісових пожеж на території України. Проведено аналіз зображень. Побудовано нейромережеву модель.

Було зазначено, що розробка та проектування СППР для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні на основі технологій ШІ та аналізу зображень є науково новою задачею. Результати дослідження можуть бути використані для розробки та впровадження більш ефективних та надійних систем моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні.

Було проведено детальний аналіз літератури за темою. Виявлено слабкі місця та поставлено задачі для проведення дослідження. Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання.

Було виявлено, що ефективним підходом до зменшення ризику виникнення природних катастроф є розроблення та впровадження сучасної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для кожного регіону України. Така СППР акумулює інформацію про технічні, соціальні та економічні характеристики регіону з метою побудови ефективної стратегії запобігання природним катастрофам.

Було наведено модель навчання нейронної мережі виглядає наступним чином. Набір даних містить зображення в необробленому вигляді, де вони позначені як пожежа, відсутність пожежі або початок пожежі. Зображення потрібно додатково обробити, перш ніж використовувати його для навчання моделі.

У статті наведено алгоритм навчання нейронної мережі. Було представлено формулу з детальним поясненням коефіцієнтів. Було побудовано кілька різних моделей нейронної мережі для виявлення максимально ефективного варіанту навчання. У результаті навчання згорткової нейронної мережі було виявлено, що краще за все використовувати всі функції для навчання. Було досягнуто точності нейронної мережі 92%. У майбутньому можна покращити роботу алгоритму, щоб підвищити точність. Результати роботи нейронної мережі використано для СППР задля раннього виявлення та попередження лісових пожеж на території України.

Ключові слова: нейромережева модель, згорткова нейронна мережа, СППР, аналіз зображень, точність навчання, лісові пожежі, супутникові зображення.

Holovina N. V. Computer intelligence technologies usage for images analysis with the purpose of developing and designing a decision support system for monitoring and prevention of forest fires in Ukraine

The article presents the results of research and development of a neural network model for monitoring natural emergencies, namely forest fires in Ukraine. A study of forest fires on the territory of Ukraine was conducted. Image analysis was carried out. A neural network model was built.

It was pointed out that the development and design of the DSS for monitoring and preventing forest fires in Ukraine based on AI technologies and image analysis is a scientifically new task. The results of the study can be used for the development and implementation of more effective and reliable forest fire monitoring and prevention systems in Ukraine.

A detailed analysis of the literature on the topic was carried out. Weaknesses were identified and tasks for research were set. The study was carried out using images from the open sources of the NASA Earth Observatory. Python libraries: Keras, TensorFlow, PyTorch were used to process and analyze satellite images. With the help of modeling methods, the system architecture is designed and usage options are shown.

It was found that an effective approach to reducing the risk of natural disasters is the development and implementation of a modern decision support system (DSS) for each region of Ukraine. Such a DSS accumulates information about the technical, social and economic characteristics of the region in order to build an effective strategy for the prevention of natural disasters.

The neural network learning model was given as follows. The dataset contains raw images where they are labeled as fire, no fire, or fire initiation. The image needs to be further processed before it can be used to train the model.

The article describes the learning algorithm of a neural network. A formula was presented with a detailed explanation of the coefficients. Several different neural network models were built to identify the most effective learning option. As a result of convolutional neural network training, it was found that it is best to use all features for training. A neural network accuracy of 92% was achieved. In the future, the algorithm can be improved to improve accuracy. The results of the neural network were used for the SPPR for the early detection and prevention of forest fires in Ukraine.

Key words: neural network model, convolutional neural network, DSS, image analysis, training accuracy, forest fires, satellite images.

Постановка проблеми. Лісові пожежі є серйозною проблемою в Україні, що завдає значної шкоди довкіллю, економіці та людському здоров'ю. Щорічно в Україні виникає тисячі лісових пожеж, які знищують тисячі гектарів лісів, завдають мільйонних збитків та призводять до загибелі людей.

Традиційні методи моніторингу та попередження лісових пожеж, такі як наземні спостереження та авіапатрулювання, не завжди є ефективними, особливо у віддалених та важкодоступних районах. Використання технологій обчислювального інтелекту (ШІ) та аналізу зображень з супутників та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) пропонує перспективний метод для розробки більш ефективних та надійних систем моніторингу та попередження лісових пожеж.

Розробка та проектування СППР для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні на основі технологій ШІ та аналізу зображень є науково новою задачею. Результати дослідження можуть бути використані для розробки та впровадження більш ефективних та надійних систем моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вільям Уоллес і Франк Де Балог [1] були одними з перших, хто визнав чотири фази управління кризою: запобігання, підготовка, відповідь і відновлення. Кризові реакції активуються під час фази відповіді. До складу цих осередків входять керівники служби екстреної допомоги, представники місцевої влади тощо. Вони ініціюють, координують і контролюють виконання всіх заходів, спрямованих на подолання кризи та її наслідків. Кризові осередки інформуються зацікавленими сторонами, які також отримують вказівки від своїх кризових осередків. «Фокус у тому, щоб бути готовим до несподіванок» – Патрік Лагадек [2]

Данієла Фоглі та Джованні Гіда [3] підкреслюють важливість структурованого та скоординованого управління реагуванням на кризу, підкріпленою системою підтримки прийняття рішень, яка здатна:

- 1) обмінюватися інформацією з громадянами,
- 2) взаємодіяти з іншими інформаційними системами,
- 3) координація неоднорідних і автономних зацікавлених сторін,
- 4) передбачення наслідків прийнятих рішень.

На їхню думку, зручність використання системи залежить від чіткого вибору концепцій і її здатності моделювати будь-які кризові ситуації.

Використання онтології або метамоделі [4] забезпечує взаємодію усіх описаних вище компонентів. Інші вимоги, висунуті Фоглі та Гіда [3], доповнюють підхід, запропонований Мікою Ендслі [5] для підтримки осіб, які приймають рішення, що стикаються зі складними ситуаціями, що розвиваються, шляхом підвищення їх усвідомлення ситуації. Цей підхід залежить від трьох етапів: сприйняття деяких елементів середовища, розуміння поточної ситуації та проектування ситуації в найближчому майбутньому. Процес пізнання, запропонований групою учених [9-10] підтримує ці три кроки. Цей процес включає такі дії: визначення цілей, збір даних, визначення ситуації, застосування правил, вжиття заходів, навчання та розвиток.

По-перше, щоб автоматизувати етапи сприйняття та збору, системі потрібен доступ до даних, які постійно випромінюють численні, різноманітні, відомі та невідомі джерела. Ця ситуація називається 4V великих даних. Як визначено в роботі [6], це великий, масивний обсяг даних, який постійно генерується та потребує обробки для підтримки прийняття рішень у режимі реального часу. Другий із 4V пов'язаний із швидкістю через динамічність середовища, яка спричиняє застарілий вміст. Крім того, дані генеруються в різних форматах і типах численними різноманітними джерелами, що ставить під сумнів сумісність між системами [7]. Нарешті, останнє V стосується правдивості наявних даних, іншими словами, їх невизначеності [8], їх об'єктивності та достовірності.

Питаннями аналізу зображень для детектування природних катастроф з використанням технологій обчислювального інтелекту з метою їх запобігання та збереження життя людей займається автор роботи [11]. У цій роботі вводиться суттєво новий підхід «розробки за допомогою моделювання» для створення та впровадження алгоритму виявлення пожежі за допомогою TMS320DM642 DSP та MATLAB/Simulink. Модель алгоритму виявлення пожежі побудована в Simulink у вигляді графічних блоків. Код С автоматично генерується з блок-діаграм за допомогою Майстерні реального часу (RTW). Виконуваний файл, створений з коду С через с-компілятор TI DSP, завантажується на цільову плату DSP і реалізується через DSP. Ця методологія проектування відкриває більш легкий шлях для реалізації складного алгоритму високого рівня в цифровому сигнальному процесорі (DSP). Експериментальні результати показують, що запропонований підхід не тільки має хороші показники виявлення, але й ефективно спрощує процес розробки.

У цій роботі [12] автор розглядає алгоритм виявлення пожежі на основі комп'ютерного зору. Запропонований алгоритм виявлення пожежі складається з двох основних частин: моделювання кольору вогню і виявлення напрямку його руху. Алгоритм можна використовувати паралельно зі звичайними системами виявлення пожежі для зменшення ризиків помилкового виявлення тривоги. Його також можна розгорнути як автономну систему виявлення пожежі за допомогою спеціальних датчиків через пристрій збору відео. Запропонована модель кольору вогню перевірена з десятьма різноманітними послідовностями, включаючи різні типи вогню. Експериментальні результати досить обнадійливі з точки зору правильної класифікації

пікселів вогню за кольором. Загальна система виявлення пожежі продуктивність перевіряється на еталонному відеозаписі бази даних, а її ефективність порівнюють із найсучаснішим методом виявлення пожежі.

Стаття [13] описує методи геоінформаційного моніторингу. Геоінформаційний моніторинг застосовують для спостереження і гасіння лісових пожеж. Стаття описує космічний моніторинг. Космічний моніторинг є складовою частиною геоінформаційного моніторингу. Стаття описує спеціалізовану інформаційну систему моніторингу. Стаття показує особливості моделювання при проведенні моніторингу. Комплексний моніторинг є основою моніторингу листяних пожеж. Спеціалізована інформаційна система моніторингу пожеж (СІСМП) забезпечує збір, зберігання, обробку і поширення геоданих про пожежі в лісах, умовах виникнення і розвитку лісових пожеж, рівні їх впливу на навколишнє середовище, одержуваних на основі наземних, повітряних і космічних засобів і методів спостереження за лісовими пожежами і погодними умовами. Масштаб технічної реалізації цієї системи може бути від окремої ГІС до ситуаційної кімнати. Інформаційна підтримка системи здійснюється на порталі. Інформація, представлена у вигляді сукупності таблиць, електронних тематичних карт і результатів обробки супутникових зображень, оперативно оновлюється на сервері в режимі реального часу.

Мета статті полягає у дослідженні різних методів аналізу зображень лісових пожеж з метою побудови архітектури нейронної мережі для раннього виявлення та попередження лісових пожеж.

Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory [11]. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch [10]. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання.

Виклад основного матеріалу. Ефективним підходом до зменшення ризику виникнення природних катастроф є розроблення та впровадження сучасної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для кожного регіону України. Така СППР акумулює інформацію про технічні, соціальні та економічні характеристики регіону з метою побудови ефективної стратегії запобігання природним катастрофам. За допомогою СППР також можна розробляти плани евакуації населення різних груп мобільності при масових лісових пожежах та розробляти плани розгортання пунктів евакуації для приймання, ведення обліку евакуйованого населення, матеріальних і культурних цінностей [13].

СППР – це інформаційна система, що здійснює підтримку прийняття рішень шляхом вибору найкращого варіанту та шляхом розробки та порівняння кількох альтернатив для розв’язання поставлених завдань або самостійно визначених цілей [12].

Компоненти СППР включають керування даними, керування моделлю, інтерфейс користувача, управління знаннями та користувачами, як показано на рис. 1. СППР – це інтерактивна система, яка дозволяє особам, які приймають рішення, легко аналізувати та оцінювати моделі рішень і обробляти дані для розв’язання складних і неструктурованих завдань прийняття рішень.

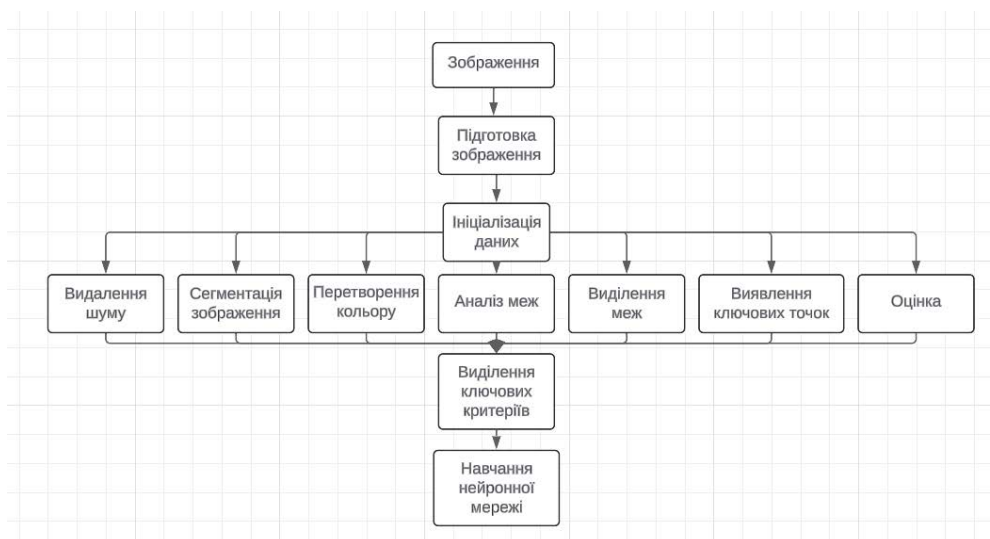


Рис. 1. Компоненти нейронної мережі СППР

Модель навчання нейронної мережі виглядає наступним чином. Набір даних містить зображення в необробленому вигляді, де вони позначені як пожежа, відсутність пожежі або початок пожежі. Зображення потрібно додатково обробити, перш ніж використовувати його для навчання моделі. На рис. 2 представлена архітектура для навчання моделі нейронної мережі виявлення пожежі.

Зображення обробляються таким чином, щоб відповідати моделі та забезпечити точне прогнозування лісової пожежі. Після обробки зображень вони використовуються для навчання згорткової нейронної

мережі. Для економії ресурсів та збереження обчислювальних можливостей використовуються початково навчені вагові коефіцієнти, які проходять повторне навчання за допомогою нового набору вхідних даних.

Далі модель використовує вхідні дані та прогнозує імовірність пожежі для кожного класу. Набори даних використовуються для навчання моделі. Моделі для перевірки допомагають перевірити точність навчання моделі. Після перевірки модель проходить оцінку для того, щоб отримати кінцевий результат для досягнення оптимальної продуктивності алгоритму.

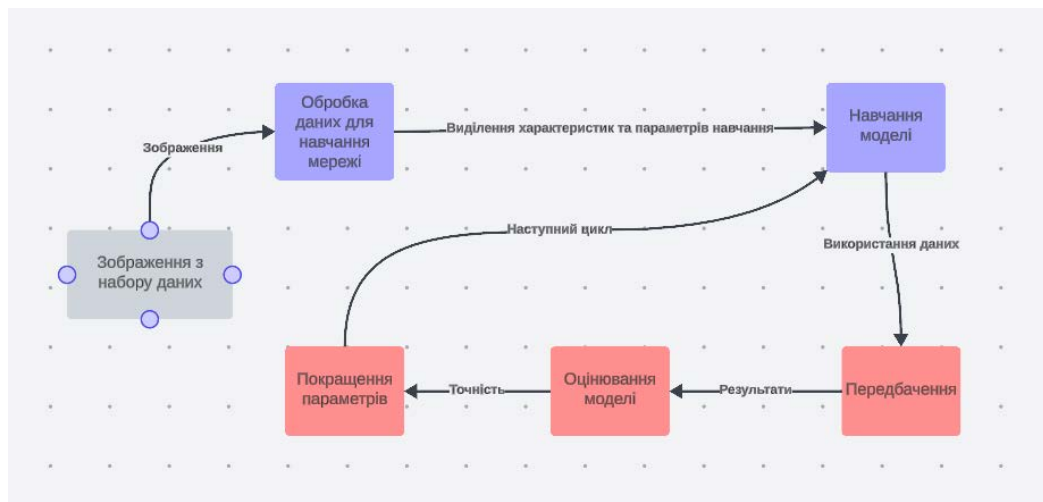


Рис. 2. Архітектура для навчання моделі нейронної мережі для виявлення пожежі

На рис. 3 можна побачити один з результатів обробки зображень – трансформацію кольору. Це необхідно для того, щоб додати новий відтінок з метою забезпечення додаткової продуктивності алгоритму. Крім того, зміна спектру дає можливість краще виявити дим та вогонь. Даний кольоровий спектр дає можливість виявити більше деталей.

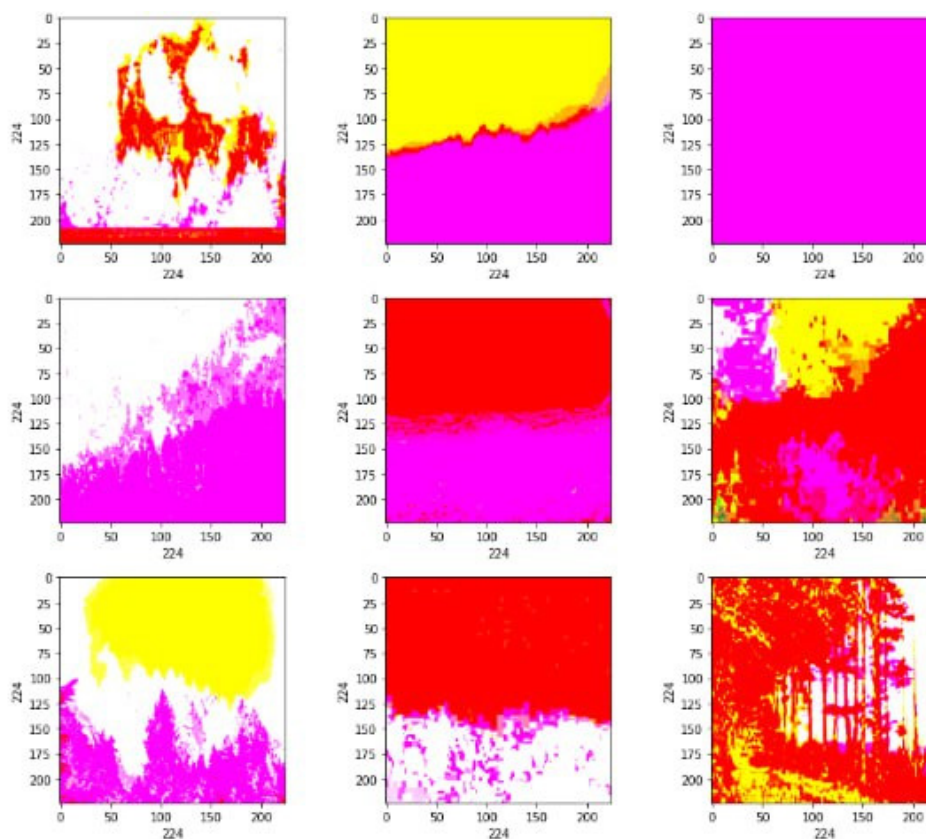


Рис. 3. Трансформація кольору

Далі було виділено порогові значення (рис. 4) для навчання моделі. Для досягнення мети краще розрізняти деталі зображення. Після цього використано виявлення країв для того, щоб краще розподілити об'єкт вогню на досліджуваному зображенні. Виявлено ключові точки, орієнтацію зображення. Детальний аналіз та численні комбінації функцій підвищують ефективність навчання нейронної мережі.

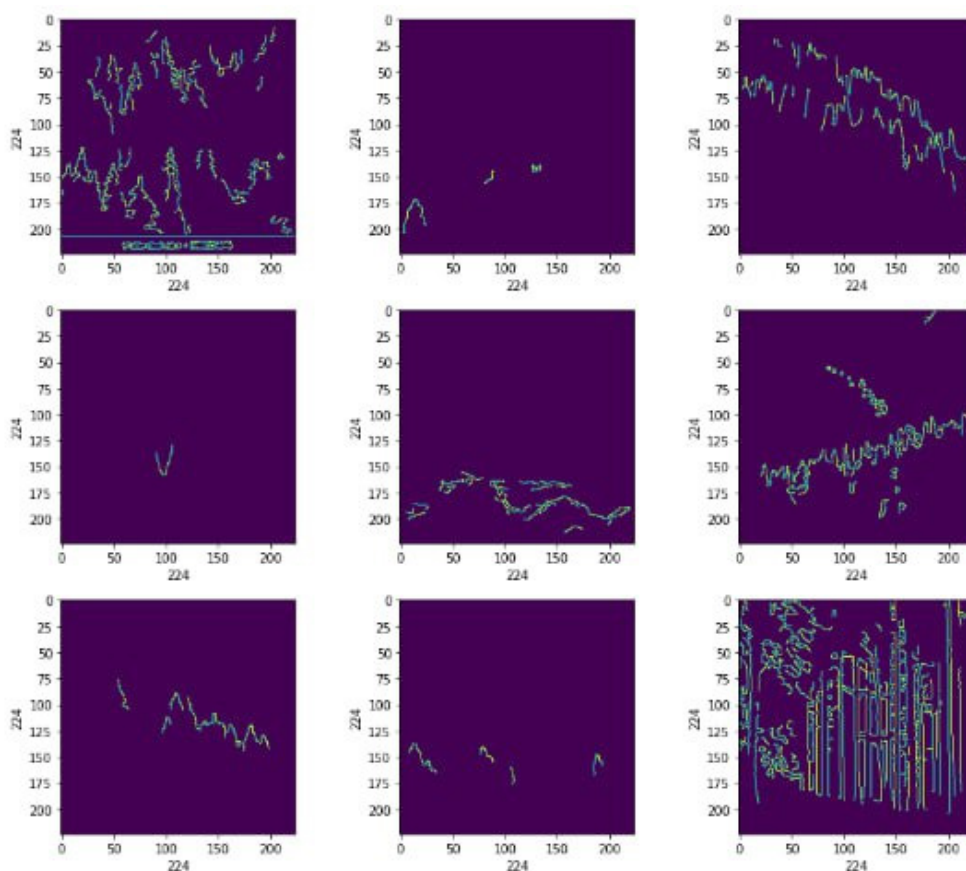


Рис. 4. Визначення порогового значення

При проведенні дослідження було об'єднано кілька функцій. Різні комбінації надали можливість виявити найбільш ефективні методи навчання нейронної мережі.

Алгоритм згорткової нейронної мережі виглядає наступним чином:

$$A_{ij} = \sum \sum w_{kl} * X_{(i-k),j-l}$$

де:

- 1) A_{ij} – елемент карти ознак на позиції (i, j).
- 2) w_{kl} – значення ваги на позиції (k, l) в ядрі згортки.
- 3) $X_{(i-k),j-l}$ – значення елемента вхідної сітки на позиції (i-k, j-l).
- 4) k і l – розміри ядра згортки.

Після згортки до карти ознак застосовується нелінійна функція активації, яка вводить елемент нелінійності в процес обробки.

У першому випадку (рис. 5) було використано шумовий фільтр, сегментація зображення та колірний простір для аналізу зображень та навчання нейронної мережі. Можна помітити, що точність результатів складає всього 77,23%.

У другому випадку (рис. 6) було використано фільтр шуму по Гаусу, ключові точки для фільтри для виявлення меж. Можна помітити різкі переходи точності кривих при навчанні та перевірці алгоритму. Точність навчання зростає поступово. Оцінка точності даного алгоритму склала 77%.

У наступному випадку було використано всі функції аналізу вхідних зображень для навчання нейронної мережі. На рис. 7 можна побачити, що остаточна модель має високий рівень точності у порівнянні з попередніми варіантами. Точність становить 92%. Спочатку результати навчання змінюються по кривій, але потім точність вирівнюється.



Рис. 5. Крива точності навчання нейронної мережі у першому випадку

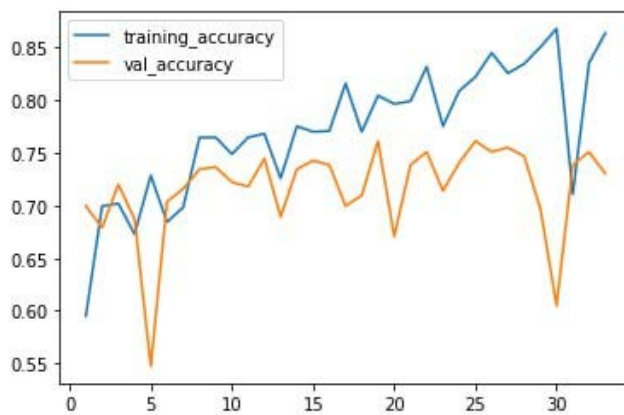


Рис. 6. Крива точності навчання нейронної мережі у другому випадку

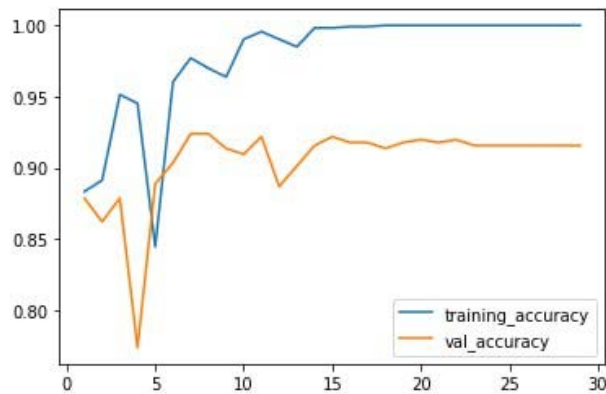


Рис. 7. Крива точності навчання нейронної мережі у третьому випадку

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. У ході проведеного дослідження було досліджено різні способи для аналізу вхідних зображень з метою побудови нейронної мережі для раннього виявлення та попередження лісових пожеж. Було побудовано архітектуру навчання нейронної мережі. Приведено послідовні функції аналізу зображень. Досліджено різні методи навчання нейронної мережі. Виявлено найбільш ефективний алгоритм навчання згортової нейронної мережі з точністю 92%. У майбутньому можна покращити роботу алгоритму, щоб підвищити точність. Результати роботи нейронної мережі використано для СППР задля раннього виявлення та попередження лісових пожеж на території України.

Список використаних джерел:

1. Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. Towards Industry 4.0 Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 2019. 25(2, SI), 323–346. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2017-0088>
2. Barthe-Delanoë A.M. Event-driven agility of interoperability during the Run-time of collaborative processes. Системи підтримки прийняття рішень, 2014.
3. Bingsong He, Xueping Zhao, Zhiguo Zhou and Zheyi Fan. Implementation of a Fire Detection Algorithm on TMS320DM642 DSP using MATLAB/Simulink. [Електронний ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink (дата доступу: 10.04.2024).
4. Elia G., Polimeno G., Solazzo G., Passiante G.. A multi-dimension framework for value creation through big data, 2019.
5. Hayes D.R., Cappa F. Open-source intelligence for risk assessment, 2018.
6. Jeble S., Kumari S, Patil Y.. Role of Big Data in Decision Making. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 2018.
7. Oger R. Towards Decision Support Automation for Supply Chain Risk Management among Logistics Network Stakeholders. *IFAC-PapersOnLine*, 2018 рік.
8. Simões-Marques, M., Figueira, J.R. How Can AI Help Reduce the Burden of Disaster Management Decision-Making?; Springer: Берлін/Гайдельберг, Німеччина, 2018.
9. Борючись із лісовою пожежею та пандемією, Україна стикається з новим ворогом: наземними мінами. [Електронний ресурс] URL: <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> (дата звернення: 10.04.2024).
10. Журавль І.М. Короткий курс теорії обробки зображень. [Електронний ресурс] URL: <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734> (дата звернення: 10.04.2024).
11. Кветний Р.Н., Богач І.В., Бойко О.Р., Софіна О.Ю., Шушура О.М. Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Методи обробки. Частина 2. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm (дата звернення: 10.04.2024).
12. Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г., Пляцук Л.Д., Шапорев В.П., Моїсєєв В.Ф. Геоінформаційні технології в екології: Навч. посіб. – Чернівці, 2012. – 273 с. URL: https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Ekolohichna-heoinformatyka_literatura-dlia-lektsiy.pdf (дата звернення: 10.04.2024).
13. Тургай Челік. Швидкий і ефективний метод виявлення пожежі за допомогою обробки зображень. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> (дата звернення: 10.04.2024).

References:

1. Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0 Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 25(2, SI), 323–346. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2017-0088>
2. Barthe-Delanoë A.M. Event-driven agility of interoperability during the Run-time of collaborative processes. *Systemy pidtrymky pryiniattia rishen*, 2014.
3. Bingsong He, Xueping Zhao, Zhiguo Zhou and Zheyi Fan. Implementation of a Fire Detection Algorithm on TMS320DM642 DSP using MATLAB/Simulink. [Elektronnyi resurs] URL: https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink (data dostupu: 10.04.2024).
4. Elia G., Polimeno G., Solazzo G., Passiante G.. A multi-dimension framework for value creation through big data, 2019.
5. Hayes D.R., Cappa F. Open-source intelligence for risk assessment, 2018.
6. Jeble S., Kumari S, Patil Y.. Role of Big Data in Decision Making. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 2018.
7. Oger R. Towards Decision Support Automation for Supply Chain Risk Management among Logistics Network Stakeholders. *IFAC-PapersOnLine*, 2018 рік.
8. Simões-Marques, M., Figueira, J.R. How Can AI Help Reduce the Burden of Disaster Management Decision-Making?; Springer: Berlin/Haidelberh, Nimechchyna, 2018.
9. Boriuchys iz lisovoju pozhezheiu ta pandemiiu, Ukraina stykaietsia z novym vorohom: nazemnymy minamy. [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> (data zvernennia: 10.04.2024).
10. Zhuravl I.M. Korotkyi kurs teorii obrobky zobrazhen. [Elektronnyi resurs] URL: <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734> (data zvernennia: 10.04.2024).
11. Kvietnyi R.N., Bohach I.V., Boiko O.R., Sofina O.Iu., Shushura O.M. Kompiuterne modeliuвання system i protsesiv. Metody obrobky. Chastyna 2. [Elektronnyi resurs] URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm (data zvernennia: 10.04.2024).
12. Pitak I.V., Nehadailov A.A., Masikevych Yu.H., Pliatsuk L.D., Shaporiev V.P., Moiseiev V.F. Heoinformatsiini tekhnolohii v ekolohii: Navch.posib. – Chernivtsi, 2012. – 273 s. [Elektronnyi resurs] URL: https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Ekolohichna-heoinformatyka_literatura-dlia-lektsiy.pdf (data zvernennia: 10.04.2024).
13. Turhai Chelyk. Shvydkyi i efektyvnyi metod vyavlennia pozhezhi za dopomohoiu obrobky zobrazhen. [Elektronnyi resurs] URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> (data zvernennia: 10.04.2024).

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.7>

Олексійчук Ю. Ф., кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0002-0585-3307

Ольховський Д. М., кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0003-0313-6977

Ольховська О. В., кандидат фізико-математичних наук,
завідувач кафедри комп'ютерних наук
та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0001-5366-5995

Андрушків О. М., магістр за спеціальністю «Комп'ютерні науки»
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID: 0009-0000-0919-0152

ПРОЄКТУВАННЯ, РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ WEB-СЕРВІСУ ДЛЯ ВИБОРУ ТЕМ ДИПЛОМНИХ РОБІТ

У роботі розглядається проєктування, розробка та тестування web-сервісу для вибору тем студентських дипломних робіт. Цей застосунок може бути корисний як викладачам, так і студентам. Web-сервіс реалізує серверну частину програмного забезпечення, яке надає можливості по створенню, збереженню та розподілу тем серед студентів ВНЗ.

REST API – це архітектурний стиль для реалізації веб-сервісів, що ґрунтується на простих та уніфікованих принципах, таких як використання стандартних HTTP-методів для взаємодії з ресурсами через URI, підтримка безстанової комунікації між клієнтом і сервером, підтримка передачі даних у форматах XML і JSON, розділення обов'язків для масштабованості та стійкості систем. Використання REST API спрощує розробку, розгортання та супровід веб-застосунків, роблячи їх більш масштабованими та ефективними.

Web-сервіс написаний на мові програмування Java та використовує сімейство фреймворків Spring: Spring Boot, Spring Data JPA, Spring Web, Spring Security.

Структура проєкту побудована на основі патерну проєктування Controller-Service-Repository, що включає відповідні шари для впорядкування функціональності. У шарі контролера визначається зовнішній інтерфейс сервісу, він відповідає за надання даних клієнтам. Шар сховища відповідає за зберігання та отримання даних. Сервісний шар є місцем, де розташовується вся бізнес-логіка. Якщо бізнес-логіка потребує отримання або збереження даних, вона взаємодіє з репозиторієм. Для отримання доступу до бізнес-логіки клієнти викликають класи з шару контролера. Як сховище даних використовується СКБД PostgreSQL.

Тестування є важливою складовою розробки програмного забезпечення. Для тестування web-сервісу використовуються юніт-тести, що перевіряють окремі компоненти, інтеграційні тести, що перевіряють взаємодію між компонентами, та тести API, які перевіряють працездатність API сервісу. Для тестування REST API використовуються Swagger та Postman. Бібліотека Testcontainers дозволяє створювати тести з використанням реальних залежностей за допомогою контейнерів Docker, що полегшує тестування з використанням реальних сервісів.

Web-сервіс дозволяє автоматизувати процес створення та обрання тем дипломних робіт для викладачів і студентів відповідно.

Ключові слова: web-сервіс, java, spring, REST API.

Oleksiichuk Yu. F., Olkhovsky D. M., Olkhovska O. V., Andrushkiv O. M. Designing, developing and testing a web service for selecting thesis topics

The paper discusses the design, development, and testing of a web service for selecting topics for student theses. This application serves both educators and students by facilitating the creation, storage, and distribution of thesis topics among university students.

© Ю. Ф. Олексійчук, Д. М. Ольховський, О. В. Ольховська, О. М. Андрушків, 2024

REST API is an architectural style used to implement web services. It relies on simple and standardized principles, such as using standard HTTP methods to interact with resources via URIs, supporting stateless communication between clients and servers, facilitating data transmission in XML and JSON formats, and dividing responsibilities for scalability and system robustness. Utilizing REST API simplifies the development, deployment, and maintenance of web applications, enhancing their scalability and efficiency.

The web service is developed using the Java programming language and uses the Spring framework, including Spring Boot, Spring Data JPA, Spring Web, and Spring Security. The project structure follows the Controller-Service-Repository design pattern, which organizes functionality into corresponding layers. The controller layer defines the external interface of the service and handles data provision to clients. The repository layer is responsible for data storage and retrieval, while the service layer contains all business logic. If the business logic requires data retrieval or storage, it interacts with the repository. Clients access the business logic by invoking classes from the controller layer. PostgreSQL is used as the data storage.

Testing is a crucial component of software development. The web service will undergo unit tests to verify individual components, integration tests to examine component interaction, and API tests to ensure the functionality of the service's API. Swagger and Postman are used for testing REST API functionality. The Testcontainers library facilitates the creation of tests using real dependencies with Docker containers, simplifying testing with real services.

The web service automates the process of creating and selecting thesis topics for educators and students, respectively.

Key words: web service, java, spring, REST API.

Постановка проблеми. Автоматизація різних освітніх процесів є актуальною задачею в сучасному світі. Вибір студентами тем бакалаврських, магістерських робіт та наукових керівників займає багато часу та потребує суттєвих організаційних зусиль. Тому хоча б часткова автоматизація цього процесу є актуальною задачею.

В університеті вже впроваджено ряд програмних систем, що автоматизують складання розкладу [1], розподіл та облік навантаження викладачів, планування навчального процесу [2], вибір студентами індивідуальної освітньої траєкторії тощо. Реалізації системи для вибору тем дипломних робіт у вигляді web-сервісу дозволить просто інтегрувати її у програмні продукти, що вже існують або будуть створюватися.

Розглянемо основні вимоги до системи. Сервіс має підтримувати:

1. Різні функціональні ролі. Супер-адміністратор, адміністратор, куратор, викладач та студент мають різні функціональні можливості та обов'язки.

2. Модель ролей. Вибір між однією роллю на користувача або кількома ролями забезпечить гнучкість та логічність управління доступом.

3. Керування групами. Система включає можливість реєстрації та управління групами студентів, встановленням активного та архівного статусів груп.

4. Ліміти вибору тем. Викладач має можливість задавати ліміти на кількість тем для кожної групи.

5. Реєстрацію користувачів. Реєстрація користувачів з можливістю надавати їм ролі адміністраторів, викладачів чи студентів. Реєстрація може бути як одного користувача (вручну) так і багатьох (шляхом імпорту з файлу).

6. Управління темами. Викладачі можуть створювати, редагувати та видаляти теми дипломних робіт.

7. Статуси тем. Теми можуть мати різні статуси, що відображають їх поточний стан (редагується, невібрана, заброньована, вибрана, затверджена, виконана, невиконана).

8. Кабінети користувачів. Сервіс може бути інтегрований з особистими кабінетами студентів та викладачів з можливістю перегляду та взаємодії з темами.

9. Затвердження тем та генерацію наказу. Механізм затвердження тем куратором або адміністратором, а також автоматична генерація наказу для університетської документації.

10. Інформаційне сповіщення. Можливості для сповіщення викладачів про вибір тем та інші події через email або інші зручні канали.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні роки для розробки програмних продуктів з API найчастіше використовується технологія REST (Representational State Transfer) [3-7].

REST API або RESTful API – це архітектурний стиль для реалізації веб-сервісів, який ґрунтується на простих та уніфікованих принципах, таких як використання стандартних HTTP методів для взаємодії з ресурсами через URI, підтримка беззастанової комунікації між клієнтом і сервером, підтримка передачі даних у форматах XML і JSON, розділення обов'язків, що сприяє масштабованості та стійкості систем. Використання REST API спрощує розробку, розгортання та супроводження веб-додатків, роблячи їх більш масштабованими та ефективними [8-9].

Можливість простої інтеграції в інші програмні продукти сприяє тому, що веб-сервіси широко використовуються для вирішення різноманітних задач [9-10]. Зокрема, веб-сервіси є важливими компонентами мікросервісної архітектури [11].

Задача автоматизації розподілу тем дипломних робіт актуальна для кожного навчального закладу, але враховуючи різну архітектуру наявного програмного забезпечення, вирішуватися вона може по-різному [12-14]. В [12] розглядається розробка серверної частини застосунку для розподілу тем та керування процесом написання дипломних робіт. В системі є наступні ролі: навчальний персонал, викладач, студент, голова

кафедри. Кожен із учасників виконує власні функції: заповнення навантаження викладачів, заповнення графіку виконання дипломних робіт, створення та редагування тем дипломних робіт, вибір тем, схвалення тем тощо. В [13] описується проектування та розробка iOS-застосунку для вибору тем робіт. Застосунок має серверну частину, в якій виділяються, зокрема, сутності викладач, студент, дипломна робота. Розробка модуля системи для управління процесу написання дипломних робіт розглядається в [14]. В системі виділяються сутності викладач, студент та додатковий персонал.

Метою статті є проектування, розробка та тестування web-сервісу для управління розподілом тем дипломних робіт. Web-сервіс має підтримувати:

- а) можливість реєстрації та авторизації користувачів;
- б) різні ролі користувачів з відповідними правами;
- в) можливість викладачам пропонувати теми дипломних робіт для вибору;
- г) можливість студентам робити вибір;
- д) можливість інтеграції з іншими програмними продуктами.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації Web-сервісу вибрана мова програмування Java та сімейство фреймворків Spring [15]: Spring Boot, Spring Data JPA, Spring Web, Spring Security. Як сховище даних використовується СКБД PostgreSQL [16].

База даних є необхідним елементом web-сервісу і забезпечує збереження даних. Структура бази даних представлена на рис. 1.

Розглянемо основні таблиці бази даних.

1. `admin` – зберігає дані користувачів з адміністративними правами, ролями: SUPERADMIN, ADMIN, MENTOR, PROFESSOR, має наступні атрибути:

- `username` – унікальне ім'я користувача;
- `email` – електронна адреса;
- `full_name` – повне ім'я;
- `title` – пегалії, посада тощо;
- `password` – пароль користувача, який зберігається у вигляді геш-коду отриманого з допомогою функції `BCrypt` [17];

2. `admin_role` – зберігає записи з ролями адмін-користувачів, має поля:

- `admin_id` – зовнішній ключ на `id` адмін-користувача;
- `roles` – роль адмін-користувача.

3. `student` – зберігає дані користувачів з неадміністративними правами, роллю STUDENT, має поля:

- `username` – унікальне ім'я користувача;
- `full_name` – повне ім'я;
- `password` – пароль користувача, який зберігається у вигляді геш-коду отриманого з допомогою функції `BCrypt` [17];

- `group_id` – зовнішній ключ на `id` групи студента.

4. `student_group` – зберігає записи студентських груп, має поля:

- `name` – унікальна назва групи;
- `full_name` – повна назва групи (як у розкладі);
- `archived` – статус групи (активна чи архівна).

5. `group_limit` – таблиця для визначення максимальної кількості тем, які викладач може запропонувати студентській групі, має поля:

- `group_id` – зовнішній ключ на `id` студентської групи;
- `professor_id` – зовнішній ключ на `id` викладача;
- `upper_limit` – числове значення максимальної кількості тем.

6. `thesis` – зберігає теми, має поля:

- `course_name` – формулювання теми курсової роботи;
- `diploma_name` – формулювання теми дипломної роботи;
- `comment` – коментар викладача;
- `owner_id` – зовнішній ключ на `id` викладача, який є власником теми.

7. `offered_thesis` – зберігає дані тем, які були запропоновані студентській групі і їх статуси, має поля:

- `thesis_id` – зовнішній ключ на `id` запропонованої теми;
- `assignee_id` – зовнішній ключ на `id` студента, який працює з темою;
- `status` – актуальний статус теми, можливі значення: PENDING, OPEN, RESERVED, SELECTED, APPROVED, COMPLETED, UNCOMPLETED.

8. `offered_thesis_student_group` – таблиця поєднує запропоновані теми зі студентськими групами, має поля:

- `offered_thesis_id` – зовнішній ключ на `id` запропонованої теми;
- `group_id` – зовнішній ключ на `id` студентської групи.

Web-сервіс передбачає наступні ролі:

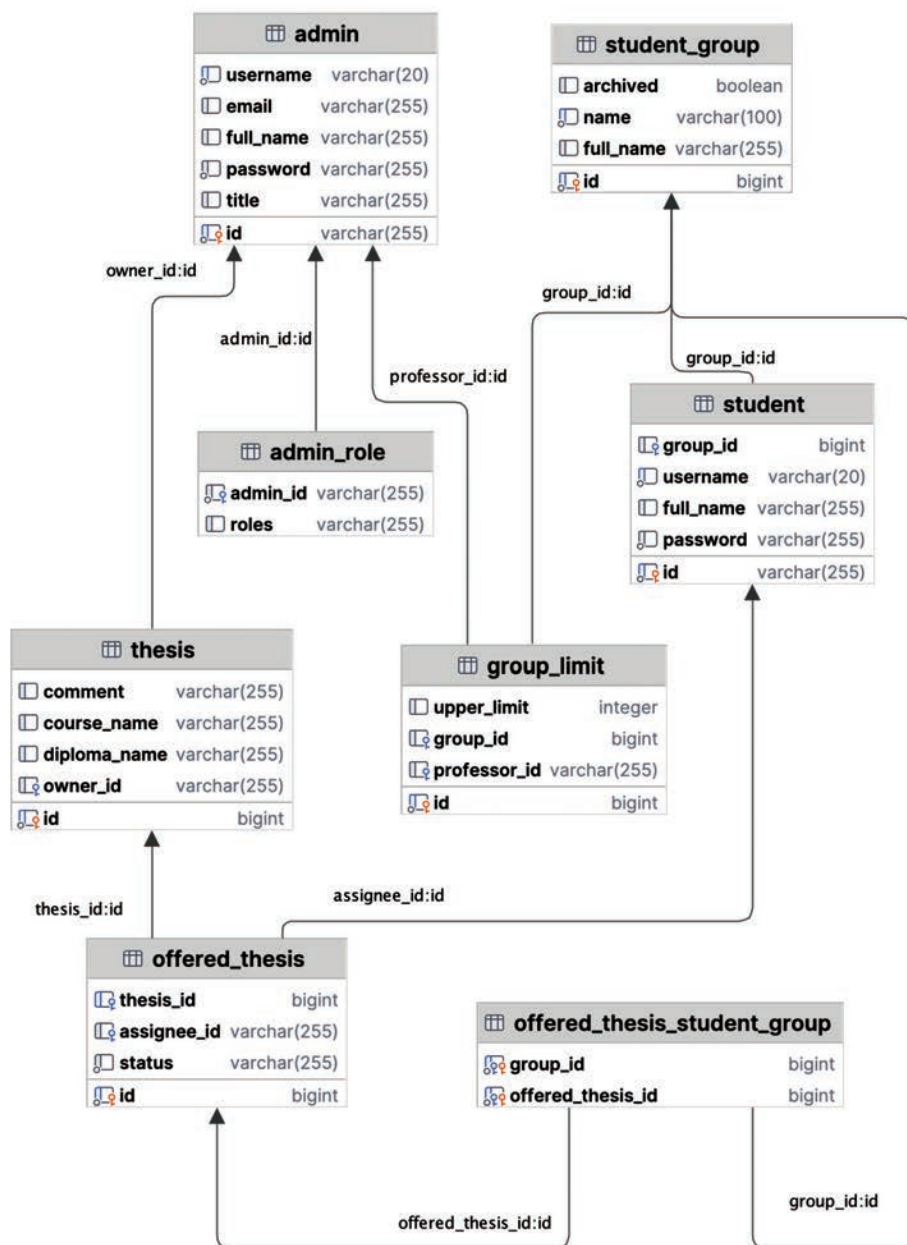


Рис. 1. ER-діаграма бази даних web-сервісу

1. Супер-адміністратор. Має всі права, один в системі.
2. Адміністратор. Основна функція додавати користувачів.
3. Куратор. Має бачити загальну інформацію про те, хто яку тему вибрав, на якому етапі вибір тем.
4. Викладач. Може додавати теми, робити їх видимими для груп.
5. Студент. Може вибирати теми, відноситься до окремої групи.

Кожен студент відноситься до однієї групи. Група може бути:

- 1) активною, якщо студенти ще здійснюють вибір тем;
- 2) архівною, якщо студенти вже завершили вибір тем.

Статус змінюється адміном або куратором. Студенти архівної групи можуть тільки подивитися свою тему, інші функції для них недоступні. Назва групи – унікальна.

Якщо студент пише роботу кілька разів (наприклад, бакалаврську і магістерську роботи), то кожного разу буде створюватися новий обліковий запис.

Студенти групи мають ліміт на вибір тем конкретного викладача. При створенні групи потрібно задати її назву. Потім задати ліміти для кожного викладача.

Викладач може створити, змінити та видалити тему. Викладач може додати коментар до теми, який студент буде бачити при виборі теми.

Викладач може вибрати теми з свого списку та запропонувати їх групі. Якщо тема запропонована активній групі, то її не можна змінити чи видалити. Можна запропонувати кільком групам одну й ту ж тему.

Тема може мати наступні статуси:

1. Редагується – тема не запропонована активній групі.

2. Невибрана – тема запропонована активній групі, але її ще ніхто не вибрав.

3. Заброньована – студент може забронювати тему. В цьому статусі інші студенти будуть бачити її, але не зможуть вибрати (буде інший колір або помітка). Після додаткового обмірковування або консультації з викладачем студент приймає рішення: вибирає тему (статус Вибрана) або відмовляється від неї (статус Невибрана).

4. Вибрана – студент вибирає тему, після цього самостійно відмовитися від теми не може, тільки через адміна або викладача у виняткових ситуаціях.

5. Затверджена – куратор, адміністратор чи викладач можуть затвердити тему. Після цього нічого змінювати не можна.

6. Виконана – куратор, адміністратор чи викладач можуть змінити тему на цей статус, якщо студент вже захистив роботу.

7. Невиконана – куратор, адміністратор чи викладач можуть встановити цей статус для теми, якщо студент відрахований або не виконав роботу з іншої причини.

В майбутньому для web-сервісу будуть створені кабінети користувачів або будуть під'єднані інші сервіси. В контролері передбачені методи для таких кабінетів.

1. Кабінет викладача. Викладач бачить всі свої теми, може фільтрувати їх по статусах, додавати нові, редагувати, якщо тема в статусі Редагована, бачить, хто вибрав чи забронював його тему.

2. Кабінет студента. Студент бачить список тем, їх статус, імена викладачів, що запропонували ці теми. Може забронювати тему, вибрати тему. Відмовитися можна від заброньованої, але не від вибраної. Якщо для якогось викладача досягнуто ліміт тем для цієї групи, то його теми вже не можна вибрати чи забронювати.

3. Кабінет куратора. Куратор бачить список студентів групи, теми, які вони вибрали або забронювали, дату останнього входу в кабінет кожного студента. Також куратор може бачити список тем, що запропонував кожний викладач.

Загальний алгоритм роботи з системою може виглядати наступним чином.

1. Автоматично створюється супер-адміністратор після першого запуску системи.

2. Супер-адміністратор додає адміністратора чи адміністраторів.

3. Адміністратори додають викладачів та кураторів.

4. Викладачі працюють зі своїми темами.

5. Адміністратор або куратор створює групу, задає ліміт для кожного викладача.

6. Адміністратор або куратор додає студентів у групу.

7. Викладачі пропонують теми кожній групі. Система відстежує, щоб викладачі запропонували достатню кількість тем. Деякі теми можуть пропонуватися різним групам, деякі – лише одній.

8. Студенти вибирають теми відповідно до порядку описаного вище.

9. Куратор вибирає теми замість студентів, що не зробили вчасно вибір.

10. Куратор або адміністратор затверджує теми. Група стає архівною.

11. Куратор або адміністратор формує наказ відповідно до вибраних тем.

12. Після захисту робіт куратор, адміністратор або викладач може перевести теми в статус виконаних чи невиконаних.

13. Новий семестр, перехід на крок 4.

Структура проєкту побудована на основі патерну проєктування Controller-Service-Repository [18] і складається із відповідних шарів.

Шар контролера (Controller) визначає зовнішній інтерфейс (API) сервісу і відповідає за надання за надання даних клієнтам. Шар сховища (Repository) відповідає за зберігання та отримання даних. Сервісний шар (Service) – це місце де розташовується вся бізнес-логіка. Якщо бізнес-логіка вимагає отримання/збереження даних, вона підключається до Repository. Щоб отримати доступ до бізнес-логіки, клієнти викликають класи з шару Controller.

Шар Controller включає наступні класи: AdminController, GroupController, GroupLimitController, OfferedThesisController, StudentController, ThesisController, UserController. В кожному із класів визначаються методи для роботи із відповідними сутностями.

Шар Service містить такі класи: AdminService, GroupLimitService, GroupService, OfferedThesisService, StudentService, ThesisService, UserService.

Шар Repository складається із інтерфейсів: AdminRepository, GroupLimitRepository, GroupRepository, OfferedThesisRepository, StudentRepository, ThesisRepository, UserRepository.

Сутності (класи) доменної моделі відображаються у відповідні таблиці бази даних, проєкт має наступні класи: Admin, Group, GroupLimit, OfferedThesis, OfferedThesisStatus, Student, Thesis, User, UserRole.

Наприклад, програмний код сутності Group виглядає так:

```
@Getter
@Setter
@Builder
@AllArgsConstructor
@NoArgsConstructor
@Entity
@Table(name = «student_group»)
public class Group {
    @Id
    @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
    private Long id;
    @Column(name = «name», nullable = false, unique = true, length = 100)
    private String name;
    @Column(name = «full_name»)
    private String fullName;
    @Column(name = «archived»)
    private boolean archived;
}
```

Тестування – невід’ємний етап розробки програмного забезпечення. Для тестування Spring Boot web-сервісів існує кілька типів тестів.

1. Unit-тести. Ці тести перевіряють окремі компоненти програми (наприклад, класи, методи) без залучення залежностей. Для тестування компонентів Spring Boot використовуються фреймворки, такі як JUnit або TestNG.

2. Інтеграційні тести. Ці тести перевіряють взаємодію між різними компонентами застосунку. У випадку Spring Boot це може бути, наприклад, тестування взаємодії сервісів, репозиторіїв та інших компонентів.

3. Тести API. Це тести, які перевіряють працездатність API web-сервісу. Вони можуть включати автоматизовані тести, які взаємодіють з API за допомогою HTTP-запитів і перевіряють повернені відповіді.

Для ручного тестування в проєкт інтегрований сервіс Swagger [19], який дозволяє візуалізувати наявні кінцеві точки (endpoints) і виконати різні запити до web-сервісу. Для виконання HTTP-запитів також використовується застосунок Postman [20]. Postman – це програмний інструмент, який використовується для тестування, розробки та взаємодії з веб-сервісами і API. Він дозволяє користувачам створювати, виконувати та автоматизувати тести API, відправляти HTTP-запити та отримувати відповіді для валідації функціональності та виконання різних сценаріїв. Postman також забезпечує можливості документування API та спільної роботи в команді.

Testcontainers [21] є бібліотекою тестування, що дозволяє створювати тести з використанням реальних залежностей за допомогою одноразових контейнерів Docker. Ця бібліотека надає програмне API для генерації необхідних залежних сервісів у вигляді контейнерів Docker, що дозволяє писати тести, використовуючи реальні сервіси замість макетів. Таким чином, будь-які типи тестів, незалежно від того, чи це модульні тести, тести API або інтеграційні тести, можуть бути реалізовані з використанням реальних залежностей за допомогою однієї і тієї ж моделі програмування.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. В роботі розглянуто проєктування, програмну реалізацію та тестування web-сервісу для вибору тем дипломних робіт студентами. Web-сервіс після впровадження дозволить спростити роботу викладачів при підготовці тем дипломних робіт. Для студентів вибір тем стане більш зручним, оскільки його можна буде робити в режимі онлайн. В подальшому планується створення web-версій кабінетів студента, викладача та куратора або інтеграція з іншими системами, що використовуються в університеті.

Список використаних джерел:

1. Ольховська, О. В., Кошова, О. П., Ольховський, Д. М., Семикоз, Д. С. Розробка web-застосунку для формування розкладу в закладі вищої освіти. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2023, 1 (84), 155-162. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.21>

2. Педченко, Н. С. Моніторинг розвитку кадрового потенціалу Вищого навчального закладу Укоопспілки» Полтавський університет економіки і торгівлі». *Актуальні проблеми та перспективи розвитку соціально-трудових відносин в умовах цифрової економіки : матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*. Полтава : ПУЕТ, 2021, 84-88.

-
3. Kopecký, J., Fremantle, P., Boakes, R. A history and future of Web APIs. *it-Information Technology*, 2014, 56(3), 90-97.
 4. Bülthoff, F., Maleshkova, M. RESTful or RESTless—current state of today’s top web APIs. In *The Semantic Web: ESWC 2014 Satellite Events: ESWC 2014 Satellite Events*, Anissaras, Crete, Greece, May 25-29, 2014, Revised Selected Papers 11 (pp. 64-74). Springer International Publishing.
 5. Зінченко, А. Ю. Проектування розподілених інформаційних систем на основі використання технології слабозв’язаних компонентів. *Системи та технології*, 2023, 63 (1), 5-14. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.1>
 6. Олексійчук, Ю. Ф., Ольховська, О. В., Ольховський, Д. М., Орлова, Д. І. Проектування та розробка web-сервісу для генерування та розсилки pdf-документів. *Системи та технології*, 2023, 65(1), 39-45. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.5>
 7. Кошова, О. П., Ольховська, О. В., Тацій, Д. С., Олексійчук, Ю. Ф., & Черненко, О. О. Розробка веб-додатків та сервісів на платформі node.js. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023, (2), 78-89.
 8. Fielding, R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine, 2000.
 9. Neumann, A., Laranjeiro, N., & Bernardino, J. An analysis of public REST web service APIs. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2018, 14(4), 957-970.
 10. Chen, Y., Yang, Y., Lei, Z., Xia, M., Qi, Z. Bootstrapping automated testing for RESTful web services. In *International Conference on Fundamental Approaches to Software Engineering* (pp. 46-66). Cham: Springer International Publishing, 2021, March.
 11. Massaga, A., Kouamou, G. E. Towards a Framework for Evaluating Technologies for Implementing Microservices Architectures. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2021, 14(8), 442-453.
 12. Соболев, П. О. Автоматизована система керування дипломними роботами на кафедрі (серверна частина) (Bachelor’s thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2021.
 13. Касьяненко, І. І. iOS додаток управління педагогічними та науковими аспектами роботи кафедри (Master’s thesis, Київ), 2018.
 14. Штокал, С. С. Модуль «Додатковий персонал» системи управління дипломними проектами (Bachelor’s thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2019.
 15. Walls, C. *Spring in action*. Simon and Schuster, 2022.
 16. Drake, J. D., Worsley, J. C. *Practical PostgreSQL*. O’Reilly Media, Inc, 2002.
 17. Provos, N., Mazieres, D. Bcrypt algorithm. In *USENIX*, 1999.
 18. Fowler, M. *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley, 2012.
 19. Dos Santos, J. S., Azevedo, L. G., Soares, E. F., Thiago, R. M., da Silva, V. T. Analysis of Tools for REST Contract Specification in Swagger/OpenAPI. In *ICEIS (2)* (pp. 201-208), 2020.
 20. Westerveld, D. *API Testing and Development with Postman: A practical guide to creating, testing, and managing APIs for automated software testing*. Packt Publishing Ltd, 2021.
 21. Sharp, T. R. Testing the Persistence Tier with Testcontainers. In *Introducing Micronaut: Build, Test, and Deploy Java Microservices on Oracle Cloud* (pp. 81-88). Berkeley, CA: Apress, 2022.

References:

1. Olkhovska, O. V., Koshova, O. P., Olkhovskyi, D. M., Semikoz, D. S. (2023). Development of a web application for creating a schedule in a higher education institution. *Bulletin of the Kherson National Technical University*, 1 (84), 155-162. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.21>
2. Pedchenko, N. S. (2021). Monitoring the development of personnel potential of the higher educational institution of the Ucoopspilka «Poltava University of Economics and Trade». *Actual problems and prospects for the development of social and labor relations in the conditions of the digital economy: materials of the 12th International Scientific and Practical Conference. Poltava: PUET*, 84-88.
3. Kopecký, J., Fremantle, P., Boakes, R. (2014). A history and future of Web APIs. *it-Information Technology*, 56(3), 90-97.
4. Bülthoff, F., Maleshkova, M. (2014). RESTful or RESTless—current state of today’s top web APIs. In *The Semantic Web: ESWC 2014 Satellite Events: ESWC 2014 Satellite Events*, Anissaras, Crete, Greece, May 25-29, 2014, Revised Selected Papers 11 (pp. 64-74). Springer International Publishing.
5. Zinchenko, A. Yu. (2023). The design of distributed information systems is based on the use of the technology of loosely coupled components. *Systems and Technologies*, 63 (1), 5-14. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.1>
6. Oleksiichuk, Y. F., Olkhovska, O. V., Olkhovskyi, D. M., Orlova, D. I. (2023). Design and development of a web service for generating and sending pdf documents. *Systems and Technologies*, 65(1), 39-45. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.5>
7. Koshova, O. P., Olkhovska, O. V., Tatsii, D. S., Oleksiichuk, Y. F., & Chernenko, O. O. (2023). Development of web applications and services on the node.js platform. *Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (2), 78-89.

-
8. Fielding, R. T. (2000). Architectural styles and the design of network-based software architectures. University of California, Irvine.
 9. Neumann, A., Laranjeiro, N., & Bernardino, J. (2018). An analysis of public REST web service APIs. *IEEE Transactions on Services Computing*, 14(4), 957-970.
 10. Chen, Y., Yang, Y., Lei, Z., Xia, M., Qi, Z. (2021, March). Bootstrapping automated testing for RESTful web services. In *International Conference on Fundamental Approaches to Software Engineering* (pp. 46-66). Cham: Springer International Publishing.
 11. Massaga, A., & Kouamou, G. E. (2021). Towards a Framework for Evaluating Technologies for Implementing Microservices Architectures. *Journal of Software Engineering and Applications*, 14(8), 442-453.
 12. Sobolev, P. O. (2021). Automated management system for theses at the department (server part) (Bachelor's thesis, KPI named after Igor Sikorskyi).
 13. Kasyanenko, I. I. (2018). iOS application for managing pedagogical and scientific aspects of the department's work (Master's thesis, Kyiv).
 14. Shtokal, S. S. (2019). Module «Additional personnel» of the diploma project management system (Bachelor's thesis, KPI named after Igor Sikorskyi).
 15. Walls, C. (2022). *Spring in action*. Simon and Schuster.
 16. Drake, J. D., & Worsley, J. C. (2002). *Practical PostgreSQL*. O'Reilly Media, Inc.
 17. Provos, N., & Mazieres, D. (1999). Bcrypt algorithm. In *USENIX*.
 18. Fowler, M. (2012). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley.
 19. Dos Santos, J. S., Azevedo, L. G., Soares, E. F., Thiago, R. M., da Silva, V. T. (2020). Analysis of Tools for REST Contract Specification in Swagger/OpenAPI. In *ICEIS (2)* (pp. 201-208).
 20. Westerveld, D. (2021). *API Testing and Development with Postman: A practical guide to creating, testing, and managing APIs for automated software testing*. Packt Publishing Ltd.
 21. Sharp, T. R. (2022). Testing the Persistence Tier with Testcontainers. In *Introducing Micronaut: Build, Test, and Deploy Java Microservices on Oracle Cloud* (pp. 81-88). Berkeley, CA: Apress.

Чанишев Р. І., кандидат юридичних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій
Національного університету «Одеська юридична академія»,
ORCID: 0000-0002-3592-7223

ДЕЯКІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДАНИХ

У статті аналізуються проблеми, пов'язані з розвитком інформаційних технологій – хмарних обчислень і систем штучного інтелекту, який призвів до масового будівництва центрів обробки даних (далі – ЦОД) та появи пов'язаних із цим соціально-економічних та екологічних проблем, як-то: проблеми з нестачею електроенергії для центрів обробки даних (data centre) і нерівномірним розподілом її ресурсів, проблема з нестерпним для людської психіки шумом, створюваним системами охолодження таких центрів, вичерпанням водних ресурсів, необхідних для охолодження дата-центрів та ін. Зазначені проблеми, з огляду на їхню новизну, не знайшли поки що належного розв'язання і практично не були досліджені в наукових працях.

Розглядаються проблеми організації, проектування та будівництва ЦОД, зокрема й правові, та пов'язані з цим соціальні, економічні та екологічні проблеми.

Відзначається, що наявні складнощі та проблеми, що виникли, пов'язані з тим, що місцева влада не змогла оцінити можливі проблеми з експлуатацією ЦОД і видала дозволу на їхнє будівництво, прагнучи отримати фінансову вигоду для економіки регіону.

Наголошується на необхідності невідкладного розроблення комплексу заходів, зокрема й правових, для вирішення і запобігання соціально-економічних та екологічних проблем, які вже явно намітилися, оскільки вже в найближчому майбутньому кількість і потужності центрів обробки даних зростуть на порядок.

Ключові слова: хмарні технології, розвиток хмарних обчислень і штучного інтелекту, ЦОД, соціальні проблеми, економічні проблеми, екологічні проблеми, методи вирішення.

Chanyshev R. I. Some socio-economic aspects of the use of data centers

The article analyses the problems associated with the development of information technologies – cloud computing and artificial intelligence systems, which resulted in the mass construction of data processing centres. Such construction has led to the emergence of a number of socio-economic and environmental problems, such as: the problem with the lack of electricity for data centres and the uneven distribution of its resources, the problem with the noise created by the cooling systems of data centres, the problem of exhaustion of water resources required for cooling data centres, etc.

These problems, given their novelty, have not yet found a proper solution and have not been practically investigated in scientific papers. The analysis of publications related to this topic shows that the main focus of researchers is on the study of the impact of information and communication technologies on the socio-economic development of society and on the life, education and social interactions of people. Economic issues are considered in terms of the impact of data centre construction on local economies and the revenue generation by governments and local authorities from the construction and operation of data centres. At the same time, the social and economic problems arising from the operation of data centres are not considered enough because of their recent emergence.

This article discusses the problems of organisation, design and construction of data centres, including legal issues, and the associated social, economic and environmental problems. If at the time of the emergence of cloud computing technologies (in fact, since 2012) data centres were located on sites outside major population centres and had no problems with power supply and heat dissipation from the equipment, then nowadays data centres are built within cities or in close proximity to population centres. In this case, there are significant problems with power supply and ecology, in some cases leading to redistribution of capacities in favour of data centres at the expense of infringement of interests of the population. In addition, the rejection of water cooling of data centres for environmental reasons and the switch to air cooling has created the problem of unbearable noise emitted by air-cooled data centre systems, which has led to increased social tension and mass protests by local residents.

The problem is aggravated by the fact that, according to analysts, the total number of data centers in the near future may increase by 2.5 times, which will inevitably lead to a sharp increase in social tension, mass protests and undesirable economic consequences.

This problem is particularly important due to its worldwide nature, since data centers are being built in all regions of the planet.

It is noted that the existing difficulties and problems arise due to the fact that local authorities failed to assess the possible problems with the operation of data centres and issued permits for their construction in order to gain financial benefits for the economy of the region.

This problem is of an urgent nature and requires measures, including legislative measures, which could resolve the contradiction between the need to build data centres (and additional power plants to supply them, including nuclear power plants)

and the interests of people living in the immediate vicinity of the data centres. In addition, it is mandatory to take into account the impact of the consequences of such construction on the environment. There are also known cases of destruction of cultural and historical heritage during the construction and operation of data centres.

An important point is the issue of security associated with the possible consequences of terrorist actions (cessation of the functioning of vital information systems, contamination of the territory with toxic and radioactive substances, shutdown of power supply to the population).

The article emphasises the need to urgently develop a set of measures, including legal ones, to address and prevent socio-economic and environmental problems.

Key words: cloud technologies, development of cloud computing and artificial intelligence, data centres, social problems, economic problems, environmental problems, methods of solution.

Постановка проблеми. Прямим наслідком широкого впровадження хмарних технологій і бум розвитку систем штучного інтелекту, що розпочався останнім часом, стало масове будівництво центрів обробки даних (далі – ЦОД). Якщо за часів виникнення технологій хмарних обчислень (фактично, починаючи з 2012 року) ЦОД розміщувалися на майданчиках поза великими населеними пунктами та не мали проблем з електропостачанням і відведенням тепла від обладнання, то на теперішній час будівництво ЦОД ведеться в межах міст або в безпосередній близькості від населених пунктів [1, 2]. При цьому виникають суттєві проблеми з електропостачанням та екологією. Крім того, став проблемою і шум, який видають численні ЦОД, що призвело до зростання соціальної напруженості та масових протестів місцевих жителів [3].

До того ж проблеми з електропостачанням призводять до перерозподілу потужностей на користь ЦОД за рахунок обмеження інтересів населення [4].

Проблему посилює те, що в найближчій перспективі кількість ЦОД може зрости на порядок [5], що неминуче призведе до різкого зростання соціальної напруженості, масових протестів і небажаних економічних наслідків.

Особливої важливості цій проблемі надає її всесвітній характер, оскільки будівництво ЦОД ведеться в усіх регіонах планети [6].

Зазначена проблема має нагальний характер і потребує вжиття заходів, зокрема й законодавчого характеру, які могли б розв'язати протиріччя між необхідністю будівництва ЦОД (і додаткових електростанцій для їхнього електропостачання, зокрема й атомних) та інтересами людей, що мешкають у безпосередній близькості від ЦОД. Крім того, обов'язковим є врахування впливу наслідків такого будівництва на екологію.

Важливим моментом є й питання безпеки, пов'язане з можливими наслідками терористичних дій (припинення функціонування життєво важливих інформаційних систем, забруднення території токсичними та радіоактивними речовинами, відключення електропостачання для населення).

Відомі й випадки знищення культурно-історичної спадщини під час будівництва та експлуатації ЦОД [7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій, пов'язаних з цією темою, показує, що основний акцент дослідники роблять на дослідженні впливу інформаційних і комунікаційних технологій на соціально-економічний розвиток суспільства [8] і на життя, освіту та соціальні взаємодії людей. Економічні проблеми розглядаються з погляду впливу будівництва центрів обробки даних на місцеву економіку та отримання доходу урядами і місцевими органами влади від будівництва та експлуатації ЦОД. Водночас проблеми соціального та економічного характеру, що виникають під час експлуатації ЦОД, фактично не розглядаються через те, що вони виникли тільки останнім часом.

Ця тема, зважаючи на її новизну, ще не знайшла свого відображення в наукових публікаціях, а інформація із зазначеної проблематики практично повністю має новинний характер у вигляді опублікованих звітів різних аналітичних агентств [9] і у форматі науково-популярних статей.

Метою цієї статті є аналіз проблем, пов'язаних із прискореним розвитком хмарних технологій і систем штучного інтелекту, що супроводжується масовим будівництвом центрів оброблення даних, яке, своєю чергою, призвело до виникнення непередбачуваних проблем соціального та економічного характеру.

Виклад основного матеріалу. Повсюдне впровадження хмарних технологій і швидкий розвиток систем штучного інтелекту призвело до масового будівництва центрів обробки даних по всьому світу. За даними міжнародної консалтингової компанії JLL, попит на послуги ЦОД перебуває на рекордно високому рівні. За словами Карла Бітса (Karl Beets), старшого менеджера компанії JLL, «розвиток центрів оброблення даних поширюватиметься скрізь, де є достатньо енергії та доступної землі» За словами керівника національних центрів обробки даних у JLL Прії Веламаканні (Priya Velamakanni), «брак вільної землі призвів до створення багатоповерхових центрів обробки даних» [10].

В іншому звіті JLL наводяться слова представника JLL в Chicago з питань брокерських послуг у сфері центрів обробки даних, Енді Квенгроса (Andy Cvangros): «Попит, як і раніше, перебуває на рекордно високому рівні, а зростання ЦОД швидко розширюється з основних ринків у пошуках потужності... водночас більша частина потужностей, що вводяться в експлуатацію у 2023 році, вже здана в попередню оренду».

Крім того, потужність, споживана всіма ЦОД у США, вже перевищує 5,3 ГВт, що достатньо для забезпечення електроенергією всіх житлових будинків у районі Сан-Франциско протягом одного року. При цьому

у звіті консалтингової компанії Newmark, дається прогноз, що до кінця десятиліття енергоспоживання центрів обробки даних у США досягне 35 ГВт. Високі темпи будівництва ЦОД вже призвели до дефіциту в США електрогенераторів, трансформаторів та іншого електрообладнання, що позначилося на вартості будівництва [11].

Перші ЦОД переважно будували на вільних майданчиках осторонь від великих населених пунктів, у місцях, де не було проблем з електропостачанням, водою та відведенням тепла, у районах із переважно холодним кліматом. Активне будівництво ЦОД, наприклад, велося в Ісландії, енергетична система якої використовує геотермальні електростанції і ГЕС і вважається другою у світі за надійністю, при цьому і вартість електроенергії енергії невисока. Пік будівництва ЦОД в Ісландії припав на кінець 2010-х [12].

Після початку пандемії COVID-19 і повсюдного переходу на віддалені методи роботи і навчання, хмарні технології стали набагато активніше використовуватися як компаніями, так і приватними користувачами. Після закінчення пандемії пішов бум використання систем штучного інтелекту. Усе це призвело до того, що будівництво нових ЦОД почалося скрізь, де можна було отримати дозвіл у місцевої влади.

Проблема будівництва нових ЦОД посилюється тим, що будувати їх можна тільки в тих місцях, де є відповідні лінії зв'язку, підключені до магістральних мереж Інтернет (Internet backbone). При цьому вкрай бажана фізична близькість ЦОД до місць розташування основної кількості споживачів їхніх послуг (оскільки швидкість передавання даних лініями зв'язку обмежена, а великі затримки між надсиланням запиту й отриманням відповіді від сервера неприйнятні для користувачів).

Брак відповідних майданчиків для будівництва ЦОД призводить до непередбачених соціальних конфліктів. Так, під час будівництва нового ЦОД Microsoft в окрузі Мекленберг у штаті Вірджинія під час підготовки будівельного майданчика було виявлено старий цвинтар, на якому були поховані афроамериканці, після чого влада округу звернулася за консультацією до археологів.

Після проведеного дослідження археологи дійшли висновку, що місце поховання має бути занесено до Національного реєстру історичних місць, а будівництво на цьому майданчику має бути заборонено. Однак Департамент історичних ресурсів штату ухвалив рішення, за яким поховання мають бути перенесені в інше місце, а будівництво продовжено [7].

Як уже згадувалося вище, почалося будівництво багатоповерхових ЦОД, відносно невеликі центри обробки даних стали розмішувати всередині будівель у центральній частині міст. Наприклад, великий ЦОД CoreSite LA1 розташований у самому центрі Лос-Анджелеса [1], а ЦОД DataBank LGA1 розташовується в хмарочосі даунтауна Нью-Йорка [2]. Таке розміщення ЦОД, крім усього іншого, дає змогу скоротити витрати на прокладення ліній зв'язку та електропостачання у зв'язку з великою щільністю населення. У Японії, де щільність населення дуже висока, це призвело до того, що більше половини всіх японських ЦОД розташовано в Токіо.

За даними Synergy Research Group, до кінця 2026 року в експлуатації буде близько 1200 ЦОД. З них 53% ЦОД розташовані в США, приблизно 16% ЦОД розташовані в Європі, 11% – у країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону (APAC), 15% – у Китаї, і тільки 5% – у решті світу.

Одній тільки великій трійці хмарних провайдерів (для позначення таких компаній зазвичай використовується термін «гіперскейлери», від «hyperscaler») – компаніям Amazon, Google і Microsoft належить понад 400 великих ЦОД.

З іншого боку, британська агенція нерухомості Savills, ґрунтуючись на даних, опублікованих TeleGeography, зазначає, що за її оцінками, тільки в Європі для задоволення зростаючого попиту кількість центрів обробки даних має збільшитися майже в 2,5 рази за рахунок будівництва понад 3000 нових ЦОД [13]. При цьому істотним фактором стає можливість підключення нових ЦОД до наявних ліній зв'язку. У деяких випадках така можливість має більший пріоритет, ніж вартість оренди землі та вартість електроенергії.

Але все ж основною проблемою, пов'язаною з ЦОД, є проблема нестачі електроенергії. Будівництво нових ЦОД стримується дефіцитом електроенергії та відповідним зростанням цін на неї. Так, вартість електроенергії в Сінгапурі вища вчетверо порівняно з її вартістю в Чикаго, де дефіциту електроенергії поки що немає [14].

За останній час потужність великих ЦОД збільшилася від 30 МВт до 60-90 МВт, і в перспективі вона буде тільки зростати. Одні тільки ЦОД компанії Apple у 2023 році витратили понад 2,3 ТВт-г електроенергії, а сумарна потужність ЦОД компанії Microsoft перевищила потужність, споживану такою країною, як Португалія.

Ця проблема має системний характер і є спільною для всіх регіонів розміщення ЦОД – і в США, і в Європі, і в Азії. Крім того, проблема посилюється тим, що в багатьох країнах законодавство вимагає переходу від традиційних способів виробництва електроенергії до використання поновлюваних джерел енергії.

Наприклад, в Європі діє система торгівлі квотами на викиди парникових газів (EU ETS), що призводить до необхідності вжиття заходів щодо зниження викидів вуглецю в атмосферу під час експлуатації ЦОД.

Подібні ситуації можуть негативно вплинути на можливість використання в повному обсязі систем штучного інтелекту в окремих регіонах світу, з абсолютно непередбачуваними сьогодні соціально-економічними наслідками. Так, Рене Хаас, генеральний директор компанії ARM, заявив, що вже у 2030 році в США для забезпечення роботи систем штучного інтелекту може знадобитися до 25% всієї електроенергії, що генерується в країні [15].

При цьому робляться спроби використовувати штучний інтелект для оптимізації енерговитрат на забезпечення роботи систем штучного інтелекту шляхом його впровадження в механізми контролю за енергоспоживанням. На жаль, це не дасть змоги вирішувати проблему повністю.

Дефіцит електроенергії може призвести до зростання соціальної напруженості в суспільстві. Так, у Великій Британії, де найближчим часом планується будівництво близько 300 нових ЦОД, у 2022 році вибухнув скандал після того, як з'ясувалося, що будівництво житла в Західному Лондоні призупинено, оскільки вся доступна на місцевих електропідстанціях потужність була зарезервована для ЦОД.

Адміністрація Великого Лондона (GLA) попередила забудовників про те, що реалізація нових проєктів будівництва житлових будинків може бути припинена до 2035 року, оскільки знадобиться більше ніж 10 років для того, щоб збільшити потужності місцевих електромереж, адже тільки один ЦОД споживає стільки ж електроенергії, скільки може споживати кілька тисяч житлових будинків.

Проблема полягає в тому, що цей район виявився дуже привабливим для будівництва нових ЦОД через розвинену інфраструктуру волоконно-оптичних ліній зв'язку, що вже існує в ньому [4].

Як один із варіантів розв'язання проблеми електропостачання розглядають варіант використання малих модульних ядерних реакторів (SMR), що розміщуються в безпосередній близькості від майданчиків ЦОД.

Модульні реактори розглядаються як дешевша, компактніша і швидко впроваджувана альтернатива традиційним АЕС. SMR на швидких нейтронах мають потужність до 15 МВт кожен і здатні працювати до 10 років без перезарядки, що дасть змогу ЦОД працювати без підключення до магістральних електромереж [16].

Крім того, подібні рішення просуваються як «екологічні», оскільки сприяють зниженню викидів вуглецю в атмосферу.

Такі думки видаються вельми сумнівними, оскільки SMR генерують у середньому в 35 разів більше радіоактивних відходів, ніж великі атомні електростанції. При цьому атомна енергія не є відновлюваною.

Використання SMR може вирішити проблему з електропостачанням ЦОД, але при цьому з'являються значні ризики, пов'язані з проблемою забезпечення безпеки таких ядерних реакторів. До того ж масове будівництво SMR майже неминуче може призвести до масових протестів місцевого населення.

Тим не менш, корпорація Microsoft планує використовувати SMR для забезпечення електроенергією своїх ЦОД [17].

Оскільки громадська думка після низки катастроф з АЕС здебільшого налаштована проти використання атомних електростанцій, особливо тих, що розташовані в безпосередній близькості – корпорація Microsoft продовжує спроби створення альтернативних систем електропостачання.

Компанія Google для електропостачання двох своїх ЦОД у Неваді, біля міст Лас-Вегас і Ріно, використовувала іншу «зелену» технологію – дата центр отримує електроенергію від геотермальної електростанції потужністю 3,5 МВт. Вода в цій замкнутій системі використовується повторно, що особливо важливо в напівпустельній Неваді [18].

Крім нестачі електроенергії, сучасні ЦОД зіткнулися з проблемою охолодження. Після початку масового будівництва ЦОД у країнах із теплим і спекотним кліматом питання «Як і чим охолоджувати ЦОД?» очікувано стало вельми актуальним. Так, 10 липня 2022 року, в лондонському ЦОД Google через аномально високу спеку (+40°C) стався збій у системі охолодження. У результаті зупинки серверів деякі сервіси Google стали тимчасово недоступні для користувачів. Крім того, аналогічні проблеми виникли і в ЦОД компаній Oracle і Amazon.

Співробітники цих ЦОД були змушені вжити термінових заходів, поливаючи водою зі шлангів встановлені на даху зовнішні модулі систем кондиціонування [19].

Ефективне охолодження обладнання ЦОД можна забезпечити при використанні систем водяного охолодження. Однак у цьому випадку компанії стикаються з проблемою нестачі прісної води. Крім того, вода, використана для охолодження ЦОД, забруднюється хімічними речовинами (для запобігання появи вапняного нальоту до води для охолодження додаються спеціальні хімічні речовини, без видалення яких вода стає непридатною як для повторного охолодження, так і для використання в якості питної). Скидання такої води в природні водойми призводить до значного забруднення навколишнього середовища.

Проблему поглиблює той факт, що наявна інфраструктура міст не призначена для перероблення великої кількості стоків, що надходять від ЦОД із водяним охолодженням.

У рамках судового процесу 2022 року між газетою The Oregonian і владою американського міста Далласа (штат Орегон), було виявлено й оприлюднено факт того, що впродовж 2021 року ЦОД компанії Google у Далласі витратив приблизно 1,2 млрд літрів питної води, що становить понад 29% усієї води, використаної в місті з населенням у 14 583 особи. За даними The Oregonian, споживання води ЦОД Google у Далласі майже потроїлося за останні п'ять років і зростатиме надалі, оскільки Google планує збудувати в місті ще два ЦОД.

При цьому необхідно враховувати, що місто Даллас розташоване в посушливому регіоні (1856 року місто було перенесено більш ніж на милю на південь через брак води). У зв'язку з цим виконавчий директор некомерційної правозахисної групи WaterWatch Джон ДеВой (John DeVoe) заявив, що збільшення споживання ЦОД води вдвічі або втричі впродовж наступного десятиліття може призвести до обміління місцевої річки та загибелі фауни, яка мешкає в цій річці. Зі свого боку, компанія Google уклала контракт із владою

міста, за яким компанія зобов'язується виділити \$28,5 млн на модернізацію систем постачання води (завдяки використанню підводних джерел води).

При цьому слід зазначити, що вищеписаний факт було виявлено випадково, оскільки технологічні компанії досить неохоче діляться такою інформацією. Uptime Institute, що займається сертифікацією галузевого рівня в галузях проектування, будівництва та експлуатації центрів оброблення даних, провів відповідне дослідження, внаслідок якого з'ясувалося, що тільки половина компаній повідомляє про обсяги використаної води або про викиди вуглекислого газу під час роботи ЦОД [20].

Практично в такій самій ситуації опинилася і компанія Microsoft, коли з'ясувалося, що три ЦОД із п'яти запланованих до побудови в місті Фінікс (штат Аризона), використовують водяне охолодження. При цьому потужності установок з переробки стічних вод у цьому міському агломераті з населенням в 1,6 мільйона осіб (на два порядки більшому, ніж населення згаданого вище Далласу) виявилось явно недостатньо.

З'ясувалося, що Microsoft не вжила достатніх заходів для зниження обсягу розчинених у цій воді хімічних речовин, не створила систему контролю якості скидів і не передбачила місця для зберігання відходів.

Як компенсацію компанія Microsoft пообіцяла міській владі виділити 40 млн доларів на реконструкцію очисних споруд міста і не використовувати водяне охолодження для двох нових споруджуваних ЦОД. У рамках угоди Microsoft зобов'язалася завершити реконструкцію до кінця серпня 2024 року, а в разі перенесення термінів на пізніший час – зберігати стічні води в ємностях на території ЦОД. При цьому нові ЦОД використовуватимуть повітряне охолодження.

Як було згадано вище, Microsoft зобов'язалася використовувати повітряне охолодження замість водяного. Для повітряного охолодження використовується велика кількість вентиляторів, зазвичай розміщених на дахах будівель ЦОД. Але, як виявилось, і повітряне охолодження не панацея, оскільки створює ще більше проблем, уже не економічного, а соціального характеру.

Більше третини ЦОД у США розташовані в одному штаті – Північній Вірджинії. ЦОД у цьому штаті більше, ніж у Європі та Китаї. Така концентрація ЦОД в одному штаті пов'язана з особливостями законодавства штату, що надають значні податкові пільги власникам ЦОД.

Несподіваним наслідком такої концентрації ЦОД в обмеженому регіоні стали соціальні проблеми – домовласники і громадські активісти округу Принс-Вільям (Prince William County) в Північній Вірджинії (США) стали подавати масові скарги на «катастрофічний» шум, що видається місцевими ЦОД, які належать компанії Amazon. Причому вночі шум тільки посилювався, досягаючи рівня в 65 дБ. За словами активістів, безперервний шум був спричинений цілодобовою роботою систем повітряного охолодження на дахах ЦОД, щодо усунення якого не вживають жодних заходів. Водночас місцеві жителі скаржаться на шум, що не дає можливості заснути та на проблеми, що виникли не тільки з їхнім здоров'ям, а й зі здоров'ям домашніх тварин.

Жителям довелося звукоізолювати будинки, а деякі з них почали планувати переїзд. До кінця травня наглядова рада округу зв'язалася з керівництвом Amazon, але в підсумку переговори за участю експертів з обох сторін розтягнулися більш ніж на рік.

Після тривалих протестів жителів Північної Вірджинії компанія Amazon була змушена розробити заходи щодо зниження шуму від систем вентиляції. Роботи з модернізації обладнання зайняли чотири місяці, і обійшлися компанії в 30 млн доларів. При цьому місцеві жителі продовжують скаржитися на неприємний виск, що виходить з вентиляційних прорізів на стінах будівель. [21].

Аналогічні скарги в Аризоні 2018 року призвели до рішення місцевої влади заборонити будівництво нових ЦОД у цьому штаті [3].

З огляду на ступінь важливості проблеми, компанія Microsoft провела експеримент із розміщення ЦОД на дні моря (т.з. Microsoft Project Natick).

Такі технології передбачають розміщення серверів усередині циліндричного водонепроникного корпусу, до якого з берега підводяться кабелі зв'язку та електроживлення. Охолодження корпусу і серверів, що знаходяться в ньому, здійснюється шляхом природної циркуляції морської води навколо корпусу підводного ЦОД (далі – ПЦОД). У разі необхідності обслуговування або ремонту серверів корпус ПЦОД піднімається на поверхню за допомогою спеціального судна.

У поясненні до завдань проекту Microsoft зазначає, що більше половини населення світу живе відносно недалеко від морського узбережжя, що дасть змогу передавати дані від ПЦОД до споживачів із високою швидкістю. При цьому одночасно вирішуються проблеми з розміщенням, охолодженням і шумом, а проблема з електропостачанням може бути вирішена за допомогою приливних електростанцій або інших джерел відновлюваної енергії [22].

Експеримент Microsoft Project Natick виявився вдалим, уже в 2023 року китайська компанія Highlander побудувала перший повноцінний ЦОД, повністю розміщений на дні моря [23].

Однак залишається незрозумілим, як підводні ЦОД впливатимуть на екологію, якщо таких ЦОД буде побудовано багато. Повноцінних досліджень на цю тему ще не проводили, оскільки ПЦОД щойно з'явилися і, фактично, все ще є експериментальними розробками.

Крім того, існує варіант будівництва плаваючих ЦОД (обладнання яких розміщується на спеціальних баржах, розташованих біля берега моря). Плаваючі, як і підводні, ЦОД досить мобільні, що дає змогу

розгорнути їх у будь-якій точці світу, де є необхідна інфраструктура (електропостачання та підводні кабелі зв'язку). Платити за купівлю або оренду землі (а це дуже велика стаття витрат) при цьому теж не потрібно.

У квітні 2012 року компанія Nautilus Data Technologies ввела в експлуатацію свій перший плаваючий надводний ЦОД (далі – НЦОД) під назвою «Stockton 1» в порту Стоктон (штат Каліфорнія), розташованому на річці Сан-Хоакін. Охолодження НЦОД здійснюється річковою водою, що закачується прямо з річки. Про те, куди скидаються стоки, не повідомляється [24].

Існують і більш екзотичні проєкти розміщення ЦОД – наприклад, проєкти розміщення ЦОД на орбітальних космічних станціях.

Спочатку розміщувати невеликі ЦОД у космосі збиралися для оперативного опрацювання даних, що надходять із космічних апаратів. Однак у зв'язку зі зростанням кількості ЦОД у світі та Європі, в Європейському Союзі задумалися про принципову можливість і доцільність створення ЦОД, розміщених на навколземній орбіті (далі – ОЦОД). Очікується, що розміщення ЦОД на орбіті дасть змогу зменшити вуглецеві викиди, оскільки електрика для них вироблятиметься за допомогою космічних сонячних фотоелектричних панелей, технологія виготовлення і застосування яких добре відпрацьована, бо вони давно використовуються в космонавтиці. Обмін даними з наземними ЦОД здійснюватиметься за допомогою оптичного зв'язку.

Цей проєкт може допомогти досягти мети Зеленого курсу Європи щодо досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року.

Крім того, ОЦОД можуть забезпечити більшу безпеку збережених на їхніх серверах даних, оскільки фізичний доступ до серверів отримати буде дуже складно. Можливо, що саме міркування безпеки є головним завданням.

У листопаді 2022 р. Європейська комісія обрала для проведення техніко-економічного обґрунтування доцільності створення європейських ОЦОД компанію Thales Alenia Space, що спеціалізується на розробці інформаційних систем для аерокосмічного сектору [25].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. З огляду на вищезазначене, можна зробити такі висновки:

1. Зростання кількості ЦОД буде продовжуватися і далі.
 2. З урахуванням того, що великі корпорації володіють досить великими фінансовими ресурсами, можна спрогнозувати появу і зростання корупційної складової (підкуп місцевої влади в тій чи іншій формі, наприклад, у вигляді асигнувань на будівництво або модернізацію місцевих систем водопостачання).
 3. Прямим наслідком цього зростання стануть проблеми з електропостачанням, прісною водою та шумом, що неминуче посилять соціальну напруженість у суспільстві.
 4. Для запобігання проблемам, що виникають, нові ЦОД будуватимуться в тих місцях, де буде найлегше отримати дозвіл на будівництво не тільки самих ЦОД, а й електростанцій для них, зокрема й атомних. При цьому проблема швидкості доступу до обчислювальних ресурсів може бути вирішена за допомогою супутникового зв'язку (приклад успішної експлуатації системи «Starlink» доводить можливість практичної реалізації такого методу). Досить імовірно, що можливість такого зв'язку буде розширено за допомогою орбітальних ЦОД.
 5. Підводні ЦОД, з великою часткою ймовірності, отримають широке розповсюдження, оскільки в них практично відсутні проблеми з охолодженням і шумом, і їх будуть створюватимуть скрізь, де є високошвидкісні канали зв'язку та можливість будівництва електростанцій, зокрема й «зелених». При цьому можливе виникнення проблем з екологією, зокрема й таких, передбачити які сьогодні неможливо.
 6. Навпаки, плаваючі ЦОД отримають обмежене поширення, оскільки кількість зручних стоянок для суден обмежена. Розміщувати ж такі ЦОД у відкритому морі не можна через погодні умови (шторми).
- Таким чином, необхідно зробити висновок про те, що настав час вжиття заходів, здатних захистити інтереси місцевого населення, зокрема на законодавчому рівні встановити певні обмеження щодо частки ресурсів (електроенергії, водних ресурсів, земельних ділянок та ін.), які можуть бути виділені для будівництва та експлуатації ЦОД. При цьому слід звернути особливу увагу на можливий вплив такого будівництва на екологію.

Список використаних джерел:

1. CoreSite LA1 – One Wilshire Data Center URL: <https://www.coresite.com/data-center/la1-los-angeles-ca>.
2. Andrew Nusca, Jonathan Vanian, Barb Darrow And Robert Hackett. These are the buildings that make up the ‘cloud’ URL: <https://fortune.com/2015/06/08/cloud-computing-buildings>.
3. Peter Judge. Prince William residents complain of “catastrophic noise” from data centers. URL: <http://surl.li/tumkr>.
4. Peter Judge. Report: Home building to halt in West London, due to data center power demands URL: <http://surl.li/tyhip>.
5. Dan Robinson. Too many bytes and not enough bricks for datacenters URL: <http://surl.li/tyhjq>.
6. Virginia Still. Has More Hyperscale Data Center Capacity Than Either Europe or China. URL: <http://surl.li/tumkm>.
7. Sebastian Moss. Historic black cemetery was moved for Microsoft data center in Virginia URL: <http://surl.li/tyhkv>.
8. Narcyz Roztocki, Piotr Soja & Heinz Roland Weistroffer. (2019) The role of information and communication technologies in socioeconomic development: towards a multi-dimensional framework, Information Technology for Development, 25:2, 171-183, DOI: 10.1080/02681102.2019.1596654.

-
9. Executive summary Uptime Intelligence report: March 2024 Annual outage analysis 2024 URL: <http://surl.li/tyhnm>.
 10. Kari Beets. North America Data Center Report The quest for power moves development into new frontiers. URL: <http://surl.li/tumfz>.
 11. Niva Yadav. AI demand and limited capacity drive US data center prices up 19% URL: <http://surl.li/tyigz>.
 12. Tracy Mayor. Data centers in Iceland? Yes, really! URL: <http://surl.li/tyjgm>.
 13. Savills: Pipeline of data centers needs to more than double by 2025 to meet demand for storage in Europe URL: <http://surl.li/tyjmh>.
 14. Andy Patrizio. Power availability stymies data center growth URL: <http://surl.li/tykfb>.
 15. Matthew Connatser. Arm CEO warns AI's power appetite could devour 25% of US electricity by 2030 URL: <http://surl.li/tykgs>.
 16. Sebastian Moss. Sam Altman-backed nuclear reactor firm Oklo hiring data center lead as it looks to power "AI and cloud computing". URL: <http://surl.li/tuyvd>.
 17. Sebastian Moss. Microsoft hires Archie Manoharan as director of nuclear technologies, joins from micro modular reactor firm URL: <http://surl.li/tykmx>.
 18. Justine Calma. Google's new geothermal energy project is up and running URL: <http://surl.li/tykun>.
 19. Olivia Solon. Hoses on Roofs Are Keeping UK's Data Centers Cool URL: <http://surl.li/tzqov>.
 20. Dan Robinson. Google datacenters use 'a quarter of all water' in one US city URL: <http://surl.li/tztms>.
 21. Amazon Tones Down Its Data Center Noise After Residents Sound the Alarm. URL: <http://surl.li/tummm>.
 22. John Roach. Under the sea, Microsoft tests a datacenter that's quick to deploy, could provide internet connectivity for years URL: <http://surl.li/tzwsz>.
 23. Peter Judge. China's Highlander completes first commercial underwater data center, looks for exports. URL: <http://surl.li/tuysj>.
 24. Dan Swinhoe. Nautilus Data Technologies launches first floating data center URL: <http://surl.li/tzxeq>.
 25. Ascend: Thales Alenia space to lead European feasibility study for data centers in space. URL: <http://surl.li/tuytg>.

References:

1. CoreSite LA1 – One Wilshire Data Center URL: <https://www.coresite.com/data-center/la1-los-angeles-ca>.
2. Andrew Nusca, Jonathan Vanian, Barb Darrow and Robert Hackett (2015) These are the buildings that make up the 'cloud' URL: <https://fortune.com/2015/06/08/cloud-computing-buildings>.
3. Peter Judge. Prince William residents complain of "catastrophic noise" from data centers. URL: <http://surl.li/tumkr>.
4. Peter Judge. Report: Home building to halt in West London, due to data center power demands URL: <http://surl.li/tyhip>.
5. Dan Robinson. Too many bytes and not enough bricks for datacenters URL: <http://surl.li/tyhjq>.
6. Virginia Still. Has More Hyperscale Data Center Capacity Than Either Europe or China. URL: <http://surl.li/tumkm>.
7. Sebastian Moss. Historic black cemetery was moved for Microsoft data center in Virginia URL: <http://surl.li/tyhkv>.
8. Narcyz Roztock, Piotr Soja & Heinz Roland Weistroffer. (2019) The role of information and communication technologies in socioeconomic development: towards a multi-dimensional framework, Information Technology for Development, 25:2, 171-183, DOI: 10.1080/02681102.2019.1596654.
9. Executive summary Uptime Intelligence report: March 2024 Annual outage analysis 2024 URL: <http://surl.li/tyhnm>.
10. Kari Beets. North America Data Center Report The quest for power moves development into new frontiers. URL: <http://surl.li/tumfz>.
11. Niva Yadav. AI demand and limited capacity drive US data center prices up 19% URL: <http://surl.li/tyigz>.
12. Tracy Mayor. Data centers in Iceland? Yes, really! URL: <http://surl.li/tyjgm>.
13. Savills: Pipeline of data centers needs to more than double by 2025 to meet demand for storage in Europe URL: <http://surl.li/tyjmh>.
14. Andy Patrizio. Power availability stymies data center growth URL: <http://surl.li/tykfb>.
15. Matthew Connatser. Arm CEO warns AI's power appetite could devour 25% of US electricity by 2030 URL: <http://surl.li/tykgs>.
16. Sebastian Moss. Sam Altman-backed nuclear reactor firm Oklo hiring data center lead as it looks to power "AI and cloud computing". URL: <http://surl.li/tuyvd>.
17. Sebastian Moss. Microsoft hires Archie Manoharan as director of nuclear technologies, joins from micro modular reactor firm URL: <http://surl.li/tykmx>.
18. Justine Calma. Google's new geothermal energy project is up and running URL: <http://surl.li/tykun>.
19. Olivia Solon. Hoses on Roofs Are Keeping UK's Data Centers Cool URL: <http://surl.li/tzqov>.
20. Dan Robinson. Google datacenters use 'a quarter of all water' in one US city URL: <http://surl.li/tztms>.
21. Amazon Tones Down Its Data Center Noise After Residents Sound the Alarm. URL: <http://surl.li/tummm>.
22. John Roach. Under the sea, Microsoft tests a datacenter that's quick to deploy, could provide internet connectivity for years URL: <http://surl.li/tzwsz>.
23. Peter Judge. China's Highlander completes first commercial underwater data center, looks for exports. URL: <http://surl.li/tuysj>.
24. Dan Swinhoe. Nautilus Data Technologies launches first floating data center URL: <http://surl.li/tzxeq>.
25. Ascend: Thales Alenia space to lead European feasibility study for data centers in space. URL: <http://surl.li/tuytg>.

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.42.519.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.9>

Пашковський Б. В., кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківського національного технічного
університету нафти і газу
ORCID: 0000-0003-1082-6837

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦИФРУВАННЯ ТА КАТАЛОГІЗАЦІЇ ПРОТОКОЛІВ КОМІСІЇ З БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Стаття присвячена розробці системи оцифрування та каталогізації протоколів та рішень комісії з безпеки руху Івано-Франківської міської територіальної громади (КБДР).

КБДР розглядає питання щодо реалізації заходів для забезпечення робіт з благоустрою, організації дорожнього руху та підвищення безпеки всіх учасників руху на території Івано-Франківської міської територіальної громади відповідно до генерального плану, проєктів детального планування та забудови населених пунктів, проєктів капітального ремонту, реконструкції та нового будівництва об'єктів вулично-дорожньої мережі, впровадження автоматизованих систем керування дорожнім рухом, комплексних транспортних схем і схем організації дорожнього руху, зон паркування з врахуванням принципів сталого розвитку та дотримання правил благоустрою.

З 2016 по 2024 роки комісією проведено більше ста засідань, де розглянуто більше 3150 питань. Протоколи комісії оформляються у вигляді PDF-файлів та завантажуються на сервер. Існує гостра необхідність у пошуку рішень комісії за певною адресою, розташуванням, тощо. Звернення громадян, муніципальної інспекції потребують формування відповідей та витягів чи було певне рішення прийняте чи ні. У статті розглянуто розробку системи оцифрування протоколів комісії та створення каталогу (веб сайту із базою даних) із функцією швидкого пошуку. Забезпечено можливість завантаження оригінального протоколу для формування офіційного витягу.

Спроектовано та реалізовано базу даних засобами Microsoft SQL Server з пакетом Entity Framework Core для зберігання рішень КБДР.

Розроблено систему оцифрування PDF-файлів рішення комісії та імпорту їх до бази даних.

Побудовано веб застосунок із функцією пошуку з використанням технологій ASP.NET Core MVC та Razor Views.
Ключові слова: оцифрування, веб-застосунок, база даних.

Pashkovskiy B. V. Development of a system of digitization and cataloging of protocols of the traffic safety commission of the Ivano-Frankivsk city-territorial community

The article is devoted to the development of a system of digitization and cataloging of protocols and decisions of the Traffic Safety Commission of the Ivano-Frankivsk City Territorial Community (KBDR).

KBDR considers the issue of implementation of measures to ensure improvement works, organization of road traffic and increase the safety of all road users on the territory of Ivano-Frankivsk urban territorial community in accordance with the master plan, projects of detailed planning and construction of settlements, projects of capital repair, reconstruction and new construction of objects of the street and road network, implementation of automated traffic control systems, complex transport schemes and traffic organization schemes, parking zones taking into account the principles of sustainable development and compliance with the rules of landscaping.

From 2016 to 2024, the commission held more than a hundred meetings where more than 3,150 issues were considered. Commission protocols are drawn up in the form of PDF files and uploaded to the server. There is an urgent need to find decisions of the commission at a certain address, location, etc. Appeals from citizens, municipal inspection requires the formation of answers and excerpts whether a certain decision was made or not. The article deals with the development of a system for digitizing commission protocols and creating a catalog (a website with a database) with a quick search function. It is possible to download the original protocol to form an official extract.

The database was designed and implemented using Microsoft SQL Server with the Entity Framework Core package for storing KBDR solutions.

A system for digitizing PDF files of the commission's decision and importing them into the database has been developed. A web application with a search function was built using ASP.NET Core MVC technology and Razor Views.

Key words: digitization, web application, database.

Постановка проблеми. Як було зазначено, протоколи засідань комісії з безпеки руху оформляються у вигляді PDF-файлів та завантажуються на сервер. Оскільки PDF є неструктурованим документом, існують проблеми пошуку рішень прийнятих комісією:

Для пошуку рішення, що містить певну адресу чи інший текст, необхідно відкрити кожен файл (більше 100 файлів) та провести пошук всередині файлу, що займає великий об'єм часу.

Цифрові документи мають безліч переваг, особливо в порівнянні з традиційними паперовими документами.

Цифрові документи можна зберігати на електронних пристроях, таких як комп'ютери, хмарні сервіси, флеш-накопичувачі і т.д. Це дозволяє зберігати велику кількість даних на невеликому просторі і швидко знаходити необхідну інформацію завдяки можливості пошуку. Цифрові документи можна легко редагувати без потреби друкувати або використовувати складні процеси. Це дозволяє зручно вносити зміни до документів і забезпечує їх актуальність. З цифрових документів можна отримати доступ у будь-який час і з будь-якого місця за допомогою Інтернету або зберігаючи їх на портативних пристроях. Це забезпечує швидкий і зручний доступ до інформації, що може бути важливим у сучасному світі. Використання цифрових документів сприяє зменшенню споживання паперу та інших ресурсів, що допомагає зберегти навколишнє середовище. Цифрові документи можна легко обмінювати електронно через електронну пошту, файлообмінні сервіси, месенджери тощо. Це зменшує час, потрібний для передачі інформації, і спрощує комунікацію між сторонами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [1] автори проводять порівняння різного програмного забезпечення, що використовує технологію OCR (Optical Character Recognition – технологія оптичного розпізнавання символів). Ці програми дозволяють за декілька хвилин розпізнати відскановане зображення, PDF-документ чи цифрову фотографію, вилучити інформацію з них, та перетворити до формату, який буде зручним для редагування даних.

Авторка роботи [2] розглядає особливості збереження книжкових бібліотечних видань. Зокрема звертається увага на основні принципи й методи оцифрування друкованих документів, визначаються типові функції електронного фонду Запорізької обласної універсальної наукової бібліотеки.

Робота [3] є комплексним дослідженням особливостей оцифрування фондів бібліотек України. Запропоновано стратегічні напрями та базові організаційно методичні засади вдосконалення організації оцифрування та формування цифрових колекцій у бібліотеках України. Розроблено інноваційні моделі організації оцифрування документної спадщини України. Здійснено компаративний аналіз закордонного та українського досвіду з реалізації проєктів оцифрування документної спадщини.

Автори [4] розглядають парсинг PDF-документів та пропонують рішення, обмеження синтаксису, задля уникнення типових помилок, і пропонують використання формальних граматики. Також пояснюється, як узгодженість даних можна перевірити на більш детальному рівні за допомогою спеціального засобу перевірки типів. Підхід валідується на наборі реальних файлів.

Метою роботи є створення системи для швидкого пошуку по протоколах КБДР. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- створити модель бази даних для збереження протоколів та питань, що розглядалися;
- створити програмне забезпечення для оцифрування PDF-файлів та занесення інформації до бази даних;
- створити програмне забезпечення (веб сайт) для відображення протоколів, питань, що розглядалися та реалізації функції пошуку по них.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо типову структуру PDF-документу, що містить протокол засідання КБДР (рис. 1).

Як видно із рисунку, зазвичай питання поділяється на дві частини: «слухали» та «вирішили», а номер протоколу записаний у колонтитулах.

Для зберігання протоколу та його питань змодельємо дві сутності: Protocol та Item, які будуть реалізовувати відношення один до багатьох.

```
public class Protocol
{
    public int Id { get; set; }

    public string Number { get; set; }

    public DateTime Date { get; set; }

    public List<Item> Items = new();
}

public class Item
{
```

Розгляд питань:

1. СЛУХАЛИ: Питання щодо аварійності на вулицях міста Івано-Франківська та дорогах ОТГ за період з 2018 по 2023 рік за даними Управління патрульної поліції. Інфографіка, онлайн карта та статистичні дані підготовлені Богданом Пашковським.

ВИРШИЛИ: Прийняти звіт. Доручити Департаменту інфраструктури, житлової та комунальної політики міської ради врахувати подану інформацію та підготувати план заходів щодо вдосконалення дорожніх умов, організації дорожнього руху, ліквідації причин виникнення ДТП, забезпечення безпеки дорожнього руху, а також надати інформацію про аварійно-небезпечні ділянки та місця концентрації ДТП у відділ безпеки дорожнього руху Управління патрульної поліції до 15 березня 2024 року.

2. СЛУХАЛИ: Звернення Директора Головного сервісного центру МВС Олега Шпека щодо заміни дорожнього знаку 3.3 «Рух вантажного транспорту заборонено» із зазначенням максимально допустимої маси 20 т.

ВИРШИЛИ: погодити демонтаж даного знаку. Виконання рішення доручити КП «Муніципальна дорожня компанія».

3. СЛУХАЛИ: Звернення Директора «Тойота-Центр» Угрицького В. П. щодо прийняття рішення про облаштування світлофорного об'єкту на перехресті вулиць Надрічної та Богдана Хмельницького.

ВИРШИЛИ: Зобов'язати компанію «Тойота-Центр» замовити розробку схеми організації дорожнього руху з облаштуванням світлофорного об'єкту, та затвердити її в Управлінні патрульної поліції в установленому порядку.

4. СЛУХАЛИ: Звернення ТзОВ ФРАНКОФ ТРЕЙД Чорномаза В. Р. щодо внесення змін до схеми ОДР по вул. Надрічній з наданням дозволу на здійснення лівого повороту при заїзді на прилеглу територію торгового центру, і при виїзді з нього.

ВИРШИЛИ: Доручити Департаменту інфраструктури, житлової та комунальної політики Івано-Франківської міської ради врахувати дану пропозицію при виготовленні нової схеми організації дорожнього руху на вул. Надрічній в м. Івано-Франківську. ТзОВ «ФРАНКОФ ТРЕЙД» зобов'язати розробити схему організації руху та паркування на прилеглій території, та затвердити її в установленому порядку у Відділі безпеки дорожнього руху в Управлінні патрульної поліції в Івано-Франківській області.

Виконавчий комітет Івано-Франківської міської ради
вул. М.Сидоренка, 21, м. Івано-Франківськ, 76004, тел. 556515, 552038, e-mail: info@mk.if.ua, www.mk.if.ua
ПРОТОКОЛ №1 від 09.02.2024 року
засідання комісії з безпеки дорожнього руху
Івано-Франківської міської територіальної громади
сторінка 5 з 10

Рис. 1. Частина типового протоколу КБДР

```
public int Id { get; set; }  
public int? Number { get; set; }  
public int OrderNumber { get; set; }  
public string Heard { get; set; }  
public string Decided { get; set; }  
public Protocol Protocol { get; set; }  
}
```

Поле OrderNumber відповідатиме за порядок розгляду питання (інколи питання розглядаються в іншому порядку, ніж були представлені в порядку денному).

Розглянемо таблиці та діаграму бази даних (рисунки 2-4).

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Id	int	<input type="checkbox"/>
Number	nvarchar(MAX)	<input type="checkbox"/>
Date	datetime2(7)	<input type="checkbox"/>

Рис. 2. Дизайн таблиці Protocols

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Id	int	<input type="checkbox"/>
Number	int	<input checked="" type="checkbox"/>
Heard	nvarchar(MAX)	<input type="checkbox"/>
Decided	nvarchar(MAX)	<input type="checkbox"/>
ProtocolId	int	<input type="checkbox"/>
OrderNumber	int	<input type="checkbox"/>

Рис. 3. Дизайн таблиці Items

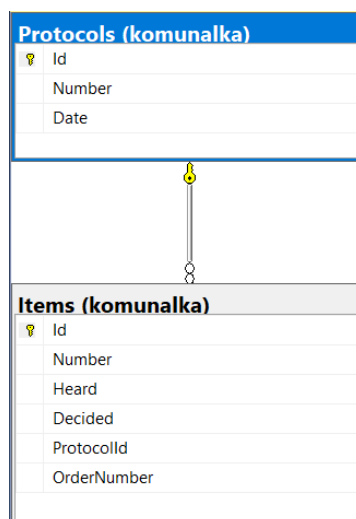


Рис. 4. Діаграма бази даних

Для визначення номеру і дати протоколу використаємо регулярні вирази.

В програмуванні, регулярний вираз (від англ. regular expression, скорочено regex або regexp, а іноді ще й називають rational expression)— це рядок, що описує або збігається з множиною рядків, відповідно до набору спеціальних синтаксичних правил. Вони використовуються в багатьох текстових редакторах та допоміжних інструментах для пошуку та зміни тексту на основі заданих шаблонів. Багато мов програмування підтримують регулярні вирази для роботи з рядками.

Використаємо наступний регулярний вираз, який застосуємо до першої сторінки: «ПРОТОКОЛ \u2116\s*(\d+)\s*від (\d+\.\d+\.\d+)\s*року».

Для визначення питань у протоколі слід спершу видалити колонтитули з кожної сторінки. Для цього використовується регулярний вираз «(?:_+|Виконавчий) .*? \d+ з \d+».

Будемо використовувати слова «слухали» та «вирішили» як орієнтири для визначення питань у протоколі.

Для кращого розуміння алгоритму роботи, лістинг коду, що відповідає за даних функціонал, надамо повністю.

```

public static List<Item> GetProtocolItems(string filePath)
{
    using var pdf = PdfDocument.Open(filePath);
    var text = string.Empty;

    foreach (var page in pdf.GetPages())
    {
        text += page.Text;
    }

    var firstPage = pdf.GetPages().FirstOrDefault();
    text += ContentOrderTextExtractor.GetText(firstPage);

    text = RemoveFooters(text);

    var itemRegex = new
    Regex(«СІУХАЛ?И?:?\s*(.*?)\s*\d*\.?ВИРШИЛ?И?:?\s*(.*?)\s*\d*\.?\s*?(?=СІУ-
    ХАЛ|Голов|Заступ)»);

    var itemMatches = itemRegex.Matches(text);

    var items = new List<Item>();

    for (int i = 0; i < itemMatches.Count; i++)
    {
        var item = new Item
        {
            Number = i + 1,
            Heard = itemMatches[i].Groups[1].Value,
            Decided = itemMatches[i].Groups[2].Value
        };

        items.Add(item);
    }

    return items;
}

```

Для можливості відображення протоколів побудуємо сайт з використанням ASP .NET MVC та Razor Views. Головна сторінка міститиме перелік протоколів, відсортованих від найновішого до найстарішого, із номером, датою, кількістю розглянутих питань і посиланням на перелік питань (рис. 5).

The screenshot shows the main page of a website titled "Протоколи КБДР". At the top, there is a search bar with the placeholder text "Текст для пошуку" and a button labeled "Шукати". Below the search bar is a table with three columns: "Протокол №", "Дата", and "Кількість питань". Each row in the table includes a link labeled "Перейти до питань".

Протокол №	Дата	Кількість питань	
1	09.02.2024	27	Перейти до питань
10	10.11.2023	18	Перейти до питань
9	03.11.2023	38	Перейти до питань
8	08.09.2023	36	Перейти до питань
7	25.08.2023	27	Перейти до питань
6	23.06.2023	26	Перейти до питань
4	12.05.2023	24	Перейти до питань
5	06.05.2023	22	Перейти до питань

Рис. 5. Головна сторінка сайту

При переході за посиланням «перейти до питань» ми потрапляємо на сторінку із деталями протоколу, де бачимо номер, дату протоколу, посилання на завантаження вихідного PDF-файлу та перелік питань: номер, слухали, та вирішили (рис. 6).

Протоколи КБДР

Протокол №1 від 09.02.2024 року
[Завантажити вихідний файл протоколу](#)

Номер	Слухали	Слухали
1	Питання щодо аварійності на вулицях міста Івано-Франківська та дорогах ОТГ за період з 2018 по 2023 рік за даними Управління патрульної поліції. Інфографіка, онлайн карта та статистичні дані підготовлені Богданом Пашковським.	Прийняти звіт. Доручити Департаменту інфраструктури, житлової та комунальної політики міської ради врахувати подану інформацію та підготувати план заходів щодо вдосконалення дорожніх умов, організації дорожнього руху, ліквідації причин виникнення ДТП, забезпечення безпеки дорожнього руху, а також надати інформацію про аварійно-небезпечні ділянки та місця концентрації ДТП у відділ безпеки дорожнього руху Управління патрульної поліції до 15 березня 2024 року
2	Звернення Директора Головного сервісного центру МВС Олега Шпека щодо заміни дорожнього знаку 3.3 «Рух вантажного транспорту заборонено» із зазначенням максимально допустимої маси 20 т.	погодити демонтаж даного знаку. Виконання рішення доручити КП «Муніципальна дорожня компанія»
3	Звернення Директора	Зобов'язати компанію «Тойота-Центр»

Рис. 6. Сторінка деталей протоколу

Використавши форму для пошуку, можемо знайти усі питання, які містять часткове входження шуканого слова, протоколи у результаті пошуку відсортовані від найновішого до найстарішого (рис. 7).

Протоколи КБДР

Знайдено: 185 питань

Протокол №	Номер	Слухали	Вирішили
Протокол №1 від 09.02.2024	9	Звернення жителів будинку щодо дозволу на встановлення автоматичного шлагбауму на вул. Незалежності , 81 (в'їзд із вул. Лепкого).	залишити без розгляду
Протокол №1 від 09.02.2024	26	Звернення Муніципальної Інспекції "Добродій" про демонтаж незаконно встановлених ТМ, МАФ та інших елементів.	Доручити КП "Муніципальна інспекція "Добродій" демонтувати самовільно встановленні засоби обмеження руху у відповідності до актів: № 308 – вул. Мазепи, 146 (біля Парк Готелю) № 143- вул. Незалежності , 160 № 358 – вул. Грушевського, 22А № 414 – вул. Крива, 2 № 583 – вул. Довженка, 1А-3А № 4933 - вул. Короля Данила, 20, 20А № 5347 – вул. Мазепи, 35 Б № 3613 – вул. Мазепи. 42 № 4494- вул.

Рис. 7. Сторінка пошуку

Висновки. Розроблено систему оцифрування протоколів комісії та створення каталогу (вебсайту із базою даних) із функцією швидкого пошуку. Забезпечено можливість завантаження оригінального протоколу для формування офіційного витягу.

Створено з використанням технології ASP .NET Core MVC та Razor Views, як база даних використано Microsoft SQL Server з пакетом Entity Framework Core.

Сайт доступний за веб-адресою <https://kodlo.if.ua/> та широко використовується для швидкого пошуку рішень КБДР.

Список використаних джерел:

1. Дольнев, Р. О. Проблема оцифрування паперових документів. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених» 20 – 21 лютого 2020 р. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків. 2020. С. 31.

2. Горбенко, І. Оцифрування як засіб збереження книжкових видань бібліотек. Історія та сучасні тенденції розвитку видавничої справи. 2015. №8. С. 129-133

3. Шевченко, М. О. Оцифрування фондів бібліотек України. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії. 2022. С. 2-4.

4. Endignoux, G., Levillain, O., & Migeon, J. Y.. Caradoc: A pragmatic approach to pdf parsing and validation. Security and Privacy Workshops (SPW). IEEE. 2016 ст. 126-139.

5. Вікіпедія: сайт URL [https://uk.wikipedia.org/wiki/Регулярний вираз](https://uk.wikipedia.org/wiki/Регулярний_вираз)

References:

1. Dolnev, R. O (2020, February). The problem of digitizing paper documents. Abstracts of reports of the International scientific and practical conference of young scientists, postgraduates and students «Information technologies in the modern world: research of young scientists» February 20 - 21, 2020. Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv. 31.

2. Horbenko, I. (2015). Digitization as a means of preserving book editions of libraries. History and modern trends in the development of publishing. 8, 129-133

3. Shevchenko, M. O. (2022). Digitization of library collections of Ukraine. Dissertation for the Doctor of Philosophy degree. 2-4.

4. Endignoux, G., Levillain, O., & Migeon, J. Y. (2016, May). Caradoc: A pragmatic approach to pdf parsing and validation. In 2016 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW) (pp. 126-139). IEEE.

5. Regular expression. https://en.wikipedia.org/wiki/Regular_expression

Тягунова М. Ю., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-9166-5897

Киричек Г. Г., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-0405-7122

Костецький Д. В., студент кафедри комп'ютерних систем
та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID: 0009-0001-7020-942X

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЇ ЧАСУ ПРИ СТВОРЕННІ ТЕСТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Дистанційне навчання розвивається вже багато десятиліть, але найбільшу увагу було привернуто до нього з початку поширення пандемії COVID-19, коли у всьому світі було введено карантинні обмеження. Завдяки цьому, процес інтеграції цього типу навчання у звичне очне було прискорено [1]. Адже саме дистанційне навчання, завдяки його гнучкості, допомогло продовжити виконувати навчальний план та навчатись майже за графіком, який створюєш сам собі. Але перелічуючи переваги дистанційного навчання, в нього також є і негативні впливи на організм, а саме: погіршення зору, постави, психологічні аспекти.

Дистанційне навчання має багато переваг над звичайним відвідуванням аудиторій тим, що вивчати матеріали можна будь-де, а якщо щось було не зрозуміло, то можна переглянути його ще раз, також лекції й завдання можна завантажити на пристрій і тим самим навчатися без світла або інтернету [2].

Саме під час дистанційного навчання опитування у вигляді тестування стає все більш розповсюдженим та актуальним. Розрахунок економії часу при створенні тестів з використанням штучного інтелекту є основним аспектом даної роботи. Використовуючи алгоритми штучного інтелекту, було оптимізовано процес створення тестів, зменшуючи час і зусилля, необхідні викладачам. Це передбачає розробку математичної моделі для кількісної оцінки часу, збереженого при використанні штучного інтелекту порівняно з традиційними методами створення тестів вручну. Результати цього розрахунку дають цінну інформацію про підвищення ефективності, яку пропонує штучний інтелект в освітніх установах, що, зрештою, сприятиме вдосконаленню технологічних методологій навчання.

У даній роботі розроблено математичну модель розрахунку економії часу при створенні тестів за допомогою штучного інтелекту у порівнянні із власноручною розробкою тестів викладачем. Проведене дослідження показало, що з таким підходом можна досягти економії часу до 62,5%.

Також у роботі наведено реалізацію створення тестів обома запропонованими варіантами (зі штучним інтелектом та без нього) у системі, яка реалізована з використанням фреймворку Laravel.

Отримані результати підтверджують доцільність та ефективність використання ШІ при розробці тестів.

Ключові слова: дистанційне навчання, тестування, процес створення тестів, штучний інтелект.

Tiahunova M. Yu., Kyrychek H. H., Kostetskyi D. V. Time savings calculation in test creation using Artificial Intelligence

Distance learning has been evolving for many decades, but it garnered significant attention with the onset of the COVID-19 pandemic when quarantine restrictions were implemented worldwide. As a result, the integration of this type of learning into traditional face-to-face education was expedited. Distance learning, with its flexibility, allowed for the continuation of the curriculum and learning almost on a self-paced schedule. However, while listing the advantages of distance learning, it also has negative impacts on health, such as deteriorating eyesight, posture, and psychological aspects.

Distance learning offers numerous advantages over traditional classroom attendance, as materials can be studied anywhere, and if something is not understood, it can be reviewed again. Additionally, lectures and assignments can be downloaded to devices, allowing learning without the need for light or the internet.

During distance learning, testing in the form of quizzes becomes increasingly common and relevant. The time savings calculation in test creation using artificial intelligence is an important aspect of our study. By leveraging AI algorithms, we aim to streamline the test creation process, reducing the time and effort required from instructors. This involves developing a mathematical model to quantify the amount of time saved when utilizing AI compared to traditional manual test creation methods. The results of this calculation will provide valuable insights into the efficiency gains offered by AI in educational settings, ultimately contributing to the advancement of technology-enhanced learning methodologies.

This study developed a mathematical model to calculate time savings in test creation using artificial intelligence compared to manual test creation by instructors. The research showed that this approach can achieve time savings of more than 60%.

The study also presents the implementation of test creation using both proposed methods (with and without AI) in a system developed using the Laravel framework. The results obtained confirm the feasibility and effectiveness of using AI in test development.

Key words: distance learning, testing, test creation process, Artificial Intelligence.

Постановка проблеми. Якщо розглядати навчання в загальному, то створення тестів є важливою частиною цього процесу, бо за допомогою їх можна зрозуміти, наскільки добре засвоєно матеріал студентами, і що потрібно пропрацювати більш детально. У звичному представленні для створення тесту викладачу потрібно витратити час на те, щоб створити питання і підібрати до нього варіанти відповідей. Цей процес, окрім витрати часу, також сильно втомлює. Але на заміну цьому, є кращий варіант – це генерування тестів за допомогою штучного інтелекту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Провівши аналіз організації процесу навчання та особливо реалізації контролю знань під час дистанційної освіти [3-6], стає зрозумілим, що одним із найпоширеніших видів опитування у такій формі є саме тестування. Розробка тестів базується на різних методиках [7-10], кожна з яких має свої переваги та недоліки. Проте на заміну стандартних підходів, напрацьованих роками, у різних сферах життя все частіше застосовуються інструменти штучного інтелекту [11].

Мета статті – обґрунтування доцільності використання інструментів штучного інтелекту для створення тестів за рахунок розробки математичної моделі для розрахунку часу, витраченого на створення тесту з використанням штучного інтелекту і без нього.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо різні варіанти створення тестів:

– коли викладач працює над тестом, він витрачає велику купу часу, бо йому потрібно, опираючись на текст його лекцій, розробити питання та варіанти відповідей до нього. При такому варіанті роботи, присутній індивідуальний підхід, бо викладач може регулювати складність питань і тест буде особливим. Проте цей процес також має певні обмеження у вигляді робочого часу, за який потрібно зробити велику купу іншої роботи, і його може не вистачити на написання якісного тесту, особливо коли у викладача велика кількість дисциплін;

– коли для створення тесту використовуються інструменти штучного інтелекту (ШІ), тоді викладачу потрібно лише написати коректну назву і докладно описати, що повинен перевірити тест: що буде створено, якої складності, і вказати кількість питань. Після цього тест буде згенеровано автоматично за лічені секунди, і після перевірки некоректні або нецікаві питання можна буде просто видалити.

У таблиці 1 показано порівняння цих двох підходів.

Таблиця 1

Порівняння створення тестів двома підходами

Варіант	Створення викладачем	Автоматична генерація
Час	Повільно	Швидко
Точність запитань	Залежить від кваліфікації викладача і уважності	Залежить від опису запиту
Складність створення	Залежить від досвіду викладача та його підготовки	Миттєва генерація, але потрібен контроль якості
Зворотній зв'язок	Детальний і контекстний зворотний зв'язок	Просто генерується без пояснень
Різноманітність запитань	Залежить від уяви викладача	Максимально унікальні питання
Інновації та технології	Залежить від інтересу викладача в нових методах і технологіях	Використовує передові технології

З таблиці видно, що як при створенні тестів самостійно викладачем, так і зі застосуванням інструментів штучного інтелекту є свої переваги та обмеження.

Розробимо математичну модель для розрахунку економії часу при створенні тесту викладачем з використанням ШІ і без.

При цьому зауважимо, що час, який витрачає викладач на те, щоб розробити тест, залежить від того, який у нього стаж і якої складності потрібно зробити тест. Тому будемо орієнтуватися на середньостатистичного викладача і розробку тесту середньої складності.

Припустимо, що T_B – це час створення одного запитання тесту викладачем, розрахований у хвиликах, $N_{заг}$ – загальна кількість питань у тесті. Нехай час створення запиту для створення автоматичного тесту ШІ задамо як $T_{зап}$. При цьому вважатимемо, що $T_{зап} = T_B$. Нехай час, витрачений викладачем на перевірку автоматично створеного ШІ одного запитання задано $T_{пер}$. Припустимо, що $T_{пер} = 0,2 * T_B$. Нехай час, який буде витрачено викладачем на корегування цих запитань, задано $T_{кор}$. Припустимо, що $T_{кор} = 0,5 * T_B$, а кількість запитань, які потребують корегування, $N_{кор}$ дорівнюватиме $N_{кор} = 0,35 * N_{заг}$.

У такому випадку загальний час, витрачений викладачем на розробку $N_{заг}$ питань тесту самостійно без використання ШІ, розраховується за формулою 1:

$$T_{в_заг} = T_B * N_{заг} \quad (1)$$

А цей же час, витрачений на розробку $N_{заг}$ питань тесту з використанням штучного інтелекту розраховується за формулою 2:

$$T_{\text{ші_заг}} = T_{\text{зап}} + T_{\text{кор}} * N_{\text{кор}} + T_{\text{пер}} * N_{\text{заг}} \quad (2)$$

Оскільки час на генерацію запитань ШІ дуже малий, то не враховуємо це у загальному розрахунку.

Якщо загальний витрачений час $N_{\text{заг}}$, переписати з урахуванням наведених вище припущень, то отримаємо, що вираз за формулою 2 перетворюється у вираз за формулою 3:

$$T_{\text{ші_заг}} = T_{\text{в}} + 0,2 * T_{\text{в}} * N_{\text{заг}} + 0,5 * T_{\text{в}} * 0,35 * N_{\text{заг}} \quad (3)$$

Спростивши вираз за формулою 3, отримаємо:

$$\begin{aligned} T_{\text{ші_заг}} &= T_{\text{в}} + 0,2 * T_{\text{в}} * N_{\text{заг}} + 0,175 * T_{\text{в}} * N_{\text{заг}} = T_{\text{в}} + 0,375 * T_{\text{в}} * N_{\text{заг}} = \\ &= (1 + 0,375 * N_{\text{заг}}) * T_{\text{в}} \end{aligned} \quad (4)$$

Це означає, що чим більше буде створено завдань у тесті, тим меншим буде вплив часу на створення запиту до ШІ у загально витраченому часі для створення усіх завдань для тесту.

Розрахуємо відсоток зекономленого часу E при використанні ШІ для створення тестів за формулою 5.

$$E = \frac{T_{\text{в_заг}} - T_{\text{ші_заг}}}{T_{\text{в_заг}}} * 100\% \quad (5)$$

Перетворимо формулу 5 з урахування формул 1 та 4, отримаємо результат, представлений формулою 6:

$$\begin{aligned} E &= \frac{T_{\text{в_заг}} - T_{\text{ші_заг}}}{T_{\text{в_заг}}} * 100\% = \frac{T_{\text{в}} * N_{\text{заг}} - T_{\text{в}} + 0,375 * T_{\text{в}} * N_{\text{заг}}}{T_{\text{в}} * N_{\text{заг}}} * 100\% = \\ &= \left(0,625 - \frac{1}{N_{\text{заг}}} \right) * 100\% \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, із формули 6 видно, що чим більшою буде кількість запитань у тесті, тим ефективність застосування ШІ буде вище. При цьому у будь-якому разі вона не перевищуватиме 62,5%.

Розглянемо це на прикладі. Припустимо, що на створення одного запиту викладач витрачає в середньому 5 хвилин, і тест складається із 25 запитань. Тоді економія часу у відсотках при застосуванні ШІ складатиме $(0,625 - 0,04) * 100\% = 58,5\%$, що означає, що викладач витратить на створення тесту на 58,5% менше часу.

Перерахуємо ці ж значення за формулами 1 та 4. Час, який викладач витратив на створення 25 питань тесту самостійно, без використання штучного інтелекту дорівнюватиме $T_{\text{в_заг}} = 5 * 25 = 125$ хв.. Загальний час, витрачений на створення 25 питань тесту з використанням ШІ дорівнюватиме $T_{\text{ші_заг}} = 5 + 0,375 * 5 * 25 = 51,875$ хв. Тоді час, який зекономить викладач дорівнюватиме $125 - 51,875 = 73,125$ хв., що і є 58,5% від витраченого часу без використання ШІ. На рисунку 4.13 за допомогою графіка зображено порівняння витрат часу цих двох підходів.

Таким чином, розроблена математична модель є адекватною. Слід також зазначити, що припущення, застосовані у даній моделі базуються на опитуванні викладачів ВНЗ спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Проведене практичне тестування функціоналу виявило, що система створила тести з ідеальною якістю, які не потребують жодних корекцій варіантів відповідей. Загалом, для генерації тестів та перевірки відповідей на 25 питань знадобилося всього близько 20 хвилин.

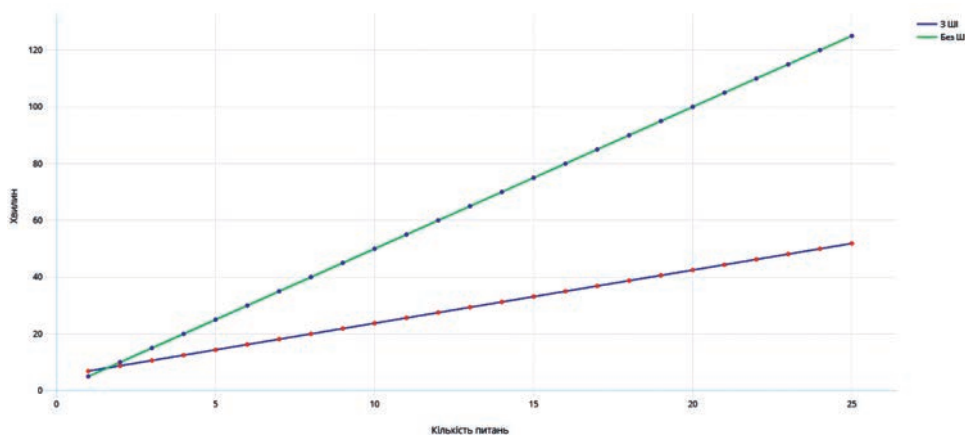


Рис. 1. Залежність витраченого часу від кількості питань

Реалізація системи, яка дозволяє створити тести викладачем або за допомогою ШІ виконана за допомогою фреймворка Laravel. На рисунках 2-3 зображено логіку, в якій виконується дві дії при створенні питання для тесту. В якості параметрів передається номер тесту, до якого додається питання, його назва,

а також варіанти відповідей у вигляді масиву. Першою дією створюється запис в базі даних, в якій зберігається назва питання, після чого береться його ідентифікатор, який використовується для ідентифікації при додаванні питань в базу даних.

```
3 usages  ± DimaK0st+1*
13 class QuestionService
14 {
15     no usages  ± DimaK0st
16     public function __construct(private VariantService $variantService, private QuestionRepository $questionRepository)
17     {
18     }
19     ± DimaK0st+1
20     public function create(CreateQuestionRequest $request)
21     {
22         $question = $this->questionRepository->create($request->getTestId(), $request->getTitle());
23         $this->variantService->create($request->getVariants(), $question->id);
24     }
25     return $question;
26 }
```

Рис. 2. Приклад логіки створення питання

```
13 class QuestionRepository
14 {
15     ± Dima Kostetskiy +1
16     public function create(int $testId, string $title)
17     {
18         $question = new Question();
19         $question->test_id = $testId;
20         $question->title = $title;
21         $question->save();
22     }
23     return $question;
24 }
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
260
```

Наступним розглянемо створення тесту з використанням ШІ. Для цього було встановлено бібліотеку «jumbaeric/laragpt», яка має зрозумілу документацію та надає функції для легкої роботи з ChatGpt Api. На рисунку 5 зображено, як функція отримує дані від користувача, а саме назву тестування, його опис та кількість питань для генерування. Оскільки запит займає певний час, в Laravel можна зробити спеціальний запит, який виконується асинхронно, тобто користувач лише надсилає дані, і після того, як код їх опрацює, тест буде додано до курсу.

```
public function generateWithAi(CreateTestRequest $request)
{
    $createTestDto = CreateTestDTO::fromRequest($request);

    GetDataFromAi::dispatch($createTestDto);

    return true;
}
```

Рис. 5. Логіка запуску асинхронного створення тесту за допомогою штучного інтелекту

На рисунку 6 зображено логіку асинхронної команди, яка задає початкові налаштування і описує те, як повинен функціонувати штучний інтелект, після генерується запит від користувача, в якому всі дані збираються в масив і передаються статичній функції бібліотеки, яка відправить запит на ChatGpt до API, і поверне результат.

```
public function handle()
{
    $result = Laragpt::chat([
        'model' => 'gpt-3.5-turbo', // required
        'messages' => [ // required
            [
                'role' => 'system',
                'content' => "Ви помічник, який створив тести за темою і описом, які передаються і повертаються у вигляді JSON а наступною структурою:
                (\\title*: \\*, \\description*: \\*, \\course_id*: 1, \\count*: 1, \\questions*:
                [\\question*: \\*, \\options*: [\\answer*: \\*, \\correct*: 0]])."
            ],
            [
                'role' => 'user',
                'content' => "Тема тесту - " . $this->createTestDTO->title . ", опис - " .
                $this->createTestDTO->description . ", кількість питань - " . $this->createTestDTO->count . " ."
            ],
        ],
    ]);

    $questionsDTO = new GeneratedAiQuestionsDTO($result);

    return $this->testService->createFromAi($this->createTestDTO, $questionsDTO);
}
```

Рис. 6. Логіка асинхронної команди відправки запиту

Далі відповідь штучного інтелекту буде конвертовано за допомогою спеціальних класів DTO, які використовуються для зручної передачі даних між контролерами й сервісами проекту. На рисунку 7 зображено те, як інформацію спочатку представлено у вигляді звичайного рядка JSON. Ця відповідь передається в клас GeneratedAiQuestionsDTO, де рядок розділяється на об'єкти, і на рисунку 8 зображено логіку перетворення цієї інформації. На рисунку 9 зображено результуючий об'єкт, який передається по проекту й з нього інформація зберігається в базу даних.

```
{ "questions": [ { "question": "Яка основна функція програми PocketTracer?", "options": [ { "answer": "Графічний дизайн", "correct": 0 }, { "answer": "Моделювання мереж", "correct": 1 }, { "answer": "Музичне створення", "correct": 0 }, { "answer": "Текстова переписка", "correct": 0 } ] }, { "question": "Яке призначення має PocketTracer?", "options": [ { "answer": "Фільмова монтаж", "correct": 0 }, { "answer": "Кулінарія", "correct": 0 }, { "answer": "Моделювання та симуляція мережі", "correct": 1 }, { "answer": "Малюнок на воді", "correct": 0 } ] }, { "question": "Які можливості надає програма PocketTracer?", "options": [ { "answer": "Спортивні прогнози", "correct": 0 }, { "answer": "Ігри віртуальної реальності", "correct": 0 }, { "answer": "Симуляція мережі та аналіз", "correct": 1 }, { "answer": "Геологічні дослідження", "correct": 0 } ] }, { "question": "Які дані можна аналізувати за допомогою PocketTracer?", "options": [ { "answer": "Тренди моди", "correct": 0 }, { "answer": "Економічні індикатори", "correct": 0 }, { "answer": "Поведінку мережі", "correct": 1 }, { "answer": "Астрономічні спостереження", "correct": 0 } ] }, { "question": "Які інструменти доступні в PocketTracer для редагування зображень?", "options": [ { "answer": "Мозаїка та колажі", "correct": 1 }, { "answer": "Графічні пензлі", "correct": 0 }, { "answer": "Текстові стилі", "correct": 0 }, { "answer": "Музичні семпли", "correct": 0 } ] }, { "question": "Чому приділяється основна увага в PocketTracer?", "options": [ { "answer": "Ігрові фічі", "correct": 0 }, { "answer": "Дизайн інтерфейсу", "correct": 0 }, { "answer": "Моделювання мереж", "correct": 1 }, { "answer": "Формування новин", "correct": 0 } ] }, { "question": "Які області використання програми PocketTracer особливо популярні?", "options": [ { "answer": "Гастрономія", "correct": 0 }, { "answer": "Медицина", "correct": 0 }, { "answer": "Інформаційні технології", "correct": 1 }, { "answer": "Астрофізика", "correct": 0 } ] } ] }
```

Рис. 7. Інформація, яка надходить до API

```

class GeneratedAiQuestionsDTO {
    public array $questions = []; // Масив об'єктів QuestionDTO
    public function __construct(array|string $data)
    {
        if (is_string($data)) {
            $data = json_decode($data, associative: true);
        }
        $this->fill($data);
        return $this->questions;
    }
    private function fill(array $data)
    {
        foreach ($data['questions'] as $questionData) {
            $this->questions[] = new QuestionDTO($questionData);
        }
    }
}

class OptionDTO {
    public $variant;
    public $correct;
    public function __construct($data)
    {
        $this->variant = $data['answer'];
        $this->correct = $data['correct'];
    }
}

class QuestionDTO {
    public $question = '';
    public $options = [];
    public function __construct(array|string $data)
    {
        if (is_string($data)) {
            $data = json_decode($data, associative: true);
        }
        $this->fill($data);
        return [
            'question' => $this->question,
            'options' => $this->options
        ];
    }
    private function fill(array $data)
    {
        $this->question = $data['question'];
        foreach ($data['options'] as $optionData) {
            $this->options[] = new OptionDTO($optionData);
        }
    }
}

```

Рис. 8. Логіка перетворення інформації

```

App\Http\Dtos\GeneratedAiQuestionsDTO [#539 // app\Jobs\GetDataFromAi.php:
-questions: array:2 [
  0 => App\Http\QuestionDTO [#540
+question: "Яка основна функція програми PocketTracer?"
+options: array:4 [
  0 => App\Http\OptionDTO [#541
+variant: "Графічний дизайн"
+correct: 0
  ]
  1 => App\Http\OptionDTO [#542
+variant: "Моделювання мереж"
+correct: 1
  ]
  2 => App\Http\OptionDTO [#543
+variant: "Музичне створення"
+correct: 0
  ]
  3 => App\Http\OptionDTO [#544
+variant: "Текстова переписка"
+correct: 0
  ]
  ]
  ]
  1 => App\Http\QuestionDTO [#545
+question: "Яке призначення має PocketTracer?"
+options: array:4 [
  0 => App\Http\OptionDTO [#546
+variant: "Фільмова монтаж"
+correct: 0
  ]
  1 => App\Http\OptionDTO [#547
+variant: "Кулінарія"
+correct: 0
  ]
  2 => App\Http\OptionDTO [#548
+variant: "Моделювання та симуляція мережі"
+correct: 1
  ]
  ]
  ]
]

```

Рис. 9. Результуючий оброблений об'єкт

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Таким чином, у роботі досліджено питання доцільності використання ШІ при розробці тестів. Завдяки розробленій математичній моделі можна розрахувати, що економія часу при використанні ШІ для створення тесту може сягати майже 62,5%. Це допомагає значно зменшити витрати часу викладача. Завдяки такій можливості, можна створювати тести різних рівнів складності, що дозволяє виявляти слабкі місця в знаннях та корегувати навчальний процес більш ефективно. Якщо порівняти два підходи, то видно, що при автоматичній генерації з використанням ШІ, продуктивність роботи викладача значно збільшиться.

Список використаних джерел:

1. Castro, Mayleen Dorcas B.; Tumibay, Gilbert M. A literature review: efficacy of online learning courses for higher education institution using meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 2021, 26 (2). P. 1367-1385.
2. Alhazbi, Saleh; Hasan, Mahmood A. The role of self-regulation in remote emergency learning: comparing synchronous and asynchronous online learning. *Sustainability*, 2021, 13 (19). P. 11070.
3. Тягунова М.Ю., Лаврик В.Р. Віртуальна лабораторія як ефективне рішення під час дистанційної освіти. *Systems and Technologies*, 2023, 66 (2). С. 125-131.
4. Liu, Zi-Yu; Lomovtseva, Natalya; Korobeynikova, Elena. Online learning platforms: Reconstructing modern higher education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 2020, 15 (13). P. 4-21.

-
5. Van Wart, Montgomery, et al. Integrating students' perspectives about online learning: a hierarchy of factors. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2020, 17 (1). P. 53.
 6. Arief, Harefaan, et al. Implementation Entrepreneurship Education Online-Learning Program To Create Farmer Entrepreneur Through Urban Farming. In: *ICCD*. 2021. P. 102-106.
 7. Леонтьєва, О. О.; Ткачук, Г. В. Особливості створення тестів засобами онлайн-сервісу Kahoot. *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць/Під редакцією ГО Райко.–Херсон: ФОП Вишемирський ВС, 2019.–409 с., 2019, с. 158.*
 8. Sarsa, Sami, et al. Automatic generation of programming exercises and code explanations using large language models. In: *Proceedings of the 2022 ACM Conference on International Computing Education Research-Volume 1*. 2022. P. 27-43.
 9. Kaddoura, Sanaa; Popescu, Daniela Elena; Hemanth, Jude D. A systematic review on machine learning models for online learning and examination systems. *PeerJ Computer Science*, 2022, 8. P. e986.
 10. Zaadnoordijk, Lorian, et al. A global perspective on testing infants online: Introducing ManyBabies-AtHome. *Frontiers in Psychology*, 2021, 12, p. 703234.
 11. Seo, Kyoungwon, et al. The impact of artificial intelligence on learner–instructor interaction in online learning. *International journal of educational technology in higher education*, 2021, 18. P. 1-23.

References:

1. Castro, M. D. B., & Tumibay, G. M. (2021). A literature review: efficacy of online learning courses for higher education institution using meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 26(2), 1367-1385.
2. Alhazbi, S., & Hasan, M. A. (2021). The role of self-regulation in remote emergency learning: comparing synchronous and asynchronous online learning. *Sustainability*, 13(19), 11070.
3. Tiahunova, M. Y., & Lavryk, V. R. (2023). Virtualna laboratorii yak efektyvne rishennia pid chas dystantsiinoi osvity. *Systems and Technologies*, 66 (2), 125-131.
4. Liu, Z. Y., Lomovtseva, N., & Korobeynikova, E. (2020). Online learning platforms: Reconstructing modern higher education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(13), 4-21.
5. Van Wart, M., Ni, A., Medina, P., Canelon, J., Kordrostami, M., Zhang, J., & Liu, Y. (2020). Integrating students' perspectives about online learning: a hierarchy of factors. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1),
6. Arief, H., Soelton, M., Saratian, E. T. P., Tafiprios, T., Puspaningrum, A., & Mugiono, M. (2021, October). Implementation Entrepreneurship Education Online-Learning Program To Create Farmer Entrepreneur Through Urban Farming. In *ICCD* (Vol. 3, No. 1, pp. 102-106).
7. Leontieva, O. O., & Tkachuk, H. V. (2019). Osoblyvosti stvorennia testiv zasobamy onlain-servisu Kahoot. *Materialy II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh za tematykoiu «Suchasni kompiuterni systemy ta merezhi v upravlinni»: zbirka naukovykh prats/Pid redaktsiieiu HO Raiko. – Kherson: FOP Vyshemyrskyi VS, 2019. – 409 p., 158.*
8. Sarsa, S., Denny, P., Hellas, A., & Leinonen, J. (2022, August). Automatic generation of programming exercises and code explanations using large language models. In *Proceedings of the 2022 ACM Conference on International Computing Education Research-Volume 1* (pp. 27-43).
9. Kaddoura, S., Popescu, D. E., & Hemanth, J. D. (2022). A systematic review on machine learning models for online learning and examination systems. *PeerJ Computer Science*, 8, e986.
10. Zaadnoordijk, L., Buckler, H., Cusack, R., Tsuji, S., & Bergmann, C. (2021). A global perspective on testing infants online: Introducing ManyBabies-AtHome. *Frontiers in Psychology*, 12, 703234.
11. Seo, K., Tang, J., Roll, I., Fels, S., & Yoon, D. (2021). The impact of artificial intelligence on learner–instructor interaction in online learning. *International journal of educational technology in higher education*, 18, 1-23.

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

UDC 004.056.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.11>

Voskoboinyk V. O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Information Security and Nanoelectronics Zaporizhzhia Polytechnic National University
ORCID: 0000-0003-3786-8666

Savchenko Iu. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of cybersecurity and Information technology University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-7177-6311

Karpukov L. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Information Security and Nanoelectronics Zaporizhzhia Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-7098-6018

Parshyna O. A., Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor at the Department of cybersecurity and Information technology University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-7836-0140

Prokopovych-Tkachenko D. I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Cyber Security and Information Technologies, University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-6590-3898

ASSESSMENT OF THE STATE OF INFORMATION SECURITY USING EXPERT SYSTEMS

The problems considered in the article are related to ensuring the specified indicators of efficiency and reliability of the designed software complexes for information systems through a structural approach to the main stages of the software life cycle. The relevance of this class of software is determined by the wide distribution of such systems. Distinctive features of the modern complex of programs for information systems are their large information and logical complexity, significant volumes of programs, work in conditions of a limited amount of computing resources with high requirements for the efficiency and reliability of their functioning, as well as a pronounced production and technical nature of software tools for all life cycle stages. The main problem associated with the creation of complex software systems is to increase the reliability of programs. One of the promising ways to solve the problem is the implementation of a detailed regulated technological process. At the same time, the required level of regulation has been achieved as a result of a structural approach to ensuring reliability at various stages of software life. Among the known ways to improve the reliability of software, this article pays special attention to progressive methods of creating programs and the widespread use of automation tools, since the technology under consideration and its instrumental support are based on a structural approach to software development. The role and influence of the corresponding structural methods on the reliability characteristics of the software is shown. In general, the structural approach makes it possible to increase the efficiency of working with software based on the implementation of three provisions: streamlining and unifying the structural construction of the software package; ordering work to eliminate errors; creating conditions for the effective application of assembly programming technology based on the software backlog.

Key words: information systems, reliability, efficiency, software, quality, structure, technological process, integrated indicator, objective function, errors, probability of failures, cybersecurity.

© V. O. Voskoboinyk, Iu. V. Savchenko, L. M. Karpukov, O. A. Parshyna, D. I. Prokopovych-Tkachenko, 2024

Воскобойник В. О., Савченко Ю. В., Карпуков Л. М., Паршина О. А., Прокопович-Ткаченко Д. І. Оцінка стану інформаційної безпеки за допомогою експертних систем

Розглянуті в статті проблеми пов'язані із забезпеченням кібербезпеки інформації та заданих показників ефективності та надійності проєктованих програмних комплексів для інформаційних систем за рахунок структурного підходу до основних етапів життєвого циклу програмного забезпечення. Актуальність даного класу програмного забезпечення визначається широким розповсюдженням таких систем. Відмінними рисами сучасного комплексу програм для інформаційних систем є їх велика інформаційна та логічна складність, значні обсяги програм, робота в умовах обмеженої кількості обчислювальних ресурсів при високих вимогах до ефективності та надійності їх функціонування, а також яскраво виражений виробничо-технічний характер програмних засобів на всіх етапах життєвого циклу. Основною проблемою, пов'язаною зі створенням складних програмних систем, є підвищення надійності програм. Одним з перспективних шляхів вирішення проблеми є реалізація детально регламентованого технологічного процесу. При цьому необхідний рівень регламентації досягається в результаті структурного підходу до забезпечення надійності на різних етапах життя програмного забезпечення. Серед відомих шляхів підвищення надійності ПЗ в даній статті особлива увага приділяється прогресивним методам створення програм та широкому використанню засобів автоматизації, оскільки розглянута технологія та її інструментальна підтримка ґрунтується на структурному підході до розробки ПЗ. Показано роль та вплив відповідних структурних методів на характеристики надійності ПЗ. В цілому структурний підхід дозволяє підвищити ефективність роботи з програмним забезпеченням на основі реалізації трьох положень: впорядкування та уніфікації структурної побудови програмного комплексу; впорядкування робіт з усунення помилок; створення умов для ефективного застосування технології програмування на основі відставання програмного забезпечення використовуючи мову Асемблер.

Ключові слова: інформаційні системи, надійність, ефективність, програмне забезпечення, якість, структура, технологічний процес, інтегральний показник, цільова функція, помилки, ймовірність відмов, кібербезпека.

Introduction. The development of the modern world is characterized by various regular trends. One of them, and a very important one, is the increasing importance of the available information types. In this regard, in the period of society informatization, one of the urgent problems is information security. Various subjects of economic, state and information relations, such as the state, many public organizations, solid commercial organizations, as well as enterprises and citizens, as the main constituent unit of the state, need to form information security and ensure their information systems with it. The main objectives for ensuring information security are: minimizing the financial costs generated in the process of implementing threats, full compliance with the requirements of state regulatory bodies, ensuring the unity and integrity, as well as confidentiality and availability of information. It should be emphasized that those organizations that do not pay due attention to information security issues face constant failures and problems in their work and suffer huge material and financial losses. It is much easier and cheaper to ensure reliable information security than to eliminate the severe consequences of threats [1].

Successful information security requires a comprehensive approach to information security [2].

The problem of software reliability is of particular importance for real-time information systems operated for a long period of time under extreme loads. First of all, they highlight the tasks associated with the choice and practical definition of quality indicators and quality assessment criteria, the tasks of analyzing the complexity of programs and creating methods for targeted management of the complexity and quality of programs, as well as creating methods for managing the development of programs. The experience of creating information systems and their operation led to the formation of such a direction as software reliability.

Despite the commonality of the main provisions of software reliability and hardware reliability, there is a fundamental difference in the causes of software malfunctions [1-3, 15]. With regard to software, this reason is that the real data to be processed cannot be processed by a specific program focused on this type of processing. This is due to the fact that the initial data, being in the range of acceptable values, nevertheless, did not fall into the area verified during testing and testing. Under the primary error, as a rule, is understood [4], [5] the deviation of the source text of the program from the formalized reference and customer requirements. Distortions in the program are those of its elements that are subject to correction. The primary error appears when comparing the results of program execution with some standard.

The main tasks of the reliability of information systems software are [6] – [8] as follows:

- formation of the basic concepts used in the study of indicators and parameters of software reliability;
- identification and study of the main factors that determine the characteristics of the reliability of programs;
- study of the characteristics of distortions of the initial data from various types of sources and their impact on the reliability of the programs;
- study of types of errors in programs and the dynamics of changes in their number during debugging;
- development and research of design methods and structural construction of complex programs that improve the reliability of operation;
- study of means and methods of control and protection against distortions of the computing process by introducing various types of redundancy and noise immunity, providing automatic recovery to the original state;
- development of methods for predicting reliability characteristics.

The main part of the article. The article deals with the issues aimed at solving the most urgent problem of modern society in the conditions of widespread informatization – information security, especially in the conditions of information warfare [3].

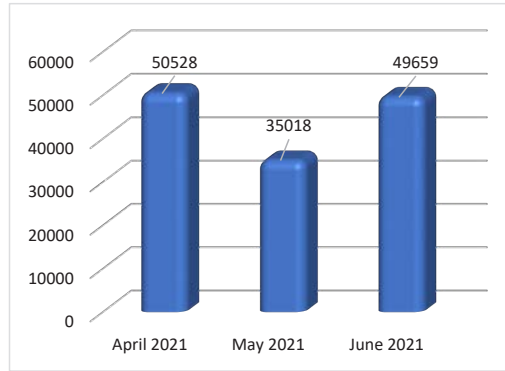


Fig. 1. Statistics of financial threats

The statistics presented here are based on the defect products provided by users who have confirmed their consent to the transfer of statistical data. Thus, in the second quarter of 2021 119,252 computers were prevented from launching one or more malware designed to steal money from bank accounts (Fig. 1) [4].

Traditionally, ZeuS/Zbot has become one of the most widespread bunker families (17.8%), but its share has almost halved, down 13 pp. CliptoShuffler (9.9%) took second place again, with its share also decreasing by 6 percentage points. The top three is rounded off by SpyEye (8.8%), which gained 5 percentage points and, as a result, moved up from 8th place. It is also worth noting the disappearance of Emotet from the TOP 10, which is a predictable event given the liquidation of the banker's infrastructure in the previous quarter [5]. Targeted ransomware attacks on large organizations continued in the second quarter. Perhaps the most high-profile event of the quarter was the attack by DarkSide ransomware on Colonial Pipeline, one of the largest fuel pipeline operators in the United States. The incident resulted in fuel disruptions and the declaration of a state of emergency in four states. The attack was investigated by the FBI and several other US government organizations, and the incident was reported to US President Biden [6].

For the attackers, such sudden fame was unwelcome. The creators of DarkSide published a post on their blog blaming "third-party" operators. Later, another post was published stating that DarkSide developers had lost access to part of their infrastructure and were closing the service and affiliate programmed. Another consequence of this high-profile incident was a new rule on the XSS forum, where many encryption developers, including REvil (also known as Sodinokibi or Sodin), LockBit, and Netwalker, advertise their affiliate programmed [7]. According to the new rule, the forum's administration has banned the advertising and sale of any ransomware on the site. A similar decision was made on other forums popular with criminals. Ukrainian police conducted searches and arrested members of the Clop group. The law enforcement agencies also deactivated part of the group's infrastructure, which, however, did not lead to the suspension of the group's activities. In the second quarter, attackers targeting network attached storage (NAS) devices became more active. A new family of Qlocker ransomware was introduced that packs user files into a password-protected 7zip archive, while old friends ech0raix and AgeLocker gained momentum and protected 97,451 users from ransomware attacks [8].

In the first quarter of 2023, a list of the most active extortion groups, i.e., those who have added the most victims to their site are presented in Fig. 2. [9]

The process of digitalization of modern society raises problems associated with the possibility of unauthorized access to critical facility resources. The security of critical facility resources is of great importance for ensuring the effective functioning of both an individual enterprise and the entire state. Therefore, the issue of developing and implementing a system for assessing the level of information security is certainly relevant.

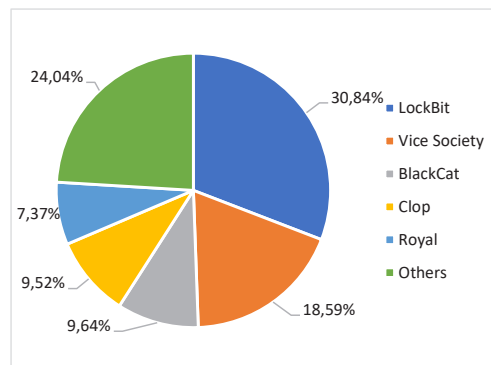


Fig. 2. List of the most active extortion groups

An important condition for the effective operation of a critical facility resource protection system is its manageability. A modern CIP resource protection system has a complex, multi-component, physically and logically distributed structure. The design of an optimal protection system involves the use of qualitative and quantitative information about the importance of criteria and the construction of a multi-criteria generalized decision-making criterion for critical infrastructure facilities, which is based on a certain set of necessary subsystems-modules, such as: a module for protecting the network perimeter and inter-network interactions, a module for protecting network servers, workstation protection, a module for comprehensive anti-virus protection, cryptographic protection, etc.

Closely related to the concept of program reliability is the concept of errors in programs. The results of the analysis of errors in programs [9], [10] showed that complex software cannot exist in an absolutely debugged state. Errors [11-13] introduced into programs during design, development, and implementation are sources of software reliability degradation. At the stage of structural design, errors in determining the structure of programs are possible.

The relationship between the number of expected and remaining errors at the end of the technological cycle with system reliability indicators is often determined by the specifics of the area of program use. In the general case, the system reliability indicator of programs is the probability of failure-free operation during the time interval t , i.e., until the first failure occurs:

$$P(t) = P(T \geq t) \quad (1)$$

The probability of failure-free operation allows you to determine the following system indicators:

$$\Theta(t) = 1 - P(t); \quad (2)$$

$$a(t) = \Theta'(t) = -P'(t); \quad (3)$$

$$\lambda(t) = a(t)/[P(t)] = -d \ln P(t)/d(t). \quad (4)$$

Most of the indicators specified by individual software components and technological operations are associated with these system indicators.

The use of various mathematical reliability models designed to assess program reliability indicators (for example, the number of errors remaining undetected; the time required to detect the next error; the time required to detect all errors with a given probability, etc.) allows for a more reasonable approach to planning debugging and testing programs, deeper understanding of the nature of errors and methods for their prevention, methods for the effective use of redundancy. Each of these models is based on some assumptions and is focused on a certain class of programs.

Among these types of errors that reduce the reliability of programs, a special place is occupied by primary errors, which are distortions in the source code of the program. Since the primary errors in programs are introduced into their source texts, a special place for evaluating software reliability is given to a method based on the analysis and control of the statistical characteristics of program source texts.

The use of the structural approach as the basis for the regulation of the technological process and the constructive organization of programs has a twofold character. On the one hand, structuring leads to an increase in the reliability of programs. On the other hand, structuring leads to an increase in costs and is associated with certain losses in the characteristics of programs, which negatively affects their reliability. For a comparative assessment and comparison of the two directions of action of structuring, a simplified model of the relationship between program structuring and their reliability is proposed, which makes it possible to draw a qualitative conclusion about the nature of this dependence [14, 16, 17].

Assuming that the total increment in the number of program elements during structuring is evenly distributed among each M modules, we denote the average increment per module as A :

$$A = \Delta N / M,$$

where ΔN – increase in the number of program elements due to structuring.

To simplify the distribution of errors over all elements of the program, let us assume that the error rate K per element of the program is constant, i.e.

$$K = n / N = \text{const},$$

where n – number of errors in a monolithic software package.

Let's introduce the notion of error search length L , considering that in order to find errors it is necessary to look through all N elements of the program complex. Then the length of the search for n errors is

$$L = N n = N^2 K.$$

The length of the structured set of programs is considered evenly distributed on M modules, the length of each module is equal to $(N + AM) / M$. The number of errors in the structured set of programs will be $(N + AM) K$, then the number of errors per module will be on average equal to $(N+AM) K / M$.

The search for errors attributable to each module occurs only within the module. This assumption is based on the fact that structuring aims at maximum automation of each module. Thus, the search length L_c of all errors in a structured set of programs is determined by the relation

$$L_c = \frac{N + AM}{M} = \frac{(N + AM)KM}{M} = \frac{(N + AM)^2 K}{M}$$

characterizing the relationship between the search length of the total number of errors.

As the total number of elements in the structuring and, consequently, the number of errors in the program complex M and A increase, the values at which the error search length in the structured complex is less than the error search length in the monolithic program complex acquire such values. To determine the conditions under which $L_c < L$, we can introduce a characteristic of the length of a program module $N_o = N / M$.

Solving the system of equations:

$$\begin{aligned} L_c &= M(N_o + A)^2 K; \\ L &= K N_o^2 M^2, \end{aligned}$$

we obtain that $L_c < L$, when $M > (1 + AN / N)^2$. It follows that even if the volume of a structured program complex is doubled, its length will be less.

The technological process of software creation can be represented as a set of operations obtained as a result of detailing of the regulated sequence of stages and phases as applied to specific conditions of technology use. Such regulation and detailing of the technological process of software creation is aimed, first of all, at achieving the specified technical quality indicators. In the overall technological scheme, you can present the purpose of each stage and operation in the implementation of various components of quality indicators, and then form an integrated indicator. Such an integrated indicator of the quality of the created software can be defined in the form of the ratio $\Pi = F(\Pi_l)$ where $l = 1 \dots m$ – parameter number; Π_l – value of the l -th quality parameter; m – the number of used indicators. Given the contribution and role of each technological step or operation in achieving a given indicator, we can derive a relationship to determine each l -th quality indicator in the form of $\Pi_l = F(\Pi_{li})$, where $i = 1 \dots \kappa$ – current issue; κ – number of steps and operations. The goal of the technological process is to optimize by some predetermined criterion the value of the integral quality indicator:

$$Pr = \text{opt}[\Phi(F(\Pi_{li}))]; l = 1 \dots m; i = 1 \dots \kappa.$$

The specific type of functions F and Φ is determined by the type of the corresponding indicators and the features of the technology. The degree of achieving the target function of the technology determines its quality.

The formalized relations introduced allow us to conduct quantitative evaluations when choosing specific technologies for software creation. At the same time the system indicator of reliability is the probability of faulty program operation P_l – is defined by the relation

$$P_l = F(\Pi_{ij}) = \prod_{i=1}^k P_i$$

i.e., the product of the probabilities of no-failure operation, calculated according to the formula (1), achieved at each technological stage. With regard to the quality indicators under consideration, the target function takes the form of

$$Pr = \max \prod_{i=1}^k P_i$$

where P_i is calculated using the formula (1).

Where P_i is calculated by formula (1). Similarly for each technological stage we can calculate the remaining reliability indexes $\Theta(t)$, $a(t)$, $\lambda(t)$ according to formulas (2) – (4) respectively.

When using the reliability indicators detailed by technological operations, the target function takes into account the integration of the system indicator. It is shown that all errors can be assigned to four classes of available programs in complexes. The figure shows these classes and their percentage ratio, as well as the main groups of errors prevented by the structuring methodology.

All technologies and automation tools that support the process of creating software for information systems should focus on solving the problem of increasing the reliability of operation. Currently, significant results have been achieved in the study of these problems, which allow us to identify ways of improving the reliability of this class of programs:

- development of a methodological theory of software reliability, including research of methods of software reliability analysis, selection and justification of criteria, study of error types, causes of their occurrence and distribution laws;
- development and implementation of software methods for designing complex programs;
- development of methods for evaluation and prediction of reliability characteristics, especially at early stages of software creation, methods for timely error prevention and localization, methods for measuring statistical characteristics that determine the stability of functioning and software reliability;
- development of methods for maintaining programs and their modernization under conditions of long-term operation.

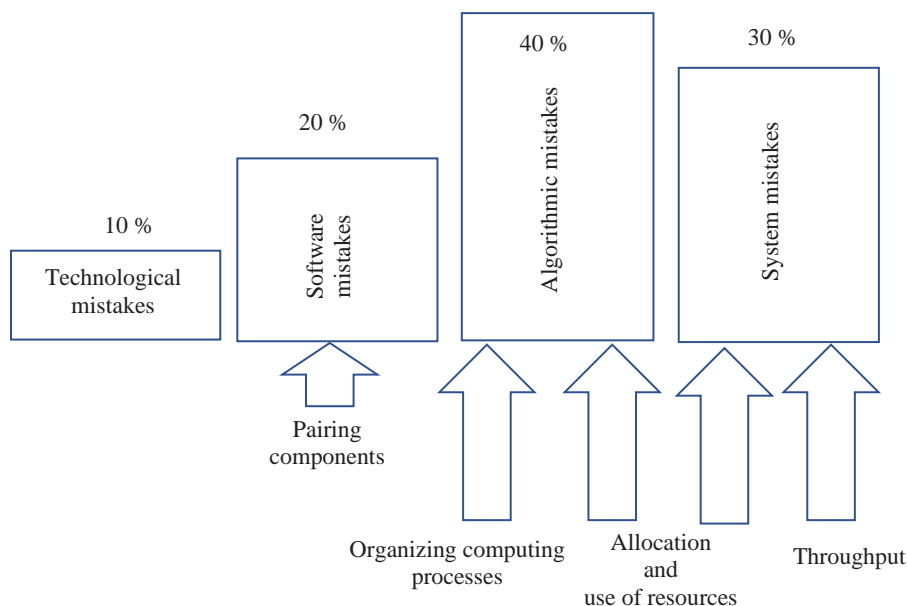


Fig. 3. Groups of errors prevented by structural design

The main result of the authors' research is structuring the types of software errors fig. 3. As a result of the structural approach to the design, the integrated software quality index is defined and the technological process goal is formulated, which is to optimize by some predetermined criterion the value of the integral quality index.

Complex practical decision-making tasks of critical facilities are usually multi-criteria: the consequences of decisions have to be assessed using not one, but several criteria (indicators of quality or efficiency of target functions).

To analyze complex and responsible multi-criteria decision-making tasks, the experience, knowledge and intuition of the decision maker and experts are not enough. It is necessary not only to have adequate information support, but also to use special mathematical methods developed by decision-making theory.

To select the best (optimal) solution, it is not enough to set a set of criteria. Additional information about the preferences of the decision maker is needed, which should be formally represented in the model of the problem situation.

Conclusions. The article considers the issues aimed at resolving the most pressing problem of modern society in the conditions of widespread informatization – information security, especially in the conditions of information warfare.

Modern expert systems are developed using the mathematical apparatus of fuzzy logic for operation in narrow areas of application and are designed to solve quite complex problems based on the experience of experts' work constantly accumulated in the knowledge base, to recreate the experience, knowledge of high-level professionals and use this knowledge. Practical implementation of expert systems allows, on the basis of the facts provided by the user, to recognize a situation, formulate a decision or give a recommendation for the choice of action and consists in making the optimal decision for effective information security. Nowadays, expert systems can be widely enough used in analyzing and assessing the state of information security by specialists of any qualification. Using expert systems with new knowledge bases on normative documents in the field of information protection, with specific solutions for many realistically possible situations, it is possible to greatly simplify the work of information security specialists in many organizations and at the same time provide them with self-training on specific examples, as on a kind of simulator

It should be emphasized that due to high financial, labour, social and time costs, expert systems are currently not widespread. Although in the field of information technologies everything is changing very quickly, in the near future the labour and experience of human professionals will not be replaced by the work of artificial intelligence, including ES. Today, expert systems can achieve significant results by functioning and interacting only together with humans, because it is man, unlike artificial intelligence, who is able to analyses, think, think creatively and non-standard, and this allows him to develop and move forward throughout his era.

To select the best (optimal) solution, it is not enough to set a set of criteria.

The results of the study are necessary for the development of complex software complexes of information systems. The methodology of structural design of complex software already at the design stage, presented in the article, allows to prevent a significant number of errors due to the detailing of reliability indicators by technological operations.

Complex practical decision-making tasks of critical facilities are usually multi-criteria: the consequences of decisions have to be assessed using not one, but several criteria (indicators of quality or efficiency of target functions).

To analyze complex and responsible multi-criteria decision-making tasks, the experience, knowledge and intuition of the decision maker and experts are not enough. It is necessary not only to have adequate information support, but also to use special mathematical methods developed by decision-making theory.

To select the best (optimal) solution, it is not enough to set a set of criteria. Additional information about the preferences of the decision maker is needed, which should be formally represented in the model of the problem situation.

Bibliography:

1. I. Savchenko, O. Shapoval, T. Chupilko, Y. Ulianova, V. Titov, and V. Shchepetov. "Computer Simulation of Safety Processes of Composite Structures Rheological Properties." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005747
2. I. Savchenko, O. Shapoval, V. Bakharev, T. Chupilko, M. Babaryka, and N. Dzyna. "Mathematical Model of Rheological Processes of Composite Materials Deformation." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005658
3. O. Khrebtova, O. Shapoval, O. Markov, V. Kukhar, N. Hrudkina, and M. Rudych. "Control Systems for the Temperature Field during Drawing, Taking into Account the Dynamic Modes of the Technological Installation." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005724
4. V. Kulynych, A. Shapoval, and V. Dragobetskii. Hard Alloys Recycling as a Promising Direction of Technological Equipment for Machine-Building Production. *Materials Science Forum*. Vol. 1052 MSF (2022). doi:10.4028/p-49mxgo
5. Parshina O., Savchenko Yu., Polyanov'ska B. Problem aspects of financial and economic security in the conditions of development crypt. *Scientific Bulletin of the Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs. Special Issue № 1*. 2019. pp. 243–248. DOI: 10.31733/2078-3566-2019-5-243-249.
6. Паршина О.А., Паршин Ю.І., Савченко Ю.В. Економічна безпека в умовах діджиталізації: сучасний стан та перспективи розвитку інформаційного суспільства. *Науковий вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ: Зб. наук. праць*. 2019. № 2. С. 148–155.
7. Паршина О.А., Паршин Ю.І., Савченко Ю.В. Система менеджменту забезпечення конкурентоспроможності промислової продукції в умовах дефіцитності ресурсів. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2019. №6 (23). С. 354–359. URL: (http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/23_2019/55.pdf)
8. V. Dragobetskii, V. Zagirnyak, S. Shlyk, A. Shapoval, and O. Naumova. "Application of Explosion Treatment Methods for Production Items of Powder Materials." *Przeglad Elektrotechniczny* 95 (5): 39-42 (2019.). doi:10.15199/48.2019.05.10
9. M. Zagirnyak, V. Zagirnyak, D. Moloshtan, V. Dragobetskyi, and A. Shapoval. "A Search for Technologies Implementing a High Fighting Efficiency of the Multilayered Elements of Military Equipment." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6 (1-102): 33-40 (2019). doi:10.15587/1729-4061.2019.183269
10. S.G. Karnaukh, O.E. Markov, V.V. Kukhar, and A.A. Shapoval. 2022. "Classification of Steels According to their Sensitivity to Fracture using a Synergetic Model." *Int J Adv M Tech* 119 (7-8): 5277-5287. (2022) doi:10.1007/s00170-022-08653-y
11. I. Lutsenko "Identification of Target System Operations. Development of Global Efficiency Criterion of Target Operations." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2 (2): 35-40. (2015.) doi:10.15587/1729-4061.2015.38963
12. M.V. Zagirnyak, V.V. Prus, and A.V. Nikitina. "Grounds for Efficiency and Prospect of the use of Instantaneous Power Components in Electric Systems Diagnostics." *Przeglad Elektrotechniczny* 82 (12): 123-125 (2006.)
13. Savchenko, I., Shapoval, A., Kuziev, I. Modeling of high module power sources systems safety processes. (2022) *Materials Science Forum*, 1052 MSF, pp. 399-404.
14. Savchenko, I., Shapoval, O., Kozechko, V., Markov, O., Hrudkina, N., Voskoboynik, V. Optimization of Informative Signals Stability Along the Waveguides. (2021) *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021*.
15. Hrudkina, N. S., O. E. Markov, A. A. Shapoval, V. A. Titov, I. S. Aliiev, P. Abhari, and K. V. Malii. (2022). "Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion." *FME Transactions* 50 (1): 90-98. doi:10.5937/fme2201090H
16. O.E. Markov "Forging of Large Pieces by Tapered Faces." *Steel in Translation* 42 (12): 808-810. (2012.) doi:10.3103/S0967091212120054

References:

1. I. Savchenko, O. Shapoval, T. Chupilko, Y. Ulianova, V. Titov, and V. Shchepetov. "Computer Simulation of Safety Processes of Composite Structures Rheological Properties." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005747
2. I. Savchenko, O. Shapoval, V. Bakharev, T. Chupilko, M. Babaryka, and N. Dzyna. "Mathematical Model of Rheological Processes of Composite Materials Deformation." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005658
3. O. Khrebtova, O. Shapoval, O. Markov, V. Kukhar, N. Hrudkina, and M. Rudych. "Control Systems for the Temperature Field during Drawing, Taking into Account the Dynamic Modes of the Technological Installation." (2022) doi:10.1109/MEES58014.2022.10005724

-
4. V. Kulynych, A. Shapoval, and V. Dragobetskii. Hard Alloys Recycling as a Promising Direction of Technological Equipment for Machine-Building Production. *Materials Science Forum*. Vol. 1052 MSF (2022). doi:10.4028/p-49mxgo
 5. Parshina O., Savchenko Yu., Polyanovs`ka B. Problem aspects of financial and economic security in the conditions of development crypt. *Scientific Bulletin of the Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs. Special Issue № 1*. 2019. pp. 243–248. DOI: 10.31733/2078-3566-2019-5-243-249.
 6. Parshina O.A., Parshin Y.I., Savchenko Y.V. Economic security in the context of digitalization: current state and prospects for the development of the information society. *Scientific Bulletin of Dnipropetrovs'k State University of Internal Affairs: Collection of scientific works*. 2019. № 2. C. 148-155.
 7. Parshina O.A., Parshin Y.I., Savchenko Y.V. Management system for ensuring the competitiveness of industrial products in conditions of resource scarcity. *Eastern Europe: economy, business and management*. 2019. №6 (23). C. 354-359. URL: (http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/23_2019/55.pdf)
 8. V. Dragobetskii, V. Zagirnyak, S. Shlyk, A. Shapoval, and O. Naumova. "Application of Explosion Treatment Methods for Production Items of Powder Materials." *Przegląd Elektrotechniczny* 95 (5): 39-42 (2019.). doi:10.15199/48.2019.05.10
 9. M. Zagirnyak, V. Zagirnyak, D. Moloshtan, V. Drahobetskyi, and A. Shapoval. "A Search for Technologies Implementing a High Fighting Efficiency of the Multilayered Elements of Military Equipment." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6 (1-102): 33-40 (2019). doi:10.15587/1729-4061.2019.183269
 10. S.G. Karnaukh, O.E. Markov, V.V. Kukhar, and A.A. Shapoval. 2022. "Classification of Steels According to their Sensitivity to Fracture using a Synergetic Model." *Int J Adv M Tech* 119 (7-8): 5277-5287. (2022) doi:10.1007/s00170-022-08653-y
 11. I. Lutsenko "Identification of Target System Operations. Development of Global Efficiency Criterion of Target Operations." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2 (2): 35-40. (2015.) doi:10.15587/1729-4061.2015.38963
 12. M.V. Zagirnyak, V.V. Prus, and A.V. Nikitina. "Grounds for Efficiency and Prospect of the use of Instantaneous Power Components in Electric Systems Diagnostics." *Przegląd Elektrotechniczny* 82 (12): 123-125 (2006.)
 13. Savchenko, I., Shapoval, A., Kuziev, I. Modeling of high module power sources systems safety processes. (2022) *Materials Science Forum*, 1052 MSF, pp. 399-404.
 14. Savchenko, I., Shapoval, O., Kozechko, V., Markov, O., Hrudkina, N., Voskoboynik, V. Optimization of Informative Signals Stability Along the Waveguides. (2021) *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021*.
 15. Hrudkina, N. S., O. E. Markov, A. A. Shapoval, V. A. Titov, I. S. Aliiev, P. Abhari, and K. V. Malii. (2022). "Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion." *FME Transactions* 50 (1): 90-98. doi:10.5937/fme2201090H
 16. O.E. Markov "Forging of Large Pieces by Tapered Faces." *Steel in Translation* 42 (12): 808-810. (2012.) doi:10.3103/S0967091212120054

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 629.078

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.12>

Луб'яний П. В., кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри транспортних систем та технічного сервісу
Херсонського національного технічного університету
ORCID: 0000-0003-2668-5063

Войтович О. А., кандидат технічних наук, доцент,
декан факультету інженерії та транспорту
Херсонського національного технічного університету
ORCID: 0000-0003-0510-4362;

Кузьменко І. О., аспірант кафедри економіки,
підприємництва та економічної безпеки
Херсонського національного технічного університету
ORCID: 0009-0004-6878-7310

ОСОБЛИВОСТІ КОМЕРЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ЗМІШАНИХ КОМБІНОВАНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

У статті розглядаються актуальні питання, пов'язані з комерційною діяльністю у контексті змішаних комбінованих перевезень, та шляхи покращення системи тарифів на прикладі автомобільного та залізничного транспорту. Один з основних способів вдосконалення тарифної системи – це її диференціація залежно від класу якості перевезень і інших транспортних послуг, а також поступове припинення практики «перехресного» фінансування та субсидування нерентабельних видів діяльності за рахунок прибуткових.

На сьогодні транспортний сектор здатен забезпечити лише базові потреби населення та економіки щодо обсягів перевезень, але не щодо якості. Сучасний стан транспортної галузі не повністю відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі в Транс'європейську транспортну мережу.

Для підвищення ефективності та конкурентоспроможності транспортного сектору необхідно вдосконалити правовий механізм державно-приватного партнерства, посилити взаємодію між державним та приватним сектором, органами державної влади та місцевого самоврядування, а також здійснити необхідні реформи, включаючи впровадження децентралізації за допомогою скоординованих ініціатив державної політики. Це створить міцну основу для сталого розвитку транспортної галузі та відкритого конкурентного ринку транспортних послуг.

Згідно з чинним законодавством, рівень тарифів у транспорті визначається виходячи з нормативних затрат на одиницю транспортної роботи, рівня рентабельності та податкових зобов'язань. Розрахунки зі споживачами послуг транспорту загального користування проводяться відповідно до діючих тарифів згідно з кодексами (статутами) окремих видів транспорту, іншими законодавчими актами України, а також відповідно до міжнародних конвенцій, яких дотримується Україна, та міждержавних угод у сфері транспортних послуг.

Авторами запропонована методика встановлення тарифів на змішані комбіновані перевезення, що базується на оцінці ефективності функціонування всієї транспортної системи. Оскільки змішані комбіновані перевезення, зокрема контрейлерні, поєднують точність автомобільного транспорту з витратами, подібними до залізничних, то тариф на них повинен бути в межах між тарифом для традиційних залізничних перевезень та автомобільних.

Ключові слова: тариф, змішані перевезення, витрати, тарифна політика, комерційна діяльність, транспортні послуги.

Lubiany P. V., Voitovych O. A., Kuzmenko I. O. Peculiarities of commercial activity in mixed combined transport

The article examines topical issues related to commercial activities in the context of mixed combined transport and ways to improve the tariff system on the example of road and rail transport. One of the main ways to improve the tariff system is to differentiate it depending on the quality class of transportation and other transport services, as well as to gradually stop the practice of "cross-financing" and subsidising unprofitable activities at the expense of profitable ones.

© П. В. Луб'яний, О. А. Войтович, І. О. Кузьменко, 2024

Today, the transport sector is able to meet only the basic needs of the population and the economy in terms of transportation volumes, but not in terms of quality. The current state of the transport sector does not fully meet the requirements for the effective implementation of Ukraine's European integration course and the integration of the national transport network into the Trans-European Transport Network.

To improve the efficiency and competitiveness of the transport sector, it is necessary to improve the legal mechanism for public-private partnerships, strengthen cooperation between the public and private sectors, state authorities and local governments, and implement the necessary reforms, including the introduction of decentralisation through coordinated public policy initiatives. This will create a solid foundation for the sustainable development of the transport sector and an open, competitive transport market.

In accordance with the current legislation, the level of tariffs in transport is determined based on the standard costs per unit of transport work, profitability and tax liabilities. Settlements with consumers of public transport services are carried out in accordance with the current tariffs in accordance with the codes (charters) of certain types of transport, other legislative acts of Ukraine, as well as in accordance with international conventions to which Ukraine is a party and interstate agreements in the field of transport services.

The authors propose a methodology for setting tariffs for mixed combined transportation based on an assessment of the efficiency of the entire transport system. Since mixed combined transport, in particular, containerised transport, combines the accuracy of road transport with costs similar to those of rail transport, the tariff for it should be in the range between the tariff for traditional rail transport and road transport.

Key words: tariff, mixed transport, costs, tariff policy, commercial activity, transport services.

Постановка проблеми. Сьогодні питання реформування тарифної політики є важливим не лише з теоретичної, але і з практичної точки зору для всіх галузей суспільного виробництва, включаючи транспорт. У тарифах, як і в цінах, відображаються економічні інтереси всіх учасників ринку. Вони є основою для формування доходів, необхідних для покриття витрат підприємства та отримання прибутку, який забезпечує оновлення основних фондів, соціальний розвиток та створення суспільних фондів споживання. Рівень тарифів має значний вплив на більшість споживачів і є одним з ключових чинників у виборі певних послуг та товарів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями формування та розвитку тарифної політики і комерційної діяльності транспорту займалися та продовжують займатися багато провідних вітчизняних і зарубіжних учених, а також спеціалістів: **Є.В. Нагорний**, Ю.О. Давидіч, Ю.С. Бараш, М.В. Дорошенко, Д.В. Зеркалов, М. Г. Белінська, Н.М. Колесникова, Ю.Ф. Куласв, М.В. Макаренко, В.І. Пасічник, Л.О. Позднякова, Г.М. Кірпа, Т.А. Мукмінова, Д.О. Шамрай, Т.Г. Яновська, В. П. Яновська, Г.Д. Ейтутіс, Н.П. Терьшина, Є.М. Сич та ін.

Однак специфіка тарифної політики в перевезенні вантажів залишається недостатньо вивченою і потребує подальших досліджень.

Мета статті полягає в аналізі тарифної політики та комерційної діяльності у змішаних комбінованих перевезеннях, а також у вивченні особливостей і розробці шляхів покращення системи тарифів.

Виклад основного матеріалу. Розробка гнучкої системи встановлення тарифів має важливе значення для покращення фінансового стану підприємств транспортної галузі. Така система повинна передбачати об'єктивні, диференційовані підходи до встановлення тарифів для пасажирських і вантажних перевезень, засновані на різних параметрах транспортного ринку. Реалізація цієї концепції в умовах переходу до ринкових відносин є проблематичною та має свої методологічні складнощі [1].

Тарифна політика повинна забезпечувати ефективне функціонування транспортної системи, сприяти розвитку конкуренції, а також відновленню інвестиційної складової тарифів для розширеного відтворення виробничих фондів транспорту. Вона має враховувати необхідність покриття витрат на перевезення, реконструкцію, технічний і соціальний розвиток галузі, підвищення якості транспортних послуг, а також створення ефективної взаємодії між різними видами транспорту.

Тарифна політика повинна враховувати інтереси підприємництва, сприяти розвитку автомобільного транспорту та впровадженню сучасних транспортних засобів, стимулювати використання новітніх технологій перевезень. В умовах інфляції необхідна індексація тарифів, які встановлюються державними органами.

Один із ключових напрямів удосконалення тарифної системи – це диференціація тарифів за класами якості перевезень та інших транспортних послуг. Важливим чинником у формуванні тарифної політики в транспортній галузі повинне бути скорочення витрат та зниження собівартості для зменшення транспортної складової у вартості продукції [2].

Для подальшого реформування в області тарифної політики на транспорті необхідно[3]:

- забезпечення свободи ціноутворення в транспортних секторах із високою конкуренцією;
- контроль за фактичними витратами та рентабельністю транспортних підприємств-монополістів;
- встановлення, за необхідності, фіксованих тарифів на транспортні послуги для природних монополій;
- раціональний розподіл повноважень з тарифного регулювання між державними та регіональними рівнями управління транспортними системами;
- у разі інфляційних процесів індексація тарифів, які встановлюються державними органами;
- вдосконалення тарифної політики та збереження єдиного тарифного простору відповідно до міжурядових угод про проведення узгодженої політики в галузі тарифного регулювання на транспорті.

Основним напрямком удосконалення тарифної системи може бути її диференціація за класами якості перевезень та інших транспортних послуг, а також поступове припинення практики "перехресного" фінансування та субсидування збиткових видів діяльності за рахунок прибуткових.

Згідно з чинним законодавством, рівень тарифів у транспортній сфері визначається на основі нормативних затрат на одиницю транспортної роботи, рівня рентабельності та сплати податків. Розрахунки зі споживачами послуг транспорту загального користування проводяться згідно з чинними тарифами, встановленими кодексами (статутами) окремих видів транспорту та іншими законодавчими актами України, а також відповідно до принципів міжнародного права, міжнародних конвенцій, до яких приєдналася Україна, та міждержавних угод у сфері транспортних послуг [4].

Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України (Мінінфраструктури), узгоджуючи з Міністерством економіки, регулює тарифну ціну на такі послуги:

- комплекс робіт, пов'язаних із обробкою зовнішньоторговельних та транзитних вантажів у морських та річкових портах;
- послуги, що надаються судам закордонного плавання в морських та річкових портах України;
- послуги з перевезення вантажів залізничним транспортом в межах України та пов'язані з ними послуги;
- перевезення пасажирів, багажу та вантажобагажу залізничним транспортом у міжнародному та внутрішньому сполученні (крім міжміських перевезень);
- аеронавігаційні збори з повітряних суден в повітряному просторі України;
- аеропортові збори за обслуговування повітряних суден та пасажирів в аеропортах України (включаючи посадку-зліт, обслуговування пасажирів в аеровокзалах, понаднормативну стоянку, забезпечення авіаційної безпеки);

– перевезення пасажирів та багажу автомобілями на міжміських і міжобласних маршрутах (тарифи на перевезення пасажирів та багажу автомобільним транспортом, що працює в звичайному режимі руху в міжміському, внутрішньообласному та приміському сполученні, повинні затверджуватися Радою Міністрів АР Крим, облдержадміністраціями, а також міськими держадміністраціями Києва та Севастополя).

Тарифна політика на автомобільному транспорті загального користування повинна враховувати інтереси підприємств, стимулювати розвиток та вдосконалення маршрутної мережі, впровадження нових технологій, зокрема сучасних систем автоматизації, а також сприяти вирішенню інших завдань [5]:

- розширення можливостей суб'єктів господарювання для задоволення потреб споживачів у транспортних послугах;
- залучення інвестицій у розвиток транспорту загального користування для забезпечення стабільних економічних умов;
- стимулювання конкуренції шляхом заохочення появи нових суб'єктів господарювання на автомобільному транспорті загального користування.

Методи формування тарифної політики для змішаних комбінованих перевезень. Чинна тарифна політика не повністю відповідає вимогам ринку транспортних послуг. Останнім часом пропонувалися різні методики розрахунку тарифів на перевезення вантажів з урахуванням їхньої вартості. Однак ці методи не враховують швидкість доставки вантажів і їхню збереженість.

Запропонована авторська методика визначення тарифів на змішані комбіновані перевезення заснована на оцінці ефективності функціонування транспортної системи в цілому. Змішані комбіновані перевезення (включно з контрейлерними) дозволяють забезпечувати своєчасні перевезення як автомобільним, так і залізничним транспортом, за витратами, близькими до залізничних [6]. Тоді величина тарифів на змішані комбіновані контрейлерні перевезення повинні знаходитися в межах поміж величиною тарифу на традиційні залізничні перевезення ($T_{зал}$) та на автомобільні перевезення ($T_{авт}$).

$$T_{зал} < T_{к} < T_{авт}, \quad (1)$$

Виходячи з цієї умови, пропонується наступний порядок визначення оптимального розміру тарифу на змішані комбіновані контрейлерні перевезення [7]:

1. Визначається верхня межа тарифу $T_{к}^{в.м.}$, в ролі якої приймається діючий в теперішній час тариф на автомобільні перевезення $T_{авт}$

$$T_{к}^{в.м.} = T_{авт}, \quad (2)$$

2. Визначається нижня межа тарифу, яка відповідає поточним витратам $T_{к}^{н.м.} = B_{к}$ та рівноваговий тариф з урахуванням рівня рентабельності продукції ($P_{пр}$), яка перевозиться ($T_{к}^{рівноваз}$)

$$T_{к}^{рівноваз} = B_{к} (1 + P_{пр}), \quad (3)$$

3. Визначається очікувана величина прибутку, який може отримати вантажовласник від скорочення термінів перевезення та зменшення втрат вантажу при транспортуванні за кожним окремим вантажем в залежності від його вартості ($\Delta\Pi_{к}$).

$$\Delta\Pi_{к} = E_{пр} T_{к} - E_{прт.баз}, \quad (4)$$

де $E_{пр} T_{к}$ – приведений економічний ефект запропонованого варіанту;

$E_{прт.баз}$ – приведений економічний ефект базового варіанту.

4. Визначається розрахункове значення тарифу на змішані комбіновані прискорені контрейлерні перевезення ($T_{к}^p$).

$$T_{к}^p = B_{к} (1 + P_{р}) + \beta_m \Delta\Pi_{к}, \quad (5)$$

де β_m – коефіцієнт еластичності тарифу, який змінюється в залежності від кон'юнктури ринку і знаходиться у межах:

$$0 < \beta_r < 1$$

5. З урахуванням зовнішнього додаткового прибутку ($\Delta\Pi_{\kappa}$) від вартості вантажу, що перевозиться, ($\Pi_{\text{зп}}$), поточних витрат ($B_{\text{зал}}, B_{\kappa}$), добовий коефіцієнт компаундінгу (α) та терміну доставки вантажу ($t_{\text{зал}}, t_{\kappa}$), вираження для визначення розрахункового тарифу можна записати

$$T_{\kappa}^p = B_{\kappa}(1 + P_{\text{пр}}) + \beta_m \{ (\Pi_{\text{зп}} + B_{\text{зал}}) \alpha^{t_{\text{зал}}} - (\Pi_{\text{зп}} + B_{\kappa}) \alpha^{t_{\kappa}} \}, \quad (6)$$

6. Розрахункове значення тарифу на змішаних комбінованих контрейлерних перевезеннях порівнюються з верхньою межею тарифу ($T_{\kappa}^{\text{в.м.}}$). Якщо розрахунковий тариф дорівнює або перевищує це розрахункове значення, то для підтримання попиту на ринку транспортних послуг необхідно знизити розрахунковий тариф за рахунок зменшення коефіцієнта еластичності (β_m).

Висновки. Для подальшого реформування тарифної політики у транспортній галузі необхідно:

- запровадити вільне ціноутворення в секторах транспортного ринку з високим рівнем конкуренції;
- контролювати фактичні витрати та рентабельність транспортних підприємств-монополістів;
- встановлювати фіксовані тарифи на транспортні послуги природних монополістів, коли це необхідно;
- розумно розмежувати повноваження щодо тарифного регулювання між державними та регіональними органами управління транспортними системами;
- індексувати тарифи, встановлені державними органами, у випадку інфляції;
- вдосконалити тарифну політику та підтримувати єдиний тарифний простір згідно з міжурядовими угодами про узгоджену політику в галузі тарифного регулювання на транспорті.

Список використаних джерел:

1. Кабінет міністрів України Розпорядження від 30 травня 2018 р. № 430-р Київ. «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року». Із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ № 321-р від 07.04.2021 Постановою КМ № 416 від 28.04.2023.
2. Аналіз вигід і витрат: практ. посіб. / Секретаріат Ради Скарбниці Канади; пер. з англ. С. Соколик; наук. ред. пер. О. Кілієвич. – К. : Основи, 1999. – 175 с.
3. Романович Є. В., Козарь Л. М., Запара В. М. Виробнича логістика та управління виробництвом : навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2007. – 302 с.
4. Про транспорт: Закон України від 10 листопада 1994 р. № 232/94-ВР.
5. Закон України «Про інвестиційну діяльність» від 18 вересня 1991 р. № 1560-12 // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 47. – ст. 646
6. Чорний В. В. Конкурентоспроможність залізниць на ринку вантажних перевезень: теорія, методологія, практика : монографія. Київ : ДЕДУТ, 2012. 401 с.
7. Луб'яний П.В., Войтович О.А., Кузьменко І.О. Проектний аналіз транспортного підприємства Навчальний посібник. Херсон: Книжкове вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 280 с. ISBN 978-617-8187-08-8 (електронне видання) – 280 с.

References:

1. (2018) Kabinet ministriv Ukrayiny Rozporyadzhennya vid 30 travnya 2018 r. № 430-r Kyiv. «Pro skhvalennya Natsional'noyi transportnoyi stratehiyi Ukrayiny na period do 2030 roku» ["On Approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030"]. Iz zminamy, vneseny my z'hidno z Rozporyadzhennyam KM № 321-r vid 07.04.2021 Postanovoyu KM № 416 vid 28.04.2023. [in Ukrainian]
2. Analiz vyhid i vytrat [Benefit-cost analysis]: prakt. posib. (1999)/ Sekretariat Rady Skarbnytsi Kanady; per. Z anhl. S. Sokolyk; nauk. red. per. O. Kiliyevych. – K. : Osnovy, 1999. – 175 s. [in Ukrainian]
3. Romanovych YE. V., Kozar' L. M., Zapara V. M. Vyrobnycha lohistyka ta upravlinnya vyrobnytstvom [Production logistics and production management.]: navch. Posibnyk (2007). Kharkiv : UkrDAZT, 2007. – 302 s. [in Ukrainian]
4. Pro transport [On Transport] (1994): Zakon Ukrayiny vid 10 lystopada 1994 r. № 232/94-VR. [in Ukrainian]
5. (1991) Zakon Ukrayiny «Pro investytsiynu diyal'nist'» ["On Investment Activity"] vid 18 veresnya 1991 r № 1560-12 // Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny. – 1991. – № 47. – st. 646. [in Ukrainian]
6. Chorny V. V. Konkurentospromozhnist' zaliznyts' na rynku vantazhnykh perevezen': teoriya, metodolohiya, praktyka [Competitiveness of railways in the freight market: theory, methodology, practice] (2012): monohrafiya. Kyiv : DETUT, 2012. 401 s. [in Ukrainian]
7. Lub'yanyy P.V., Voitovych O.A., Kuz'menko I.O. Proyektnyy analiz transportnoho pidpryyemstva [Project analysis of a transport enterprise] (2024): Navchal'nyy posibnyk. Kherson: Knyzhkove vyd-vo FOP Vyshemyrs'kyy V.S., 2024. – 280 s. ISBN 978-617-8187-08-8 (elektronne vydannya) – 280 s. [in Ukrainian]

Рагулін С. В., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID: 0000-0001-8955-0380

Зубенко В. О., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID: 0000-0002-8401-755X

ПОШУК ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Сучасні повітряні судна оснащуються цифровими пілотажно-навігаційними комплексами нового покоління, в яких всі системи мають вбудовані системи контролю і конструктивно виконуються у вигляді ряду легкозамінних блоків. Безпека польотів сучасних повітряних суден забезпечується шляхом резервування радіоелектронних навігаційних систем, в той час як регулярність польотів – шляхом створення достатньої кількості запасних легкозамінних блоків в обмінному фонді.

У статті відзначається те, що висока інтеграція пілотажно-навігаційних комплексів і висока інтенсивність польотів повітряних суден призводить до того, що за результатами оперативного технічного обслуговування частина легкозамінних блоків помилково визнаються непридатними, демонтуються і відправляються на відновлення. Згідно зі статистичними даними, від 40 до 85% демонтованих легкозамінних блоків радіоелектронних навігаційних систем насправді є працездатними. Це породжує проблематику так званих непідтверджених дефектів. Північноамериканська авіаційна транспортна асоціація «The Air Transport Association» оцінює щорічні втрати на рівні в середньому 100 тисяч доларів на кожен середньомагістральний літак. Велика кількість непідтверджених дефектів тягне за собою необхідність невиправданого збільшення обсягу в обмінному фонді запасних легкозамінних блоків для підтримки регулярності польотів, що призводить до значних капітальних витрат. Данна стаття присвячена пошуку можливостей зниження цих витрат за рахунок використання наземних автоматизованих систем контролю, що здійснюють перевірку демонтованих блоків з високою достовірністю і запобігають помилковій відправці працездатних легкозамінних блоків на відновлення. Однак закупка та експлуатація наземних автоматизованих систем контролю також вимагає значних інвестицій.

У роботі зазначено, що ефективність експлуатації повітряних суден безпосередньо визначається оптимальним варіантом організації системи технічного обслуговування і ремонту, вибір якого ґрунтується на вирішенні комплексу завдань діагностичного забезпечення, методичного, нормативного забезпечення та оптимального формування обмінного фонду.

Ключові слова: системи контролю; відновлення; технічне обслуговування; легкозамінні блоки; радіоелектронні навігаційні системи.

Rahulin S. V., Zubenko V. O. Finding ways to improve radio-electronic navigation systems operational efficiency

Modern aircraft are equipped with digital pilotage and navigation systems of the new generation, in which all systems have built-in control systems and are structurally made in the form of a number of easily replaceable blocks. The flight safety of modern aircraft is ensured by the redundancy of radio-electronic navigation systems, while the regularity of flights is ensured by the creation of a sufficient number of spare easily replaceable blocks in the exchange fund.

The article notes that the high integration of pilotage and navigation complexes and the high intensity of aircraft flights leads to the fact that, according to the results of operational maintenance, part of easily replaceable blocks are mistakenly recognized as inoperable, dismantled and sent for restoration. According to statistics, from 40 to 85% of disassembled easily replaceable units of radio electronic navigation systems are actually functional. This gives rise to the problem of so-called unconfirmed defects. The North American Air Transport Association (ATA) estimates annual losses at an average of 100,000 thousands of dollars for each medium-haul aircraft. A large number of unconfirmed defects entails the need for an unjustified increase in the volume in the exchange fund of spare easily replaceable units to maintain the regularity of flights, which leads to significant capital costs. This work is devoted to the search for opportunities to reduce these costs through the use of ground-based automated control systems, that verify dismantled blocks with high reliability and prevent erroneous sending of workable easily replaceable blocks for restoration. However, purchasing and operating ground-based automated control systems also requires significant investment.

The article defines that the efficiency of aircraft operation is directly determined by the optimal variant of the organization of the maintenance and repair system, the choice of which is based on the solution of the complex tasks of diagnostic support, methodical, regulatory support and optimal formation of the exchange fund.

Key words: control systems; restoration; maintenance; easily replaceable blocks; radio electronic navigation systems.

Постановка проблеми. Система технічного обслуговування і ремонту є системою управління технічним станом радіоелектронних навігаційних систем в заданих умовах експлуатації і являє собою сукупність взаємопов'язаних засобів, експлуатаційно-ремонтної документації та виконавців, необхідних для підтримки якості виробів, що входять в систему. Під ефективністю системи технічного обслуговування і ремонту розуміється сукупність властивостей системи ТОіР, що характеризують співвідношення між витратами ресурсів (матеріальних, часових або трудових) на підтримку чи відновлення працездатності РЕНС і досягається результатом.

Підтримка правильного функціонування всієї системи ТОіР здійснюється за допомогою організації інженерно забезпечення, яке являє собою необхідний і достатній комплекс заходів, що проводяться з метою підтримки справності, забезпечення інтенсивності використання повітряного судна, безпеки і регулярності польотів при економному використанні трудових і матеріально-технічних ресурсів.

На рис. 1 наведені основні складові системи ТОіР ПС. Як видно з аналізу, інженерне забезпечення включає в себе заходи щодо забезпечення льотної експлуатації та підтримання необхідного рівня безпеки польотів, технічне забезпечення процесу ТОіР, а також комплекс фінансового забезпечення.



Рис. 1. Основні складові системи технічного обслуговування повітряних суден

Діагностичне забезпечення призначене для здійснення процесу діагностування та оптимального використання засобів контролю технічного стану РЕНС.

Система забезпечення запасними виробами (СЗЗВ) призначена для вирішення наступних завдань: поповнення запасів виробів, що виробили міжремонтний або назначений ресурс; підтримання необхідного рівня страхових запасів; підтримки необхідних обсягів незнижуваного ОФ виробів (компонентів) в авіапідприємствах і сервісних центрах.

Інформаційне забезпечення процесу ТОіР представляє комплекс взаємопов'язаних заходів щодо збору, обробки, використанню інформації про технічний стан ПС, систем, виробів і обладнання на експлуатаційних і ремонтних підприємствах, обробці результатів експлуатації, випробувань і досліджень з метою вдосконалення конструкції та усунення недоліків ПС і підвищення ефективності експлуатації.

Методичне та документальне забезпечення має містити комплекс нормативної документації, методів, алгоритмів і рекомендацій з оцінки і розрахунку показників експлуатаційної надійності РЕНС, вибору оптимальних стратегій ТО, оптимізації діагностичного забезпечення та управління системою забезпечення запасами.

Зобов'язання постачальника і експлуатанта являють собою комплекс заходів, засобів і нормативно-технічної документації необхідної для підтримки льотної придатності і необхідного рівня ефективності процесу експлуатації ПС в гарантійний та післягарантійний періоди.

Ефективність системи ТОіР істотно залежить від безвідмовності, ремонтпридатності та довговічності РЕНС, достовірності результатів і тривалості експлуатаційного контролю. Кількісними характеристиками різних властивостей системи ТОіР є відповідно показники безвідмовності, ремонтпридатності та довговічності РЕНС, достовірності та тривалості експлуатаційного контролю, тривалості відновлення систем.

Поряд з програмою ТОіР, що запропонована розробником ПС, кожен експлуатант має право розробляти свою приватну програму ТО експлуатанта, яка враховує всі особливості експлуатації ПС і дозволяє отримати максимальний прибуток при підтримці вимог льотної придатності.

При розробці програм ТОіР необхідно раціональне поєднання якісного інженерного аналізу за вибором методів технічної експлуатації та робіт з ТОіР ПС з кількісною оцінкою показників ефективності ТОіР на основі створення математичних моделей впливу ТОіР на надійність і безпеку бортових систем. Це дозволить формалізовано аналізувати вплив можливих відмов систем та їх компонентів на безпеку, регулярність польотів і економічність ПС.

Аналіз досліджень та публікацій. Вперше раціональний підхід щодо формування програм ТОіР був запропонований в 70-х роках авіакомпанією United Airlines і став пізніше широко відомий як методичний

документ з розробки програми планового ТОiP ATA MSG-3 [1]. Однак через відсутність коректної математичної моделі методика MSG-3 дуже слабо формалізована. Тому актуальною є задача методичного забезпечення формування програм ТОiP для розробників і експлуатантів ПС.

Задоволення сучасним вимогам з безпеки польотів призводить до необхідності створення безвідмовних з виконання заданих функцій бортових РЕНС за рахунок багаторазового резервування, введення систем бортового контролю та управління, локалізуючих несприятливий вплив відмов на функціонування пілотажно-навігаційного комплексу в цілому. Це призводить до збільшення кількості обладнання на ПС, що в свою чергу, тягне за собою зростання числа відмов і несправностей обладнання, збільшення трудомісткості ТО і, як наслідок, необхідності збільшення кількості запасних комплектуючих в обмінному фонді. У цих умовах потрібна зміна ідеології льотної та технічної експлуатації з метою підвищення безпеки польотів, підвищення якості функціонування систем ПС і скорочення невинуватених простоїв ПС.

Вирішити це завдання можна шляхом підвищення надійності РЕНС, переходом на обслуговування за станом до безпечної відмови (breakdown maintenance strategy) без виконання зайвих робіт з ТОiP і планових заміни компонентів. У цьому випадку кожна система експлуатується до відмови, яка реєструється в польоті або в процесі передпольотного оперативного ТО.

Перспективним шляхом вирішення даної задачі для резервованих РЕНС є використання типового (головного) переліку мінімального обладнання на підставі якого допускається експлуатація ПС, шляхом відкладеного (у встановлених межах) проміжку часу усунення виявлених несправностей. У зарубіжних нормативних документах цей перелік називається ПМДО (Master Minimum Equipment List). Основний перелік мінімального обладнання (ПМДО) розробляється власником сертифікату-розробником ПС. Цей перелік визначає мінімальну конфігурацію систем ПС, для яких є область основних умов експлуатації та льотно-технічних характеристик, що забезпечує можливість виконання польоту із збереженням необхідного рівня безпеки польоту. Іншими словами, на підставі ПМДО допускається виліт ПС із транзитного аеропорту з відмовленою системою, що входить у ПМДО.

Використання ПМДО/МДО в авіакомпанії може дати істотний економічний ефект за рахунок наступних чинників: запобігання затримок при вильоті з транзитного аеропорту; оптимізації проведення ТО шляхом узгодження часу проведення відновлення відмовленої системи з термінами найближчої періодичної форми; оптимізації обсягів запасних комплектуючих виробів. При розробці ПМДО/МДО сертифікованих ПС, основною умовою включення системи, підсистеми, агрегату в цей перелік має бути збереження для ПС (при його вильоті з непрацездатним обладнанням) рівня безпеки.

Кожен експлуатант вирішує самостійно з урахуванням своїх конкретних умов необхідність використання ПМДО. Це здійснюється шляхом розробки на базі ПМДО конкретизованого переліку MEL (Minimum Equipment List), який враховує конфігурацію ПС і умови експлуатації для конкретної авіакомпанії. При цьому авіакомпанія повинна розробити комплекс організаційно-технічних заходів, що забезпечують необхідний рівень безпеки польоту при використанні МДО. Цей перелік може відрізнитися від ПМДО, але не повинен бути менш жорстким.

Всі можливі відмови ПС по виду їх прояви можна розділити на дві групи: «Явні» для льотної екіпажу при виконанні ним своїх звичайних обов'язків; «Приховані», тобто неявні для екіпажу.

Приховані відмови повинні своєчасно виявлятися вбудованими засобами контролю та усуватися при оперативному обслуговуванні ПС у базовому аеропорту. У групі явних відмов будь-яка небезпечна одинична відмова має бути в принципі виключена, або, за відсутності технічної можливості, ймовірність такої відмови повинна бути обмежена відповідно до норм льотної придатності. Явні відмови резервованих систем зазвичай не впливають на безпеку польоту, і системи, для яких можливі подібні відмови, можуть включатися в перелік ПМДО/МДО.

При прихованих відмовах середній час між відновлення системи залежить від безвідмовності системи, періодичності контролю працездатності, достовірності та повноти контролю. При явних відмовах (за переліком ПМДО) цей час дорівнює сумі середнього часу безвідмовної роботи системи та середнього часу польоту з несправним блоком (за умови, що ця відмова виявлена під час польоту).

Для науково-обґрунтованого підходу до формування оптимальних програм ТОiP, а також переліків ПМДО/МДО, необхідно мати математичні моделі та методики для оцінки експлуатаційної надійності та ймовірності безвідмовної роботи РЕНС протягом польоту ПС. Ці моделі повинні враховувати вплив як прихованих, так і явних відмов. Крім того, вони повинні враховувати достовірність вбудованого контролю та вплив структури резервування з точки зору надійності РЕНС.

Після початку експлуатації весь життєвий цикл ПС (виключаючи утилізацію) можна розділити на два етапи: період гарантійного і період післягарантійного обслуговування. Кожен з цих періодів має свої особливості в побудові системи ТОiP, а, отже, вимагає різного підходу до вибору оптимального варіанту стратегії ТОiP та організації відповідного технічного забезпечення процесу експлуатації. Тому найважливішим є проблема вибору оптимального варіанту стратегії ТОiP РЕНС на різних етапах життєвого циклу НД

Основною відмінністю цих періодів є те, що під час гарантійного обслуговування всі витрати, пов'язані з відновленням РЕНС, несе постачальник ПС, а при післягарантійному обслуговуванні – експлуатант.

Відповідно до вимог, що пред'являються специфікаціями ARINC-700 [2], конструктивно РЕНС сучасних ПС виконуються у вигляді ряду легкозамінних блоків (ЛБ), які в міжнародних стандартах називають Line Replaceable Units (ЛБ). У свою чергу, ЛБ побудовані за модульним принципом і складаються з ряду уніфікованих змінно-складальних модулів – Shop Replaceable Units (ЗМ). Кожен ЛБ має вбудований засіб контролю (ВСК), що дозволяє проводити контроль працездатності (КП) протягом польоту ПС та в аеропорту під час оперативного ТО.

Висока інтеграція пілотажно-навігаційних комплексів і висока інтенсивність польотів ПС призводить до того, що КП на стоянці ПС здійснюється тільки з використанням ВСК. За результатами КПВСК і зауваженням екіпажу приймається рішення про демонтаж ЛБ з борту ПС. Так як достовірність ВСК не абсолютна, деякі з ЛБ помилково визнаються непрацездатними, демонтуються і відправляються на відновлення, що призводить до додаткових витрат.

Згідно зі статистичними даними зарубіжних авіакомпаній, від 40 до 85% демонтованих ЛБ систем авіоніки насправді є працездатними [3,4]. Це призводить до великих витрат авіакомпаній через так звані непідтверджені дефекти. Північноамериканська авіаційна транспортна асоціація АТА оцінює щорічні втрати в середньому 100 тис. дол. на кожне середньо-магістральне ПС через проблеми непідтверджених дефектів (НД).

Основною метою даної роботи є дослідження питання технічної експлуатації радіоелектронних навігаційних систем повітряних суден з точки зору пошуку шляхів підвищення ефективності її функціонування.

Виклад основного матеріалу. Одним із шляхів скорочення кількості непідтверджених дефектів є використання експлуатантами наземних автоматизованих систем контролю (НАСК), які дозволяють здійснювати повторну перевірку демонтованих ЛБ і запобігати помилковій відправці працездатних блоків на відновлення.

Як показує аналіз побудови систем ТОіР вітчизняних та зарубіжних ПС нового покоління з урахуванням особливостей конструктивного виконання сучасних РЕНС, що складаються з ЛБ, які в свою чергу включають в себе ряд ЗМ, можна виділити три рівні ТОіР.

Перший рівень полягає в ТО ЛБ в польоті або на стоянці ПС. Тут за допомогою ВСК проводиться КПЛБ. Забракований за результатами контролю ЛБ, надходить на другий рівень ТОіР.

Другий рівень передбачає ТО демонтованого ЛБ, який може здійснюватися на ЗВ, в базовому аеропорту або в центрі ТОіР. На цьому рівні КП і пошук місця відмови в ЛБ виробляються за допомогою НАСК-L. Пошук місця відмови в ЛБ може здійснюватися з глибиною до ЗМ за допомогою НАСК-S. Відновлення працездатності ЛБ проводиться шляхом заміни відмовлених ЗМ.

Третій рівень – це відновлення ЗМ. Для КП і пошуку місця відмови в ЗМ з глибиною до одного або декількох невідновлювальних елементів (НЕ) може застосовуватися НАСК високого рівня (НАСК-Е).

Таким чином, залежно від рівня діагностичного забезпечення можливі наступні варіанти побудови системи ТОіР РЕЗ: експлуатант не має НАСК і всі демонтовані ЛБ відправляються для відновлення на ЗВ або в центр ТОіР. Запасні справні ЛБ поступають для монтажу на борт ПС з ОФ; експлуатант має НАСК-L, яка дозволяє здійснювати КП демонтованих ЛБ. При цьому внаслідок високої достовірності контролю НАСК-L практично всі помилково демонтовані ЛБ повертаються для монтажу на борт ПС; експлуатант має НАСК-S, яка дозволяє здійснювати КП демонтованих ЛБ і проводити пошук несправності в них з глибиною до ЗМ. При цьому, для відновлення на ЗВ (в центр ТОіР) відправляються ЗМ, визнані непрацездатними за результатами контролю за допомогою НАСК-S. У цьому випадку створюється ОФ, що складається з ЗМ, необхідних для відновлення ЛБ; експлуатант має НАСК-Е, яка дозволяє здійснювати КП демонтованих ЛБ і проводити пошук несправності в них з глибиною до невідновлюваного елемента. У цьому випадку відновлення ЛБ здійснюється безпосередньо експлуатантом, а ОФ складається з ЗМ і НЕ.

Як видно з рис. 2, при цьому варіанті ЛБ, забракований за результатами КП ВСК, демонтується з борту ПС і відправляється на ЗВ. Для підтримки необхідної регулярності польотів з ОФ поставляється працездатний ЛБ, який монтується на борт НД. Забракований ЛБ після відновлення на ЗВ або поступає в ОФ, або відразу монтується на борт ПС.

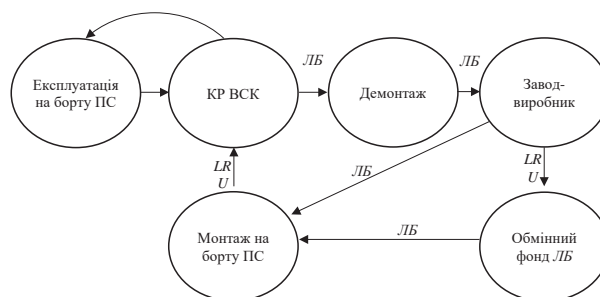


Рис. 2. Діаграма станів ЛБ при відсутності в експлуатанта НАСК

На рис. 3 наведена діаграма станів ЛБ за наявності у експлуатанта НАСК-Л, що відповідає другому варіанту побудови системи ТОіР. З рисунка, видно, що при цьому варіанті ЛБ, забракований за результатами КР ВСК, демонтується з борту ПС і надходить на НАСК- L, для повторної перевірки. Якщо за результатами КР за допомогою НАСК- L, ЛБ визнається працездатним, то він монтується назад на борт ПС. Якщо ж ЛБ бракується, то він відправляється для відновлення на ЗВ, а на борт ПС монтується ЛБ з ОФ.

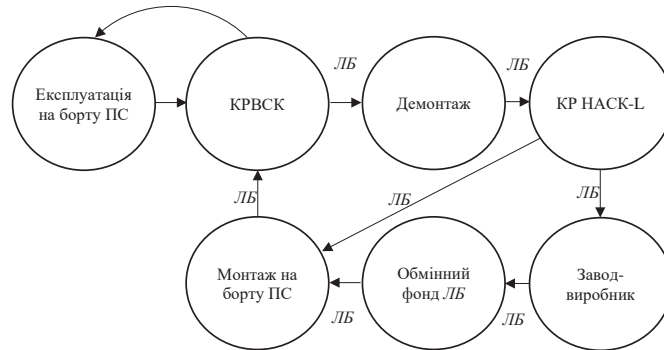


Рис. 3. Діаграма станів ЛБ при наявності в експлуатанта НАСК-Л

На рис. 4 наведено діаграму станів ЛБ за наявності у експлуатанта НАСК-S, що відповідає третьому варіанту побудови системи ТОіР. Як видно в цьому випадку ЛБ, забракований за результатами КР ВСК, демонтується з борту ПС і надходить на НАСК-S для КР. Якщо за результатами КР ЛБ визнається працездатним, то він монтується назад на борт ПС. Якщо ж ЛБ бракується, то проводиться пошук одного або декількох дефектних ЗМ, які далі відправляються на ЗВ для відновлення. Справні ЗМ, необхідні для заміни дефектних, надходять із ОФ у цех відновлення ЛБ. Після відновлення ЛБ монтується назад на борт ПС.

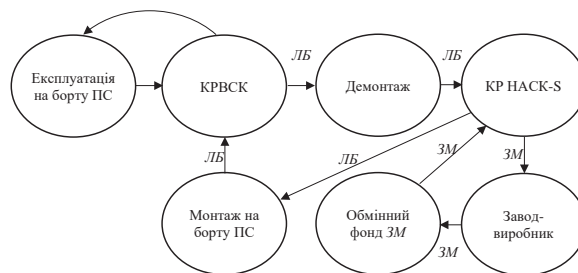


Рис. 4. Діаграма станів ЛБ при наявності в експлуатанта НАСК-S

Діаграма станів ЛБ за наявності у експлуатанта НАСК-Е наведено на рис. 5, що відповідає четвертому варіанту побудови системи ТОіР.

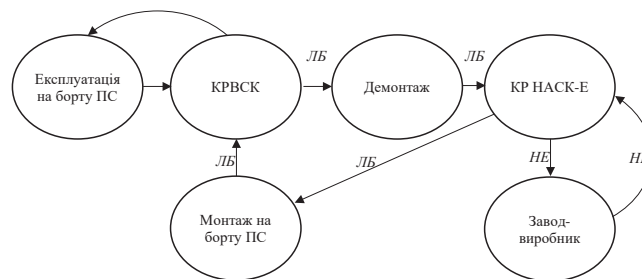


Рис. 5. Діаграма станів ЛБ при наявності в експлуатанта НАСК-Е

Як видно з рисунку, ЛБ, забракований за результатами КР ВСК, демонтується з борту ПС і надходить на НАСК-Е для КР, пошуку несправних ЗМ і відмовлених НЕ. Якщо за результатами КР ЛБ визнається працездатним, то він монтується назад на борт ПС. Якщо ЛБ забракований за результатами КР, то проводиться пошук несправного ЗМ і відмовлених в ньому елементів. Несправні елементи замінюються на справні із запасів обмінного фонду. Після відновлення ЛБ монтується назад на борт ПС.

Таким чином, перед постачальником і експлуатантом стоїть завдання вибору оптимального варіанта стратегії ТО, що дозволяє забезпечити максимальну ефективність експлуатації ПС. Це пов'язано з тим, що, з одного боку, купівля та експлуатація НАСК вимагає певних інвестицій, а з іншого боку, відсутність НАСК призводить до витрат внаслідок НД і необхідності формування дорогого ОФ ЛБ.

Для вибору оптимального варіанту необхідно розробити показники, що дозволяють оцінювати повні експлуатаційні витрати з урахуванням основних характеристик процесу ТОiP, достовірності КР ВСК, періодичності КР, тривалості відновлення ЛБ, структури та обсягу ОФ. Причому, ці показники повинні враховувати особливості післягарантійного періоду експлуатації ПС. Крім того, вартісні показники повинні враховувати різночасовість капітальних вкладень, оскільки ОФ і НАСК можуть закуповуватися як разом з ПС, так і в період його експлуатації.

Сучасні НАСК будуються за модульним принципом з різною конфігурацією вимірювальних засобів. З точки зору структурної побудови можливі такі варіанти: варіант розосередженого НАСК, що складається з кількох локальних станцій контролю, профільованих за типом контрольованого обладнання; варіант зосередженої НАСК (універсальна одномісна НАСК).

Перевагою розосередженої НАСК є порівняно більш висока продуктивність і надійність. Така НАСК може одночасно контролювати кількість блоків, яка дорівнює кількості локальних станцій контролю. При відмові однієї станції контролю решта продовжують працювати. Крім того, деякі з відмов локальних станцій контролю можуть бути парировані за рахунок використання однотипного обладнання інших станцій контролю. Недоліком розосередженою НАСК є відносно висока вартість.

Універсальна НАСК в будь-який момент часу може контролювати тільки один ЛБ. Така система має значно меншу продуктивністю. У випадку, якщо необхідна продуктивність виявиться більшою, ніж та, яку може забезпечити одномісна НАСК, виникне черга на контроль з ЛБ різного типу. Це може призвести до необхідності збільшення обсягу обмінного фонду і до простою ПС у разі відсутності запасних ЛБ в обмінному фонді.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Таким чином, незважаючи на можливо меншу вартість одномісна НАСК може виявитися менш ефективною, ніж розосереджена. Наслідки відмови одномісної НАСК є порівняно більш важкими, ніж для розподіленої, так як на протязі часу усунення причин відмови повністю припиняється процес контролю. Тому важливим є завдання вибору оптимальної структури НАСК для конкретних умов авіакомпанії. Проте в даний час відсутнє методичне забезпечення для оцінки ефективності використання НАСК з різною структурою побудови.

Ефективність експлуатації РЕНС значною мірою визначається умовами формування і обсягом обмінного фонду. Збільшення обсягу запасних виробів дозволяє забезпечувати високий рівень регулярності польотів, але з іншого боку це тягне за собою великі витрати. При малій кількості запасних виробів в обмінному фонді витрати знижуються, але ризик дефіциту зростає, що призводить до простоїв ПС і порушення регулярності польотів, а отже, до фінансових втрат. Вирішення цієї суперечності може бути досягнуто шляхом мінімізації загальних витрат, що включають втрати через простої ПС і витрат на придбання необхідної кількості запасних виробів.

Список використаних джерел:

1. Airline manufacturer maintenance program planning document: MSG-3. / ed. by Air Transport Association of America. Maintenance Steering Group – 3 Task Force. 2nd ed. Washington, DC : Air Transport Association of America, 1993.
2. Pham H., Wang H. Reliability and Optimal Maintenance. Springer, 2006.
3. Gertsbakh I. B. Reliability theory: With applications to preventive maintenance. Berlin : Springer, 2000. 219 p.
4. Pham H., Wang H. Imperfect maintenance. European Journal of Operational Research. 1996. Vol. 94, no. 3. P. 425–438. URL: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(96\)00099-9](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(96)00099-9)
5. Stochastic Models in Reliability and Maintenance / ed. by S. Osaki. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2002.
6. Kumar U. D. Reliability, Maintenance and Logistic Support: – A Life Cycle Approach. Boston, MA : Springer US, 2000. 490 p.

References:

1. Airline/manufacturer maintenance program planning document: MSG-3. / ed. by Air Transport Association of America. Maintenance Steering Group – 3 Task Force. 2nd ed. Washington, DC : Air Transport Association of America, 1993.
2. Pham H., Wang H. Reliability and Optimal Maintenance. Springer, 2006.
3. Gertsbakh I. B. Reliability theory: With applications to preventive maintenance. Berlin : Springer, 2000. 219 p.
4. Pham H., Wang H. Imperfect maintenance. European Journal of Operational Research. 1996. Vol. 94, no. 3. P. 425–438. URL: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(96\)00099-9](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(96)00099-9)
5. Stochastic Models in Reliability and Maintenance / ed. by S. Osaki. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2002.
6. Kumar U. D. (2000) Reliability, Maintenance and Logistic Support: – A Life Cycle Approach. Boston, MA : Springer US, 490 p.

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

УДК 623.546

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-1-67.14>

Бондаренко С. В., кандидат технічних наук, доцент,
докторант штатний науково-організаційного відділу
Національної академії сухопутних військ
ORCID: 0000-0002-9084-6362

Косовцов Ю. М., кандидат фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник наукового центру
Сухопутних військ
Національної академії сухопутних військ
ORCID: 0000-0001-8047-1424

Грабчак З. М., доктор філософії,
науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
(розвитку польової та навчально-тренувальної бази ВНЗ
Сухопутних військ) факультету бойового застосування військ
Національної академії сухопутних військ
ORCID: 0000-0002-1259-6871

ОЦІНКА ВПЛИВУ АЕРОДИНАМІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ СИЛИ ЛОБОВОГО ОПОРУ СНАРЯДА НА ДАЛЬНІСТЬ ЙОГО ПОЛЬОТУ

Важливою складовою вектора аеродинамічної сили, що діє на снаряд, є сила лобового опору, яка має напрямок протилежний напрямку швидкості руху снаряда та суттєво впливає на динаміку його польоту. Практичним додатком теоретичних положень дослідження сили лобового опору, є використання їх для розрахунку траєкторій польоту снарядів і складання Таблиць стрільби артилерійських систем, відтак за міру точності її визначення, прийнята точність розрахунку табличної дальності. Аналіз вимог до точності розрахунку табличної дальності артилерійських систем свідчить, що величина середньої похибки на малих дальностях стрільби має значення порядку 0.50 % дальності польоту, на великих дальностях – (0.25-0.30)%. Експериментальне дослідження сили лобового опору зводиться до дослідження її аеродинамічних коефіцієнтів при різних значеннях чисел Маха. Крім того, важливо оцінити вплив на дальність польоту снаряда як лінійної, так і нелінійної складової аеродинамічного коефіцієнту сили лобового опору. Для оцінки впливу аеродинамічних коефіцієнтів на дальність польоту снаряда використаний метод різниць, який полягає в розв'язанні системи диференціальних рівнянь просторового руху снаряда так, щоб змінюючи значення кожної зі складових аеродинамічних коефіцієнтів, отримувати зміну величини дальності польоту. Проведене чисельне моделювання залежностей похибки дальності польоту 155-мм ОФ снарядів – Assegai M2000 та ERFB/BB від зміни величини їх аеродинамічних коефіцієнтів на 1%. Показано, найбільшу похибку в дальності польоту снаряда вносить лінійний коефіцієнт сили лобового опору при стрільбі на максимальному заряді – 0.9% дальності стрільби, відповідно найменші, на мінімальному заряді – 0.13%. Крім того, результати моделювання засвідчили, що вплив квадратичного коефіцієнту сили лобового опору має на 1-2 порядки менші значення в порівнянні з лінійним.

Ключові слова: артилерійський снаряд, сила лобового опору, аеродинамічний коефіцієнт, дальність стрільби, відносна похибка, метод різниць.

Bondarenko S. V., Kosovtsov Yu. M., Hrabchak Z. M. Evaluation of the influence of the aerodynamic coefficients of the frontal resistance force of the projectile on its flight distance

An urgent and important issue in the creation and development of promising anti-artillery systems and ammunition for them is the introduction of automated control systems with the wide use of ballistic computers, which include new approaches to ballistic and meteorological data preparation for firing, the mathematical basis of which are ballistic integrating algorithms for calculating installations for firing based on solving the inverse problem of external ballistics. An important component of the aerodynamic force vector acting on the projectile is the drag force, which has a direction opposite to the direction of the projectile's velocity and significantly affects the dynamics of its flight. The practical application of the theoretical provisions of the research

of frontal resistance is their use for calculating projectiles flight trajectories and compiling the firing tables of artillery systems, therefore, the accuracy of the tabular range calculation is taken as a measure of the accuracy of its determination. The analysis of requirements for the accuracy of calculation of the tabular range of artillery systems shows that the value of the median error at short firing ranges has a value of the order 0.50 % of the flight range, at long ranges – (0.25 ÷ 0.30)%. The experimental study of the drag force is reduced to the study of its aerodynamic coefficients at different values of Mach numbers. In addition, it is important to evaluate the influence of both the linear and non-linear components of the aerodynamic drag force coefficient on the range of the projectile. To evaluate the influence of aerodynamic coefficients on the flight range of the projectile, the difference method was used, which consists in solving the system of differential equations of spatial motion of a projectile so that, by changing the value of each of the component aerodynamic coefficients, a change in the value of the flight range is obtained. Numerical modeling of the dependence of the flight range error of 155-mm HE projectiles – Assegai M2000 and ERFB/BB on a change in the value of their aerodynamic coefficients by 1%. It is shown that the largest error in the flight range of the projectile is introduced by the linear coefficient of the force of frontal resistance when firing at the maximum charge – 0.9% of the firing range, respectively, the smallest, at the minimum charge – 0.13%. In addition, the simulation results showed that the influence of the quadratic coefficient of the frontal drag force has 1-2 orders of magnitude smaller values compared to the linear one.

Key words: artillery projectile, drag force, aerodynamic coefficient, firing range, relative error, difference method.

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури. Основною аеродинамічною характеристикою, яка визначає рух снаряда в просторі є сила опору повітря. В загальному випадку вектор сили опору повітря має дотичну та нормальну складові, тобто складові за напрямом дотичної та нормалі до траєкторії в площині, яка проходить через дотичну до траєкторії та віссю снаряда, та мають назву – сила лобового опору DF (Drag Force) та підймальна сила LF (Lift Force) снаряда [1-2]. Тут і далі по тексту статті приймемо – позначення аеродинамічних сил, їх аналітичні вирази, відповідно до STANAG 4355 (Edition 3) [3], а також для позначки векторів будемо використовувати напівжирні букви, відповідно для скалярів – стандартні букви.

Однією з найбільш вагомих складових сили опору повітря є сила лобового опору снаряда. Відмітимо, що сила лобового опору зумовлена рядом складних фізичних явищ та визначається його формою і орієнтацією, характером обтікання, типом прикордонного шару і його взаємодією з ударними хвилями, інтенсивністю і формою хвиль, швидкістю і висотою його польоту, кутом нутації та складається з трьох різних за своєю природою складових – донного опору, опору тертя та хвильового опору [1, 4]. Пропорції між цими складовими мають тенденцію змінюватися на різних швидкостях польоту снаряда (табл. 1).

Таблиця 1

Співвідношення між складовими аеродинамічного опору повітря

Швидкість снаряда	Аеродинамічний опір		
	тертя, %	донний, %	хвильовий, %
$V < a^*$	20-30	70-80	–
$V > a^*$	10-15	35-40	50

Примітка: a^* – швидкість звуку в повітрі.

Так при дозвукових швидкостях сила донного опору може досягати до (70-80)%, сила тертя – (20-30)%, а хвильовий опір – близько нуля. На надзвукових швидкостях співвідношення між ними змінюються кардинально.

Важливішим практичним додатком теоретичних положень визначення сили лобового опору повітря, є використання їх для розрахунку траєкторій польоту снарядів і складання Таблиць стрільби, істотно за міру точності їх визначення, прийняти точність визначення табличної дальності, тобто похибка визначення сили лобового опору повітря не повинна перевищувати похибку визначення табличної дальності [5, 6]. На сьогодні експериментальне дослідження сили лобового опору снаряда зводиться до дослідження її аеродинамічного коефіцієнту при різних співвідношеннях чисел M та кута нутації α_e [1-2, 4]. Важливо відмітити, що при дослідженнях аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору розкладають в ряд Тейлора за кутом нутації і утримують лише лінійний член розкладу, що дозволяє суттєво спростити математичні моделі польоту снаряда. Водночас, це призводить до значного погіршення точності подання сили лобового опору та не гарантує забезпечення потрібної точності розрахунку траєкторій польоту снаряда [1, 7, 8].

Проведений аналіз оцінки точності визначення сумарної середньої похибки визначення табличної дальності за значеннями Таблиць стрільби та за результатами експериментальних даних стрільб з 122-мм снаряда ОФ-462 гаубиці Д-30 та 152-мм снаряда ОФ-540Ж, самохідної гаубиці 2С3М показав що, величина сумарної середньої похибки на малих дальностях стрільби має значення порядку 0.5% дальності польоту, на великих дальностях потрібна точність збільшується на (40-50)% [5]. В цьому напрямку актуальним та важливим дослідженням є оцінка впливу величини аеродинамічного коефіцієнту сили лобового опору снаряда, як лінійної, так і нелінійної його складової, на дальність польоту снаряда, що в свою чергу надасть змогу висунути вимоги до потрібної точності їх розрахунку.

Таким чином, **метою статті** є оцінка впливу складових аеродинамічного коефіцієнту сили лобового опору снаряда на дальність стрільби артилерійських систем.

Виклад основного матеріалу. Загальний вираз для сили лобового опору DF у векторній формі, має вид [1, 3]:

$$DF = -\frac{1}{8} \pi \rho d^2 C_D \mathbf{v} \mathbf{v}, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря; d – діаметр (калібр) снаряда; \mathbf{v} – вектор швидкості польоту снаряда; C_D – аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору.

Вектор швидкості снаряда відносно повітря \mathbf{v} , визначається компонентами (проекції на вісі прямокутної системи координат) (рис. 1):

$$\mathbf{v} = [v_1, v_2, v_3]; \quad v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}. \quad (2)$$

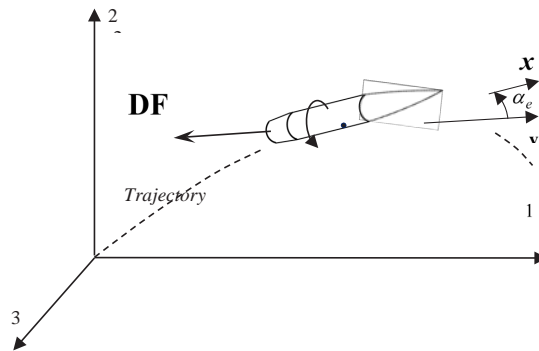


Рис. 1. Дія сили лобового опору

Джерело: розроблено авторами

Запишемо значення аеродинамічного коефіцієнту C_D та прийнемо, що кут α_e малий. Для цього, розкладемо C_D в ряд Тейлора за степенями кута α_e навколо значення $\alpha_e \approx 0$. Оскільки DF є функція парна, тобто при зміні кута α_e не змінюється, то C_D буде розкладатися за парними степенями кута α_e [8]:

$$C_D = (C_D)_{\alpha_e \approx 0} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 C_D}{\partial \alpha_e^2} \right)_{\alpha_e \approx 0} \cdot \alpha_e^2 + \dots \quad (3)$$

Відповідно до (3), враховуючи перші дві складові його суми, надамо аеродинамічний коефіцієнт сили лобового опору у вигляді

$$C_D = C_{D0} + C_{D_{\alpha^2}} \alpha_e^2, \quad (4)$$

де C_{D0} – лінійний коефіцієнт сили лобового опору; $C_{D_{\alpha^2}}$ – квадратичний коефіцієнт сили лобового опору.

Для оцінки впливу похибок визначення складових аеродинамічного коефіцієнту (4) на дальність польоту снаряда використаємо метод різниць, який полягає в розв'язанні системи диференціальних рівнянь просторового руху снаряда так, щоб змінюючи значення кожної зі складових аеродинамічних коефіцієнтів снаряда, отримувати зміну величини дальності його польоту [2, 9]. Таким чином, можна отримати залежність похибки дальності від зміни величини аеродинамічних коефіцієнтів снаряда.

Прийнемо, що дійсним (збуреним) умовам стрільби відповідають величини

$$C_{D0}, C_{D_{\alpha^2}}, a_1, a_2, \dots, a_i, \quad (5)$$

розрахунковим (незбуреним) умовам – величини

$$C_{D0N}, C_{D_{\alpha^2N}}, a_{1N}, a_{2N}, \dots, a_{iN}, \quad (6)$$

де a_i – параметри, які характеризують балістичні, метеорологічні та геофізичні умови стрільби.

Повна горизонтальна дальність дійсної траєкторії розглядається як функція величин (5), а повна горизонтальна дальність розрахункової траєкторії – функція величин (6).

Послідовність оцінки впливу складових аеродинамічного коефіцієнту сили лобового опору снаряда на дальність його польоту наступна:

а) система диференціальних рівнянь, яка описує просторовий рух снаряда при умовах стрільби, де змінюється значення одного з аеродинамічних коефіцієнтів, решта залишається незмінними, інтегрується чисельним методом, в процесі рішення якої визначається повна горизонтальна дальність

$$D = D(C_{D0}, C_{D_{a_2}}, a_1, a_2, \dots, a_i); \quad (7)$$

б) інтегруються рівняння, які характеризують рух снаряда за розрахунковими (незбуреними) умовами та визначається повна горизонтальна дальність

$$D_N = D(C_{D0N}, C_{D_{a_2N}}, a_{1N}, a_{2N}, \dots, a_{iN}); \quad (8)$$

в) розузгодження (похибка) в значеннях повної горизонтальної дальності отримують як

$$\delta D = D(C_{D0}, C_{D_{a_2}}, a_1, a_2, \dots, a_i) - D_N(C_{D0N}, C_{D_{a_2N}}, a_{1N}, a_{2N}, \dots, a_{iN}). \quad (9)$$

Для подальших розрахунків використана математична модель просторового руху 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000, одного з сімейства перспективних артилерійських снарядів південноафриканської фірми Denel Naschem – Assegai (Спис) M200X Series 155-mm Projectiles. Основні інерційно-вагові характеристики 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Інерційно-вагові характеристики 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000

Діаметр (калібр), d	0.155 м
Маса, m	43.7 кг
Відстань від ГЧ снаряда до центру сили тяжіння, x_{CG}	0.563 м
Полярний момент інерції, I_x	0.1444 кг м ²
Екваторіальний момент інерції, I_y	1.7323 кг м ²

Джерело: [9]

Математична модель просторового руху доповнена аеродинамічними коефіцієнтами сил (моментів) 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 та реалізована програмно на основі стандартної підпрограми чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, написаною в програмному середовищі Maple [9-10].

Адекватність моделі підтверджується рішенням прямої балістичної задачі для 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 при заданих табличних початкових умовах та порівняння основних параметрів польоту, що розраховані за математичною моделлю та параметрів польоту цього снаряда, що розраховані Ballistic Research Laboratories (Балістичної дослідної лабораторії США) та прийняті за еталонні.

Основними початковими умовами моделювання процесу польоту 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 прийнято:

$$\theta_0 = 0; \phi_0 = 1000 \text{ mil} = 0.982 \text{ рад}; g_1 = 0; g_2 = -9.80665 \text{ м / с}^2; g_3 = 0, \quad (10)$$

де θ_0 , ϕ_0 – кути відхилення повздожньої вісі ствола гармати відповідно в горизонтальній та вертикальній площинах; g_1 , g_2 , g_3 – складові прискорення сили тяжіння.

Для більш детальної оцінки впливу складових аеродинамічного коефіцієнту C_D на дальність польоту снаряда, чисельний експеримент проведений для широкого спектру його швидкостей, від мінімальної до максимальної:

$$v_0 \in \{308; 465; 545; 673; 811; 944\} \text{ м / с}. \quad (11)$$

На рис. 2 представлені результати чисельного моделювання математичної моделі польоту 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 у вигляді сімейства залежностей відносної похибки в дальності його польоту від початкової швидкості (при постійному куті кидання), за умови зміни аеродинамічного коефіцієнту на 1%. Найбільшу похибку в дальності польоту снаряда вносить лінійний коефіцієнт лобового опору C_{D0} (рис. 2 а). В свою чергу, найбільші похибки в дальності польоту снаряда, спостерігаються при стрільбі на максимальному заряді (швидкість польоту снаряда 944 м/с), відповідно найменші – на мінімальному заряді (швидкість польоту снаряда 308 м/с). Так, на максимальному заряді зміна аеродинамічного коефіцієнта сили лобового опору C_{D0} призводить до похибки в дальності польоту снаряда, яка досягає 0.9%D, відповідно на мінімальному заряді – 0.13%D.

Вплив квадратичного коефіцієнту лобового опору проявляється значно в меншій формі, найбільше значення похибки, яку він вносить в дальність польоту снаряда, спостерігаються на максимальному заряді – 0.12%D (рис. 2 б). При зменшенні швидкості польоту снаряда похибки в дальності зменшуються, так на швидкості 811 м/с, похибка складає 0.016%D, на швидкості 465 м/с – 0.006%D.

Результати проведеного імітаційного моделювання стрільби 155-мм ОФ снаряда ERFB/BB (Extended Range Full Bore) з початковими умовами (10, 11), також підтверджують вищезазначені висновки (рис. 3). З наведених графіків видно, максимальні значення похибки в дальності відбуваються на максимальному заряді, зі зменшенням швидкості польоту снаряда похибка суттєво зменшується.

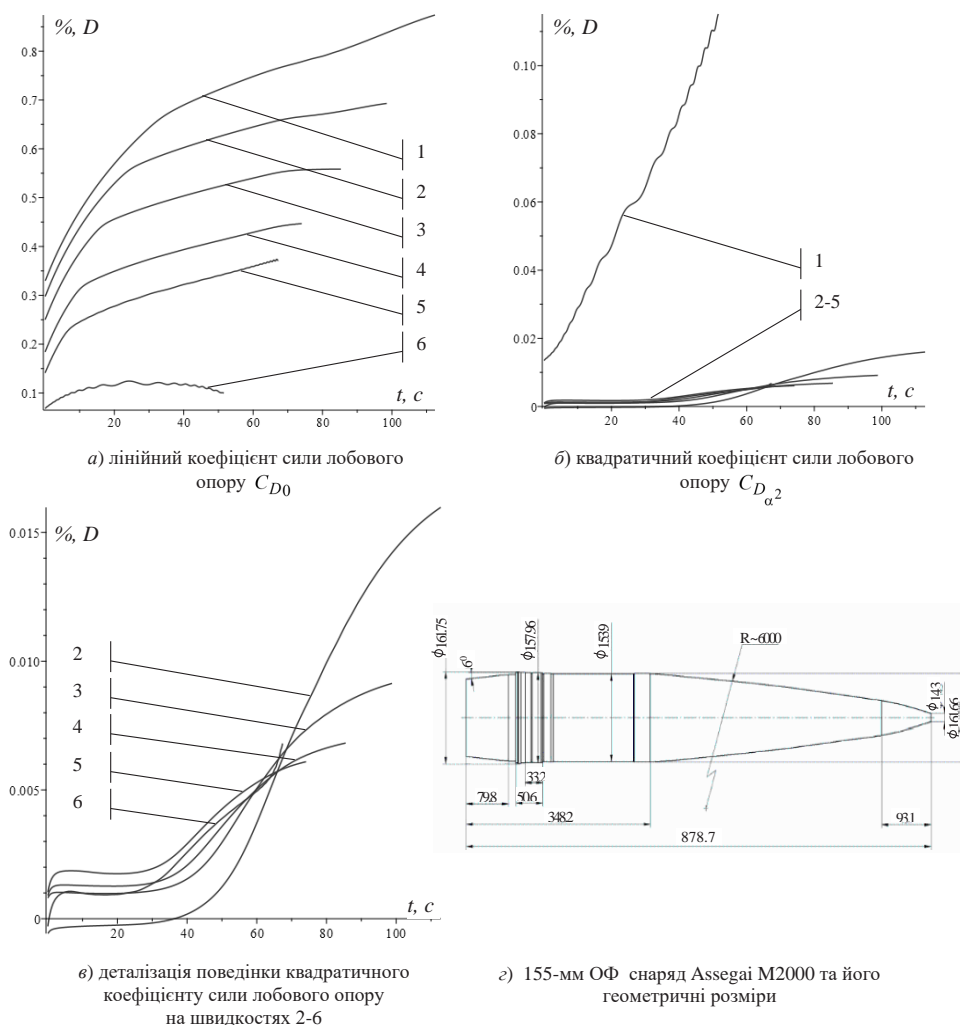


Рис. 2. Відносна похибка в дальності польоту снаряда від зміни величини аеродинамічних коефіцієнтів C_{D0} , $C_{D_{\alpha^2}}$ 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000
 1 – 944 м/с; 2 – 811 м/с; 3 – 673 м/с; 4 – 545 м/с; 5 – 465 м/с; 6 – 308 м/с

Джерело: (а-в) розроблено авторами, (г) [9]

Величина похибки в дальності 155-мм ОФ снаряда ERFB/BB декілька менша за похибку в дальності 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000, що обумовлено покращеною аеродинамічною компоновкою снаряда ERFB/BB. Так, звичайні 155-мм снаряди мають балістичний коефіцієнт (0.47-0.52), для снарядів серії ERFB це значення значно нижче та знаходиться в межах (0.28-0.38).

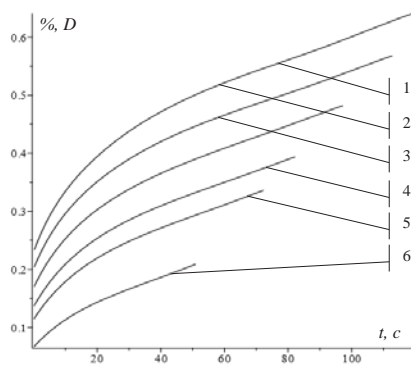


Рис. 3. Відносна похибка в дальності польоту снаряда від зміни величини аеродинамічних коефіцієнтів C_{D0} 155-мм ОФ снаряда ERFB/BB

Джерело: розроблено авторами

Висновки. На сьогоднішній час при розрахунках траєкторій польоту снарядів актуальним питанням є визначення та представлення сили лобового опору в системі диференціальних рівнянь просторового руху снарядів.

У статті представлені результати чисельного моделювання залежностей відносної похибки дальності польоту 155-мм ОФ снаряда Assegai M2000 та 155-мм ОФ снаряда ERFB/BB від зміни величини їх аеродинамічних коефіцієнтів сили лобового опору.

Показано, найбільші похибки в дальності польоту снаряда вносить лінійний коефіцієнт лобового опору C_{D0} , при стрільбі на максимальному заряді – $(0.33-0.87)\%D$, відповідно найменші $(0.02-0.13)\%D$ – на мінімальному заряді. Крім того, результати моделювання засвідчили, що вплив квадратичного коефіцієнту сили лобового опору має на 1-2 порядки менші значення в порівнянні з лінійним.

Подальшим напрямком досліджень є розробка методики оцінки потрібної точності визначення аеродинамічних коефіцієнтів сили лобового опору за різних умов стрільби артилерійських систем.

Список використаних джерел:

1. McCoy R. L. *Modern Exterior Ballistics*. Atglen, PA. : Schiffer Military History, 2012. 328 p.
2. Carlucci D. E., Jacobson S. S. *Ballistics, theory and design of guns and ammunition* : book. London, New York : Taylor & Francis Group, 2007. 514 p.
3. STANAG 4355 (Edition 3), *The modified point mass and five degrees of freedom trajectory models*: NSA10454(2009)-JAIS/4355, dated 17 April 2009. 95 p. (NATO Standardization Agency).
4. Грабчак В.І., Бондаренко С.В. Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху снарядів. *Військ.-техн. зб. Львів* : АСВ. 2013. Вип. 2(9). С. 13-19. DOI:<https://doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.13-19>.
5. Грабчак В.І., Бондаренко С.В. Оцінка точності визначення середньої похибки розрахунку опорної дальності артилерійських стрільб. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Наук. журнал. К. : НУОУ. 2015. №1 (22). С. 50-54. DOI:[https://doi.org/10.33099/2311-7249/2015-0-1\(22\)-50-54.9.2013.13-19](https://doi.org/10.33099/2311-7249/2015-0-1(22)-50-54.9.2013.13-19).
6. Yu. N. Kosovtsov, V. I. Hrabchak. *The Inverse Problem of External Ballistics for Identification of Aerodynamic Coefficients of a Spin-stabilized Projectile Within the Modified Point-Mass Trajectory Model*. Наук.-техн. журнал. Київ : ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2021. № 1 (29). С. 28-35. DOI:[https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.1\(29\).28-35](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.1(29).28-35).
7. Майданюк В.А., Бондаренко С.В., Грабчак В.І. Аналітичні функції нелінійних параметрів польоту снаряда. *Зб. наук. праць. Одеса* : ВА (Одеса). 2023. Вип. 1 (19) 2023. С. 5-16. DOI:<https://doi.org/10.37129/2313-750.2023.19.5-16>.
8. Дубовик В. П., Юрик І. І. *Вища математика*. К. : А.С.К., 2006. 648 с.
9. Baranowski L. *Modeling, Identification and Numerical Study of the Flight Dynamics of Ballistic Objects for the Need of Field Artillery Fire Control Systems*. Military University of Technology, Warsaw, 2011. p. 258.
10. Kincaid D. *Numerical analysis*. Brooks : Cole Publishing Company. 1991. 690 p.

References:

1. McCoy R. L. (2012) *Modern Exterior Ballistics*. Atglen, PA. : Schiffer Military History, 328 p.
2. Carlucci D. E., Jacobson S. S. (2007) *Ballistics, theory and design of guns and ammunition* : book. London, New York : Taylor & Francis Group, 514 p.
3. STANAG 4355 (Edition 3), (2009). *The modified point mass and five degrees of freedom trajectory models*: NSA10454(2009)-JAIS/4355, dated 17 April 2009. 95 p. (NATO Standardization Agency).
4. Hrabchak V.I., Bondarenko S.V. (2013) Analysis of existing and promising methods of determining the force of air resistance of projectiles. *Vijsk.-tekhn. zb. Lviv : ASV. Vyp. 2(9). S. 13-19*.
5. Hrabchak V.I., Bondarenko S.V. (2014) Assessment of the accuracy of determining the median error of calculating the reference range of artillery fire. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony. (pp. 50-54). Kyiv*
6. Kosovtsov Yu. N., Hrabchak V. I. (2021) The Inverse Problem of External Ballistics for Identification of Aerodynamic Coefficients of a Spin-stabilized Projectile Within the Modified Point-Mass Trajectory Model. *Nauk.-tekhn. zhurnal. Kyiv : TsNDI OVT ZSU.. № 1 (29). S. 28-35*.
7. Maidaniuk V.A., Hrabchak V.I., Bondarenko S.V. Analytical functions of nonlinear projectile flight parameters. *Zb. nauk. prats. Odesa : VA (Odesa). 2023. Vyp. 1 (19) 2023. S. 5-16*.
8. Dubovik V. P., Yuryk I. I. (2006) Higher mathematics. *Kyiv: A.S.K., 648 s*.
9. Baranowski L. (2011) Modeling, Identification and Numerical Study of the Flight Dynamics of Ballistic Objects for the Need of Field Artillery Fire Control Systems. *Military University of Technology, Warsaw, p. 258*.
10. Kincaid D. (1991) Numerical analysis. Brooks: *Cole Publishing Company. 690 p*.

Шановні автори!

До наукового журналу «Системи та технології» приймаються рукописи наукових праць, які ніколи раніше не публікувалися і не призначені для одночасної публікації в інших виданнях.

Просимо враховувати вимоги до статей і порядку їх подання до публікації. Матеріали, оформлені з відхиленням від зазначених нижче вимог щодо порядку подання та оформлення наукової статті, редколегія не розглядає.

Приймаються статті, написані українською, англійською мовами.

Рукопис статті повинен мати такі елементи:

1 – УДК (вирівнювання по лівому краю). Визначити код – див. <http://www.udcsummary.info/php/index.php?lang=uk>;
2 – ініціали та прізвище автора (шрифт – напівжирний), науковий ступінь і вчене звання, посада та місце роботи (повна назва структурного підрозділу), ORCID (шрифт – прямий);

Кожен наступний співавтор з нового рядка.

3 – назва наукової статті (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний);

4 – анотація та ключові слова українською (середній обсяг анотації – не менше 1800 друкованих знаків);

5 – ініціали, прізвище автора, назву статті та анотацію англійською мовою (2000–2500 друкованих знаків), ключові слова англійською;

6 – текст наукової статті із зазначенням наступних елементів:

Постановка проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Мета статті.

Виклад основного матеріалу.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

7 – Список використаних джерел у порядку згадування або у алфавітному порядку (подається мовою оригіналу та оформлюється за міждержавним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання»).

Посилання на літературні джерела в тексті наукової статті слід надавати в квадратних дужках [1, с. 56; 7, с. 45–51].

8 – References (транслітерація) (оформлюється у романському алфавіті в стилі APA Style Reference Citations відповідно до **Міжнародного стандарту APA**).

Зазначені елементи виділяються в рукописі напівжирним шрифтом.

Постановка проблеми виконується у загальному вигляді та наголошується на її зв'язку із важливими науковими чи практичними завданнями. Під час виконання аналізу останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор та в яких розглядається досліджувана проблема і підходи до її розв'язання, необхідно виділити невирішені частини загальної проблеми, яку досліджують у статті. Виклад основного матеріалу дослідження виконується з повним обґрунтуванням здобутих наукових результатів.

Текст статті має бути набраний в текстовому редакторі Microsoft Word. Тип файлу – текст у форматі RTF або DOC(X).

Обсяг статті – 12–20 сторінок (Основна частина). Шрифт – Times New Roman, кегель – 14, міжрядковий інтервал – 1,5, поля – усі 2 см, абзац – 1 см. Форматування абзаців за допомогою інтервалів (пробілів) чи табуляції неприпустимо. У тексті необхідно використовувати лапки лише такого зразка: « ». У тексті заборонені переноси. Нумерація сторінок не ведеться.

Рисунки, схеми, таблиці, формули слід наводити у вигляді, що дозволяє їх коригування. Кількість таблиць, формул та ілюстрацій має бути мінімальною та доречною. Рисунки і таблиці на альбомних сторінках не приймаються.

Розміри таблиць та ілюстрацій не повинні перевищувати розміри друкованої сторінки збірника. Рисунки, графіки й таблиці повинні бути пронумеровані та мати назву (допускається шрифт тексту – Times New Roman, розмір – 12 пт). Найбільш складні рисунки пропонуються набирати, застосовуючи графічний редактор Microsoft Visio.

Під кожною табл. та рис. має бути зазначено джерело (Джерело: ...). Таблиці, графіки та рисунки потрібно подавати у чорно-білому кольорі. Ілюстративні матеріали потрібно розміщувати після посилання на них у тексті. Рисунки додатково подають окремих файлом Microsoft Excel. Одночасне використання таблиць і графіків для пояснення одних і тих самих положень не рекомендується.

Математичні формули мають бути ретельно перевірені та чітко надруковані. Формули пропонуються набирати, застосовуючи влаштований у MS Word редактор формул MathType 4.0 (6.0) Equation, або Microsoft Equation 3.0 з наступними розмірами символів: звичайний – 14 пт, крупний індекс – 10 пт, мілкий індекс – 7 пт, крупний символ – 18 пт, мілкий символ – 12 пт. Формули необхідно виділяти одним рядком від решти тексту, центрувати, нумерувати в круглих дужках, вирівняти до правої межі тексту.

Спеціальності, за якими можуть бути подані статті

113 – Прикладна математика (категорія Б)

122 – Комп'ютерні науки (категорія Б)

123 – Комп'ютерна інженерія (категорія Б)

125 – Кібербезпека та захист інформації (категорія Б)

275 – Транспортні технології (за видами) (категорія Б)

172 – Телекомунікації та радіотехніка (категорія Б)

255 – Озброєння та військова техніка (категорія Б)

241 – Готельно-ресторанна справа

Передрук матеріалів дозволяється лише за письмової згоди редакції.

Матеріали, що публікуються, відображають позицію автора, яка може не збігатися з поглядом редакції.

За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор.