

**О. В. БОНДАРЕНКО, О. В. УСТИНЕНКО, Р. В. ПРОТАСОВ, І. Є. КЛОЧКОВ, Б. С. ВОРОНЦОВ,  
М. В. МАТЮШЕНКО, П. М. КАЛІНІН**

## **ОГЛЯД СУЧАСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ ТА ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ. СТРАТЕГІЇ, МОЖЛИВОСТІ (ОГЛЯДОВА СТАТТЯ)**

Сучасні тенденції оптимально-раціонального проєктування технічних об'єктів перетинають велику кількість напрямів їх реалізації. Одним із цікавих та перспективних напрямів є генетичні та еволюційні алгоритми (ГА та ЕА). Автори просувають використання ГА та ЕА у якості апарату розв'язання задач оптимально-раціонального проєктування складних механічних систем. Описано актуальність освітлення сучасних методів, підходів та стратегій реалізації ГА та ЕА, а також розглянуто їх прикладну реалізацію, що дало змогу виявити цікаві напрями досліджень, які з подальшою адаптацією чи модифікаціями можуть бути використані для розв'язання задач оптимально-раціонального проєктування редукторів, коробок передач та трансмісій. Освітлено основні загальні напрями літератури стосовно ГА та ЕА, а також на прикладах висвітлено практичне використання ГА та ЕА в: технічній та технологічній діяльності, фізиці, будівництві, водних системах, нанотехнологіях, аналітичному та імітаційному моделюванні, електричних та електронних системах, моделюванні штучного інтелекту та нейронних мережах, інформаційних технологіях, економічній теорії, управлінні та менеджменті, маркетингу, соціології, біології та медицині. Це дало змогу зрозуміти сучасні наукові тенденції стосовно цього питання, визначити переваги та недоліки існуючих напрямів і підходів та допомогло обрати вектор подальшої наукової думки, визначитися з цікавими підходами, стратегіями та методами. Зважаючи на певні особливості ЕА, автори віддають перевагу саме їм. А з огляду стратегій, то перспективними є гібридизація з іншими методами, максимальна насиченість всіх етапів «випадковістю» та можливість навчання (організації пам'яті) алгоритму подібно до нейронних мереж.

**Ключові слова:** оптимальне проєктування, напрями дослідження, генетичні алгоритми, еволюційні алгоритми

**O. BONDARENKO, O. USTYENKO, R. PROTASOV, I. KLOCHKOV,  
B. VORONTSOV, M. MATYUSHENKO, P. KALININ**

## **REVIEW OF MODERN USE OF GENETIC AND EVOLUTIONARY ALGORITHMS. STRATEGIES, POSSIBILITIES (REVIEW ARTICLE)**

Modern trends in the optimal and rational design of technical objects cross a large number of directions of their implementation. One of the interesting and promising directions is genetic and evolutionary algorithms (GA and EA). Authors promote the use of GA and EA as a tool for solving problems of optimal and rational design of complex mechanical systems. The relevance of highlighting modern methods, approaches and strategies for the implementation of GA and EA is described, as well as consideration of their applied implementation, which makes it possible to identify interesting directions of research that, with further adaptation or modifications, can be used to solve the problems of optimal and rational design of gearboxes, boxes gears and transmissions. The main general directions of the literature on GA and EA are highlighted, as well as the practical use of GA and EA in: technical and technological activities, physics, construction, water systems, nanotechnologies, analytical and simulation modeling, electrical and electronic systems, modeling of artificial intelligence and neural networks, information technologies, economic theory, administration and management, marketing, sociology, biology and medicine. This made it possible to understand the course of scientific thought on this issue, to determine the advantages and disadvantages of existing directions and approaches, and helped to choose the vector of further scientific thought, to decide on interesting approaches, strategies and methods. Considering certain features of EA, the authors prefer them. And in terms of strategies, hybridization with other methods, maximum saturation of all stages with "randomness" and the possibility of learning (memory organization) of the algorithm similar to neural networks are promising.

**Keywords:** optimal design, research directions, genetic algorithms, evolutionary algorithms

**Вступ. Актуальність задачі.** Сучасні тенденції оптимально-раціонального проєктування технічних об'єктів перетинають велику кількість напрямів їх реалізації. Одним із таких цікавих та перспективних напрямів є *генетичні та еволюційні алгоритми* (ГА та ЕА). Ці алгоритми поєднані у групу, бо мають спільну ідеологію та методології. Зазвичай, під ГА мають на увазі евристичні процедури розв'язання задач оптимізації та моделювання шляхом випадкових дій та процесів, що є подібними механізмам відбору та наслідування у природі. У механіці ГА використовують для розв'язання багатопараметричних задач при проєктуванні. У свою чергу, для ЕА можна дати таке ж саме визначення і вказати таку ж мету у механіці. Для ЕА притаманні ті ж самі терміни та оператори, що і для ГА. Але все ж певні відмінності між цими алгоритмами присутні. Зазвичай вказується, що в ЕА у наступні покоління передаються не всі особини, а лише такі, що задовольняють умовам існування – певним обмеженням, що висуваються проєктувальником.

Автори просувають використання ГА та ЕА у якості апарату розв'язання задач оптимально-раціонального проєктування складних механічних систем. Домінантними об'єктами для авторів є реду-

ктори, коробки передач та трансмісії. Здійснені спроби адаптації ГА та ЕА для раціонального проєктування вказаних об'єктів демонструють дуже якісні результати. Авторами прийнято рішення взяти вектор на поглиблення та розширення розрахункових моделей та розроблених алгоритмів. Але лімітованість доступних публікацій за тематикою змусили здійснити розгорнуті дослідження теорії ГА та ЕА, стратегій реалізації алгоритмів та їх практичного використання у майже всіх сферах людської наукової діяльності.

Таким чином, освітлення сучасних методів, підходів та стратегій реалізації ГА та ЕА, а також розгляд їх прикладної реалізації є актуальною задачею, що дасть змогу виявити цікаві авторам напрями досліджень, які з подальшою адаптацією чи модифікаціями можуть бути використані для розв'язання задач оптимально-раціонального проєктування редукторів, коробок передач та трансмісій.

**Основна частина.** Аналіз сучасних літературних джерел продемонстрував, що темі ГА та ЕА

© О. В. Бондаренко, О. В. Устиненко, Р. В. Протасов,  
І. Є. Клочков, Б. С. Воронцов, М. В. Матюшенко,  
П. М. Калінін, 2022

присвячено багато наукових робіт, які освітлюють широкий спектр від теоретичних основ, можливих варіантів та модифікацій до застосування у великому переліку напрямів людської діяльності.

*Теоретичні основи* ГА та ЕА, сучасні *світові тенденції та перспективи* розвитку освітлюють перелоді автори сучасності у своїх роботах [1–12].

Частина робіт, що присвячені теоретичним основам ГА та ЕА, освітлюють можливі *модифікації* [13], *гібридизації* [14, 15] та поєднання з іншими методами. Наприклад, ГА турнірного витіснення – з гаусовою мутацією [16], або ЕА – зі сферичним розподіленням [17].

Цікавим є розгляд практичного використання ГА та ЕА. По-перше, розглянемо використання вказаних алгоритмів у *технічній та технологічній* діяльності.

Автори роботи [18] наводять загальний огляд можливостей використання ГА та ЕА при розв'язанні інженерних задач. Автори надають перелік методик, що представлені у вигляді псевдокоду, який можна використовувати для легкої реалізації будь-якою мовою програмування. Вказується, що для ГА та ЕА треба пам'ятати про конкретні проблеми методик. Першою проблемою є передчасна конвергенція (популяція зближується до неоптимального рішення). Вказується, що ця проблема може бути вирішена шляхом вводу механізму, який забезпечить нижчу швидкість передачі генетичного матеріалу між особинами, наприклад, розбити популяцію на субпопуляції та періодично створювати міграції особин між ними. Друга проблема пов'язана з експлуатаційною властивістю ЕА. Рекомендовано запровадити спеціалізовані генетичні оператори, що гарантуватимуть високу різноманітність популяції на початку роботи алгоритму і низьку різноманітність популяції в кінці роботи алгоритму. Також автори освітлюють сучасні тенденції підходу. Першою сучасною тенденцією є гібридизація двох або більше алгоритмів для отримання кращих результатів.

Також багато дослідників працюють над модифікаціями ЕА для покращення їх обчислювальної продуктивності. Цікава область майбутніх досліджень в ЕА – меметичні алгоритми. Іншим напрямком є інтерактивні ЕА, що використовуються для підвищення ефективності ЕА в багатоцільовій оптимізації.

У роботі [19] вказано, що дослідження в області *фізики високих енергій* (ФВЕ) і ядерної фізики не можливі без використання великих обчислювальних потужностей та спеціального програмного забезпечення для обробки, моделювання і аналізу даних. Об'єднання класичної реалізації ЕА разом з методами машинного навчання без вчителя створює потужний підхід, який дає змогу ефективно оптимізувати продуктивність складного програмного забезпечення, такого як високопаралельні програмні продукти, для моделювання транспорту частинок у складних детекторах, що залежить від великої кількості корельованих параметрів. Автор провів аналіз програмного забезпечення, яке використовується для симуляції проходження елементарних частинок через матерію при обробці експериментів на Великому

андронному колайдері, зокрема, програмного пакету нового покоління GeantV. Аналіз дав змогу визначити головні показники, що впливають на продуктивність обчислень та можуть бути використані для стохастичної оптимізації продуктивності пакету симуляції. Автор запропонував новий генетичний оператор (НГК-оператор), який побудовано на основі методу нецентрованих головних компонент, і інтегрував його в типовий ГА. Результатом стало скорочення загального часу виконання симуляцій.

Автори наступної роботи [20] пропонують здійснювати структурну та конструктивну *оптимізацію будівлі* за критерієм зменшення споживання енергії. Автори надають перелік налаштувань параметрів та вибору операторів для ГА, який обрано як метод розв'язання задачі. Вказується, що існує потенціал для зменшення споживання енергії будівлі на 30–40%, але досягти цього потенціалу на практиці важко, оскільки будівлі є нелінійними системами, та їх енергоспоживання залежить від специфічних факторів, наприклад, погоди, орієнтації, поведінки мешканців тощо.

Представлені у [21] положення є розробкою моделі ГА, що застосовуються для аналізу, проектування та експлуатації *водних систем*, а саме розподілу води. Автори вказують на незаперечність, ефективність та переваги використання ГА та інших методів еволюційного проектування для оптимізації великих складних інженерних водних систем.

Робота [22] описує можливості використання ЕА при вирішенні дослідницьких проблем, які виникають при застосуванні когнітивного радіо, наприклад, спільного використання та мобільності спектру, проблеми оптимізації, навчання та класифікації. Основними напрямками поліпшення якості використання когнітивного радіо автори бачать покращення використання даних і продуктивності мережі, виявлення спектральних можливостей та вибір найкращого каналу доступу. Щоб оптимізувати переваги мережі, реалізовано модифікацію ГА, яка дала змогу забезпечити конвергенцію і уникнути запам'ятовування локального оптимуму порівняно із традиційним ГА шляхом випадкового вибору особин на кожній ітерації, які додаються до «старих» батьківських особин та приймають участь у створенні пар. Це дає змогу алгоритму сходитися до оптимального глобального розв'язку. Автори здійснюють порівняння із традиційним алгоритмом та доводять переваги запропонованого алгоритму у продуктивності та якості знаходження розв'язку.

Досить специфічна галузь застосування ГА наводиться у [23]. Автори запропонували нову процедуру для покращення ГА у прогнозуванні структур *наночастинок*. Стратегія будується на управлінні створенням нових особин шляхом оцінки ефективності операторів генерування. Випробування проводили на загальних прикладах кластерів із 26 та 55 атомів з енергією зв'язку, керованою емпіричним потенціалом Леннарда-Джонса. Автори вказують на переваги стратегії та підвищення загальної продуктивності метода.

Одними з об'єктів, де при конструктивному аналізі та проектуванні використовують ГА та ЕА, є

електричні та електронні системи. Наприклад, автори праці [24] висвітлюють можливості використання евристичних методів оптимізації, у тому числі ГА, алгоритму оптимізації мурашиної колонії, алгоритму методу рою частинок, та вказують на успішність їх використання для оптимізації роботи MicroGrid. У [25] для прискорення збіжності розв'язку задачі оптимізації MicroGrid був запропонований поліпшений ГА за рахунок його комбінації з іншими методами. Це дало змогу авторам мінімізувати вартість функціонування ізольованої MicroGrid та можливість одержувати максимальний прибуток при приєднанні до загальної мережі. В іншій роботі [26] описано багатоцільовий ГА для планування оптимального розміщення елементів розподіленої генерації та додаткових з'єднань системи між радіальними живлячими лініями для поліпшення надійності автономного функціонування MicroGrid. Більш того, у модель введено алгоритм самонавчання для зменшення часу комп'ютерних обчислень. Наступна робота, де якісно вказані переваги ГА при проектуванні [27], присвячена моделюванню системи, що складалася з вітрогенератора, фотобатарей, паливного елемента та мікротурбіни. У якості базових обмежень автори розглядають вартість використання обладнання та забезпечення графіка навантаження і зміни погодних умов при детерміновано обраному модельному ряді джерел та співвідношеннях установлених потужностей джерел. У роботі [28] запропонована оптимізаційна ЕА-стратегія управління роботою автономної електричної системи. Мета оптимізації у даному випадку була сфокусована на можливостях мінімізації повної вартості функціонування при мінімізації шкідливих викидів в атмосферу і припущенні, що залучені поновлювані джерела енергії використовуються максимально ефективно. Робота [29] висвітлює особливості ЕА-оптимізації обміну електроенергією між MicroGrid і загальною мережею.

У роботі [30] розглянуто проблему обґрунтування розвитку складних розподільних систем електропостачання, а саме – вибору раціональної конфігурації. Авторами запропоновано математичну модель розв'язання задачі оптимального розміщення декількох джерел живлення і закріплення за ними споживачів з урахуванням обмежень на місцевості. Авторами запропоновано модифікацію простого ГА, на основі якої реалізовано інформаційну систему. Також вказується про часові переваги використання ГА над методом повного перебору для таких задач. Робота підтверджена тестовими задачами, що базуються на реальних системах.

У [31] задача проектування топології бездротової сенсорної мережі оптимальної топології розглядається як задача покриття. Сформульовано цільову функцію, яка враховує додаткові обмеження, що забезпечують стійкість роботи мережі. Для розв'язання задачі проектування топології мережі використано ГА. У результаті обчислювального експерименту встановлено оптимальний розмір популяції, обрано методи виконання генетичних операцій, що дало змогу адаптувати генетичні оператори до вказаної задачі. Проведено обчислювальний ек-

сперимент, у ході якого було встановлено оптимальний розмір популяції, обрано зручні процедури схрещування та відбору. У якості критерію зупинки ГА обрано стагнацію результатів на ітераціях алгоритму.

Метою наступної роботи [32] є дослідження та розробка алгоритмів та програм для оптимізації режимів електроенергетичних систем, що дає змогу мінімізувати сумарні витрати на паліве. Для досягнення поставленої мети автор проводить порівняльне дослідження ЕА та методів нелінійного програмування. Вказується, що використання ЕА під час оптимізації режиму електричної системи дає змогу, на відміну від традиційних методів, враховувати параметри реальних витратних характеристик електростанцій, що мають розриви. Це дає можливість знизити вартість сумарного палива. Також автор вказує на часові переваги підходу та вільну маніпуляцію з дискретними значеннями змінних.

У роботі [33] наводяться дослідження підвищення якості розподілення електроенергії. У спробі вдосконалити систему для оптимального розподілу електроенергії, автори визначають розташування батарей конденсаторів за допомогою ГА. Як результат, автори вказують на покращення розподілення напруги, що відповідає стандарту IEEE. Також спостерігалось зменшення втрат на 40 % порівняно з базовим варіантом.

Іншого напрямку торкаються автори роботи [34]. Вони пропонують морфологічний аналіз каскадних надвисокочастотних транзисторних підсилювачів. Для процедури морфологічного синтезу розроблено пошуковий ГА, запропоновано систему кодування та декодування структури та параметрів надвисокочастотного підсилювача. На основі отриманих даних автори вказують, що для автоматизованого структурно-параметричного синтезу транзисторних підсилювачів використання запропонованого алгоритму дає змогу значно спростити процес проектування малошумних підсилювачів, залишаючи розробнику фактично тільки функції завдання вимог до структури та характеристик синтезованого пристрою, а також можливість контролю структури та номіналів елементів.

Однією з сучасних тенденцій є побудова універсальної *нейронної мережі*, що має на меті наблизити людину до створення штучного інтелекту, подібного до людського. Використання ГА та ЕА у методах *штучного інтелекту* та нейронних мережах вже стало невід'ємним елементом цих процесів [35, 36].

Робота [37] присвячена моделям ГА та їх комбінуванню для підвищення функціональних можливостей у системах штучного інтелекту. Авторами розглядають особливості навчання штучних нейронних мереж за допомогою паралельних ГА для прийняття рішень у системах штучного інтелекту. Авторами вказують на недосконалість класичних методик існуючих методів навчання штучних нейронних мереж та пропонують максимальне наближення до реалізації штучної інтелектуальної обробки інформації, яке можливе за допомогою комбінації різних видів ГА, які дають змогу враховувати еволюційні зміни даних та маневрувати в різних рівнях архітектури. Такий

підхід дає змогу проводити паралельні обробки даних та навчання нейронної мережі. Опосередковано цей підхід зменшує кількість циклів створення популяцій, при цьому не зменшуючи кількості особин.

Автори роботи [38] аналізують якість чотирьох методів оптимізації функцій (градієнтний метод, метод Нелдера-Міда, генетичний та алгоритм імітації відпалу) на вибірках різних розмірів і різних видах функціоналів якості моделей навчання. Вказується, що для негладких функціоналів зі зростанням обсягу об'єктів у вибірці кращі результати показав ГА.

Наступна робота [39] розкриває розвиток теоретичних основ та розробки нових еволюціональних нейронних мереж для вирішення проблеми підвищення якості інтелектуального аналізу і обробки інформації за наявності апріорної та поточної невизначеності. Для досягнення цієї мети автор розробив нові та удосконалив існуючі архітектури за допомогою еволюційного та коеволуційного підходів. Вказується, що було досягнуто усунення впливу перешкод при визначенні структур і параметрів нейромережових моделей, спрощення структури хромосоми та скорочено процес отримання моделі. Такий підхід дає змогу спростити архітектуру нейромережової моделі та підвищити її працездатність.

У роботі [40] автори удосконалюють використання ЕА у нейронних мережах шляхом введення авторського оператора схрещування. Автори вказують, що в еволюційних обчисленнях схрещування є відносно новим та менш дослідженим оператором. Вказується, що проблема схрещування для нейронних мереж базується на можливості генетичного кодування мереж різними способами. Автори пропонують використовувати стандартні методи схрещування, але з урахуванням особливостей особин. Надана модель для схрещування особин, яка враховує структуру особини та перевизначає оператор кросовера. Автори вказують, що їм вдалося отримати набагато менші мережі порівняно із використанням класичних операторів схрещування. Також вказується на покращену продуктивність процесу.

Одним із векторів використання штучного інтелекту є *робототехніка*. У статті [41] описані принципи побудови інтелектуальних гібридних систем мобільного робота. Автори проводять аналіз проблем, пов'язаних зі швидкістю інтелектуальних модулів у режимі реального часу, та пропонують розв'язувати задачу із застосуванням ГА і нечітких часових рядів. Вказується, що синтез систем автономного адаптивного управління є задачею великої розмірності, розв'язати яку аналітично на даному етапі не вдається, бо ряд характеристик можна отримати тільки в результаті спостереження за серією експериментів з моделювання поведінки системи. Із причини відсутності повної математичної моделі адаптивного управління, завдання синтезу необхідно розв'язувати методом підбору параметрів за допомогою ГА.

*Аналітичне та імітаційне моделювання складних систем* теж вже можливо асоціювати з ГА та ЕА [42].

Широко розповсюджено використання ГА та ЕА в широкому спектрі *інформаційних технологій*. Наприклад, обробка зображень за допомогою ГА та ЕА є популярною темою дослідницької роботи в

різних прикладних галузях науки, однією з яких є сегментація медичних, зокрема ультразвукових зображень [43]. Ультразвукова (УЗ) методика є найбільш поширеною та дає змогу діагностувати велику кількість небезпечних станів здоров'я людини. Розробка систем, що полегшують визначення розмірів та стадії атеросклеротичного ураження на підставі УЗ сканування, є популярною темою серед реалізацій обробки зображень. Автор пропонує синтез схеми сегментації УЗ зображень за допомогою ГА, який за рахунок запропонованих модифікацій операторів кросинговеру та мутації збільшує швидкість синтезу точних схем сегментації. Удосконалення сегментації УЗ медичних зображень відбувається за рахунок запропонованого методу скорочення множини використовуваних алгоритмів обробки зображень. Автоматичний синтез схем сегментації зображень за рахунок запропонованих модифікацій операторів кросинговеру та мутації дає змогу поліпшити точність синтезованих рішень.

Інша робота теж торкається обробки зображень у медицині [44]. Автори розглядають питання машинної класифікації і розпізнавання зображень у вигляді рентгенограм, а також питання удосконалення штучних нейронних мереж, які використовуються для підвищення якості та точності виявлення аномальних структур на рентгенограмах грудної клітини. Представлено модифікований генетичний метод оптимізації параметрів моделі на основі згорткової нейронної мережі для розв'язання завдання розпізнавання діагностично значущих ознак пневмонії на рентгеновському знімку легень. Автори запропонували спеціальний оператор мутації у вигляді адитивної згортки двох операторів мутації, який дає змогу скоротити час навчання нейронної мережі, а також виділити найбільш придатні для вивчення «околу рішень». Також проводиться порівняльна оцінка ефективності запропонованого методу та відомих способів, яка показала поліпшення точності при розв'язанні задачі пошуку ознак патології на рентгеновському знімку легень. Тестування розробленого авторами методу показало, що він дає змогу збільшити точність розпізнавання до 80 % та зменшити час обчислювання.

ГА та ЕА можуть бути використані для створення сучасних протоколів маршрутизації мереж [45], метрика яких враховує як характеристики мережових з'єднань, так і показники мережевого обладнання. Час збіжності такого алгоритму може змінюватись залежно від необхідної точності та динаміки зміни мережі. Наприклад, у роботі [46] автори представляють гібридний ГА, розроблений для розв'язання багатокритеріальних комбінаторних задач розподілу робіт у багатопроекторних комп'ютерних системах. У гібридному алгоритмі для знаходження субоптимальних рішень даної проблеми глобальної оптимізації використовується аналітичний метод оптимізації. Автори роблять висновок, що генетичні алгоритми є досить потужним математичним інструментом і можуть з успіхом застосовуватися для розв'язання широкого класу прикладних задач, включаючи ті, які важко або навіть взагалі неможливо розв'язати іншими методами. Час збіж-

ності такого алгоритму може змінюватись залежно від необхідної точності та динаміки зміни мережі.

Дещо інший сегмент інформаційних технологій, який стосується кластеризації даних, освітлено в [47]. Автори вказують, що останнім часом основна увага приділяється нечіткій кластеризації при обробці векторних образів із різним рівнем ймовірності, можливості або належності, що можуть належати більше ніж одному класу. Нечіткі нейронні мережі, що еволюціонують, є дуже ефективним засобом узгодженої кластеризації в режимі реального часу. ЕА в цьому випадку дають змогу покращити результати кластеризації даних, коли ці дані надходять послідовно в режимі онлайн. Автори використовують оптимізацію методом «котячої зграї», який передбачає, що кожна кішка зграї може перебувати в одному з двох станів: режимі пошуку та режимі трасування (відстеження). У першому випадку режим пошуку пов'язаний із повільними рухами з невеликою амплітудою навколо початкової позиції (сканування простору в районі поточної позиції) та режимом трасування, який визначається швидкими стрибками з великою амплітудою і дає змогу кожній конкретній кішці вискочити з локального екстремуму, якщо вона там є. За допомогою оптимізаційних процедур, які містять еволюційну оптимізацію методом «котячої зграї», збільшується швидкість роботи запропонованого методу в кілька разів. Запропонований підхід є досить простим у чисельній реалізації, має високу продуктивність та забезпечує високу якість нечіткої кластеризації великих масивів.

Наступна робота присвячена оптимізації запитів до баз даних [48]. Автор досліджує оптимізацію запитів до баз даних за допомогою ГА та аналізує можливість оптимізації запитів із великою кількістю операторів з'єднання. У іншій роботі [49] за цією тематикою також вказується на основний напрям оптимізації бази даних – максимізація швидкості та ефективності отримання даних, яка скорочує час відповіді системи баз даних. Автори також пропонують використовувати ГА як апарат розв'язання задачі. Запропонована методика оптимізації розподілених запитів дає методологію для створення ефективного плану їх обробки. Основною перевагою ГА автори виносять можливість легкої організації паралельних розрахунків та обробки кластерного середовища розподіленої бази даних.

Дуже потужний досвід використання ГА та ЕА мають дослідження в *економічній теорії*. Це освітлено в роботі [50], у якій автори описують проблеми практичного застосування інструментарію ГА як засобу оптимізації. Вони здійснюють дослідження наукових робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників та вказують на задачі, зокрема економічні, які можна ефективно розв'язувати за допомогою даного інструментарію. Також проведено аналіз сучасних програмних засобів, що містять інструментарій генетичного алгоритму. У якості загальних положень сформовано концептуальні вимоги до програмного засобу реалізації ГА, який має бути доступним та зрозумілим для користувачів із різним рівнем підготовки та слугувати ефективним інструментом вирішення задач бізнесу. Зроблено висновок, що викори-

стання ГА широким загалом користувачів є дуже перспективним для середнього та малого бізнесу, адже підхід дає змогу розв'язувати широке коло економічних задач.

Автори наступних праць [51, 52] сконцентрувалися на оптимізації структури інвестиційного портфеля цінних паперів. Впроваджено використання ГА стосовно розрахунку і оптимізації інвестиційного портфеля цінних паперів. В якості математичного методу був використаний метод спеціального відбору, який заснований на визначенні множини оптимальних портфелів. Автори використовують модифікацію класичної схеми ГА. Для підтвердження своєї методики автори порівнюють її з класичним для даної задачі підходом – моделлю Марковіца. В результаті дослідження методів з оптимізації портфеля інвестицій та проведення їх порівняльного аналізу зроблено висновок щодо отримання якісних розв'язань за допомогою ГА. Останній показав велику наближеність до рішень класичним методом та при порівняно невеликих часових витратах знаходить кращий шлях.

Робота [53] має на меті продемонструвати використання ГА при створенні агентно-орієнтованих систем. Основним критерієм автори вказують максимальне зменшення вартості ланцюга поставок. Реалізація необхідних заходів щодо усунення виявлених надлишків/дефіцитів на різних ділянках ланцюга поставок сприяє зменшенню вартості такого ланцюга при мультиагентному підході.

Актуальною проблемою сьогодення є фінансова стійкість банку, яка порушена у [54]. Автор пропонує підхід до оптимізації фінансової стійкості банку, в основу якого покладено концепцію економічної рівноваги. Сформована задача багатокритеріальної оптимізації фінансової стійкості розв'язується за допомогою ГА для отримання ефективних за Парето портфелів активів та пасивів, що надає можливість сформулювати ефективну стратегію банку, спрямовану на досягнення оптимальних значень показниками, які в комплексі визначають економічну сутність фінансової стійкості банківської установи. Задача має досить високу розмірність – 40 параметрів, які необхідно знайти, але незважаючи на це автору вдалося знайти якісні розв'язки.

Наступна робота [55] присвячена розробці моделі та програмного забезпечення для розкриття ранцевої криптосистеми Меркле-Хеллмана на основі ГА. Наведено основні принципи роботи криптосистеми та ГА. Автори показують методи, які використовувались при побудові алгоритму для криптоаналізу криптосистеми Меркле-Хеллмана. Наведено експериментальні результати, які були отримані при криптоаналізі криптосистеми з різною довжиною ключа за допомогою ГА з різними методами відбору батьківської пари для створення нової хромосоми, а також для розкриття криптосистеми традиційним способом. Автори вказують, що збільшення розміру популяції та коригування коефіцієнта мутації призводить до швидкого та ефективного розв'язання задачі криптоаналізу.

Автор роботи [56] реалізує генетичну модель оптимізації впливів у системі рефлексивного управ-

ління, яке дає змогу враховувати не тільки об'єктивні фактори, а й схильності суб'єктів гри та їх бачення ситуації. Це забезпечує для комерційних пропозицій керуючого суб'єкта краще становище відносно конкурентів та підвищує його конкурентоздатність. Особливістю підходу є те, що для скорочення ресурсів на зберігання та аналіз економічних даних автором запропоновано модель квантування за часом зі змінним кроком, яку реалізовано із застосуванням ГА, що забезпечує збереження пікових значень ряду та більш ефективне стиснення даних порівняно із існуючими методами квантування.

У статті [57] описано оптимальне планування навантаження підприємства при економічній диспетчеризації за допомогою ЕА. У якості критеріїв обрано мінімізацію витрат на паливо та рівень балансу потужності. Також автори порівнюють свою модель та отримані результати з ГА і методом оптимізації «колонії мурах». Вказується на ефективність та швидкість проведення розрахунків.

Досить широко ГА та ЕА використовуються для розв'язання задач *управління та менеджменту*. Це освітлено у низці сучасних прогресивних роботах. Наприклад, метою роботи [58] є проведення аналізу методів і моделей пошуку ефективних управлінських рішень, які базуються на еволюційному підході, для прогнозування раціонального розвитку вітчизняних об'єктів сфери обслуговування. Цікаво, що автори вказують на недостатнє застосування ГА та ЕА щодо пошуку ефективних управлінських рішень. З'ясовано здатність еволюційного підходу забезпечувати прогресуючий розвиток, що не завжди забезпечує раціональність рішень стосовно розвитку в сучасних умовах певних вітчизняних об'єктів сфери обслуговування.

У якості практичного досвіду використання ЕА можна навести роботу [59], у якій висвітлено нові наукові результати, а саме математичну модель планування виконання замовлень, а також запропоновано модифікований алгоритм LBA, що забезпечує формування альтернативних планів виконання замовлень. Автор вказує, що запропонований алгоритм забезпечує формування альтернативних планів виконання замовлень, застосування яких дає змогу формувати нові та проводити реконфігурації існуючих планів за короткий проміжок часу. У випадку, якщо при прийнятті рішення є можливість виключити із математичної моделі один із частинних критеріїв, ефективнішим себе показав модифікований алгоритм на основі комбінації алгоритмів «косяк риб» та «зграя вовків».

Наступна праця [60] наводить застосування ГА для покращення організації та структури виробництва алюмінієвих виробів (варіація параметрів виробництва або порівняння компоновання обладнання). Основною метою автори бачать досягнення оптимального плану виробництва з урахуванням динамічних умов, таких як: замовлення клієнтів, запаси, потужність, коефіцієнт використання, якість сировини та продукції, розташування обладнання. Також автори вказують, що можливо проводити пошук невдалих бізнес-рішень, з одного боку, та можливостей, які

забезпечують додану вартість за ту саму ціну, з іншого.

Теми управління підприємством торкається робота [61]. Авторі освітлюють питання застосування методу еволюційної стратегії для вдосконалення управління підприємством як різновиду ЕА, а саме, доповнення збалансованої системи показників алгоритмом еволюційної стратегії, що значно підвищить ефективність прийняття стратегічних і оперативних рішень щодо управління підприємством. Вказується, що впровадження алгоритму еволюційної стратегії дає змогу визначити адекватну оцінку стану підприємства та приймати ефективні рішення. У якості тестової задачі автори наводять застосування алгоритму еволюційної стратегії до вагоноремонтного заводу. За результатами проведених обчислень зроблений аналіз та внесені пропозиції щодо удосконалення системи управління підприємством.

У наступній роботі [62] автори досліджують проблеми та існуючі методи оптимізації фінансових показників мережевих аптек за допомогою ЕА. Запропоновано модифікацію, яка дає можливість керувати математичним розподілом значень розв'язків, що повинно запобігти передчасній збіжності алгоритму та використати всі запропоновані гени у долях згідно з обраною моделлю розподілу. Це досягається модифікаціями генетичного оператора мутацій. Перша модифікація полягає у виборі значень заміни для мутації не випадковим чином, а з ряду, що підкоряється закону нормального розподілу. Друга модифікація служить для визначення доцільності мутації хромосоми, спираючись на знання ретроспективних та прогнозних даних із використанням прогнозної моделі штучної нейронної мережі. Третя модифікація полягає у комбінації двох зазначених модифікацій. Результатом роботи алгоритму автори бачать більш ефективне використання площі аптек, зниження незадоволеного попиту та в кінцевому результаті зменшення роздрібно вартості ліків за рахунок зменшення видатків на зберігання та обслуговування неоптимально завантажених площ аптек.

Межу між менеджментом та аналізом даних зачіпає робота [63]. Автор наводить приклад використання ГА у інтелектуальному пошуковому аналізі анкетних даних у навчальному процесі.

Як приклад використання ГА у *маркетингу* наведено роботу [64]. Автор пропонує метод визначення ефективності реклами із застосуванням методики моделювання нечітких нейросистем. Опис поведінки та навчання системи автор пропонує робити із впровадженням ГА.

Дослідження *соціальних процесів* теж зачепила хвиля ГА. У роботі [65] автор торкається актуальних проблем дослідження міграції. Для моделювання автор пропонує використати ГА. Вказується на можливість та адекватність застосування ГА в дослідженні міграційних процесів, розраховано приклад моделювання міграції. Також автор порівнює запропонований підхід із класичними підходами і вказує на високу якість використання ГА.

Не оминули ГА та ЕА *біологічний та медичний* напрями. У наступній роботі [66] коло ЕА замкнулося, бо автори пропонують застосовувати ЕА для

розв'язання складних біологічних завдань кількісної генетики та біоінформатики. Також зазначається, що багато біологічних питань вивчаються за допомогою ЕА. У подальшому з постійно зростаючим обсягом біологічних даних можна очікувати, що використання ЕА буде тільки збільшуватися.

Автор праці [67] запропонував ГА для оптимізації розкладів у контексті відновлювальної терапії. Зазначені переваги ГА відносно інших методів та обґрунтовано доцільність їх використання в задачі багатокритеріальної оптимізації розкладу функціонування медичних установ.

Розглядаючи сучасну літературу стосовно ГА та ЕА та їх ефективного практичного використання, автори побачили певну тенденцію. Більша кількість наукових праць, а, відповідно, і практичне використання стосовно ГА та ЕА мають місце в менеджменті та маркетингу, потім за зменшенням, відповідно, у економічній теорії, моделюванні штучного інтелекту та нейронних мережах, електричних та електронних системах, нанотехнологіях, технічній та технологічній діяльності. Звісно, надана ієрархія достатньо умовна, але вона спостерігається. Автори припускають, що такий розподіл спричинений декількома факторами. По-перше, це спричинено відносною «молодістю» ГА та ЕА, які ще не набрали певної розповсюдженості, а по-друге, консервативністю технічної сфери, яка традиційно тяжіє до жорстких аналітичних методів та підходів і дуже важко сприймає інноваційні пошукові методи. Практичний досвід використання ГА та ЕА, що розглянутий у даній роботі, показує високий рівень цих підходів із отриманням якісних результатів. Незважаючи на те, що було розглянуто дуже різні напрями людської діяльності, формування задач та вимоги до них всюди є дуже подібними. Тому автори закликають відкинути недовіру і побоювання до ГА та ЕА, переймати досвід сусідніх сфер діяльності та активно використовувати їх у технічній науковій діяльності проєктувальника (рис. 1).



Рисунок 1 – Сфери людської діяльності, де використано ГА та ЕА

#### Висновки:

1. Описано актуальність освітлення сучасних методів, підходів та стратегій реалізації ГА та ЕА, а також розгляд їх прикладної реалізації, що забезпечує виявлення цікавих напрямів досліджень, які з

подальшою адаптацією чи модифікаціями можуть бути використані для розв'язання задач оптимально-раціонального проєктування редукторів, коробок передач та трансмісій. Це дає змогу зрозуміти необхідність висвітлення вказаної теми та проведення досліджень літературних джерел стосовно питання.

2. Освітлено основні загальні напрями літератури стосовно ГА та ЕА, а також на прикладах висвітлено практичне використання ГА та ЕА в: технічній та технологічній діяльності, фізиці, будівництві, водних системах, нанотехнологіях, аналітичному та імітаційному моделюванні, електричних та електронних системах, моделюванні штучного інтелекту та нейронних мережах, інформаційних технологіях, економічній теорії, управлінні та менеджменті, маркетингу, соціології, біології та медицині. Це дало змогу зрозуміти сучасні тенденції стосовно цього питання, визначити переваги та недоліки існуючих напрямів і підходів, а також допомогло обрати вектор подальшої наукової думки, визначитися з підходами, стратегіями та методами, що становлять інтерес.

3. Зважаючи на певні особливості ЕА, автори віддали перевагу саме їм. А з огляду стратегій, то перспективними є гібридизація з іншими методами, максимальна насиченість всіх етапів «випадковістю» та можливість навчання (організації пам'яті) алгоритму подібно до нейронних мереж.

#### Список літератури

1. Глибовець М. М., Гулаєва Н. М. Еволюційне програмування. *Проблеми програмування*, 2013. № 4. С. 3–13.
2. Paul Charbonneau *An introduction to genetic algorithms for numerical optimization*. NCAR TECHNICAL NOTE, 2002. 74p.
3. Xinjie Yu, Mitsuo Gen. Introduction to Evolutionary Algorithms. *IEMS*, 2010. Vol. 9, No. 4. P. 348–349.
4. Eiben A. E. Genetic algorithms with multi-parent recombination. *PPSN III: Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation. The Third Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 1994. P. 78–87.
5. Gerges Firas; Zouein Germain, Azar Danielle. Genetic Algorithms with Local Optima Handling to Solve Sudoku Puzzles. *Proceedings of the 2018 International Conference on Computing and Artificial Intelligence. ICCAI 2018*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. P. 19–22.
6. Sushruta Mishra, Soumya Sahoo, Mamata Das. Genetic algorithm: an efficient tool for global optimization. *Advances in Computational Sciences and Technology*. 2017. Vol. 10, No. 8. P. 2201–2211.
7. Shifali Bhargava. A note on evolutionary algorithms and its applications. *ALM International Journal*. 2013. Vol. 8(1). P. 31–45.
8. Syafiul Muz. An adaptive approach to controlling parameters and population size of evolutionary algorithm. *Journal of Physics: Conference Series 1430*. 2020. P. 1–9.
9. Musatafa Abbas Albadr, Sabrina Tiun, Masri Ayob, Fahad AL-Dhief. Genetic algorithm based on natural selection. *Theory for Optimization Problems. Symmetry*, 2020. No. 12. P. 1–31.
10. Fernando G. Lobo, Cláudio F. Lima, Zbigniew Michalewicz. Parameter setting in evolutionary algorithms. *Studies in Computational Intelligence*, Springer Verlag, 2007. No. 54. P.19–46.
11. Погорілий С. Д., Білоус Р. В., Білоконь І. В. *Застосування генетичних алгоритмів у комп'ютерних системах*. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2014. 319 с.
12. Вакал Л. П. Генетичні алгоритми як інструмент розв'язання нелінійних крайових задач. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2015. № 14. С. 16–23.
13. Цюцюра М. І., Єрукаєв А. В., Гоц В. В., Костишина Н. В. Реалізація генетичного алгоритму шляхом застосування продукційних правил. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 39. С. 64–68.

14. Grosan, C., Abraham A. Hybrid evolutionary algorithms: methodologies, architectures and reviews. *Studies in Computational Intelligence (SCI)*. 2007. No. 75. P. 1–17.
15. Глибовець М. М., Гороховський С. С., Краткова О. В. Гібридний генетичний алгоритм вирішення задачі оптимізації структури інтегральної схеми. *Інженерія програмного забезпечення*. 2011. № 1. С. 70–76.
16. Шило В. П., Глибовець М. М., Гуллева Н. М., Нікіщівіна К. В. Генетичні алгоритми турнірного витиснення з гаусовою мутацією. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Том 56, № 2. С. 75–88.
17. Alexandru Agapie. Spherical distributions used in evolutionary algorithms. *Mathematics*. 2021, no. 9, 3098. <https://www.mdpi.com/journal/mathematics>
18. Adam Slowik, Halina Kwasnicka. Evolutionary algorithms and their applications to engineering. *Problems, neural computing and applications*. 2020. Vol.32. P. 12363–12379.
19. Шадура О. В. Метод головних компонент і оптимізація пакетів фізичного моделювання за допомогою генетичних алгоритмів. *Вісник Університету «Україна»*. 2019. № 1 (22). С. 298–309.
20. Tiejun Li, Guifang Shao, Wangda Zuo, Sen Huang. Genetic algorithm for building optimization. *State-of-the-Art Survey ICMLC*. Singapore, 2017. P. 205–210.
21. Walters G. A., Savic D. A. Recent applications of genetic algorithms to water system design. *Transactions on ecology and the environment*. 1996. Vol. 12. P. 143–153.
22. Miguel Tuberquia, Cesar Hernandez. New approaches in cognitive radios using evolutionary algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2018. Vol. 8, No. 3. P. 1636–1646.
23. Silva F. T., Silva M. X., Belchior J. C. A new genetic algorithm approach applied to atomic and molecular cluster studies. *Frontiers in Chemistry*. 2019. Vol. 7, Article 707. P. 1–21.
24. Каплун В. В., Кравченко О. П., Василенко В. В., Макаревич С. С., Каплун Р. В. Аналіз методів оптимізації мікроенергетичних систем (microgrid) на основі джерел розподіленої генерації. *Вісник КНУТД*. 2015. №2 (84). С. 5–17.
25. Liang H. Z., Gooi H. B. Unit commitment in microgrids by improved genetic algorithm. *Proceedings of International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2010)*. 2010. P. 842–847.
26. Giráldez J., Jaiantilal A., Walz J., Suryanarayanan S., Sankaranarayanan S., Brown H. E., Chang E. An evolutionary algorithm and acceleration approach for topological design of distributed resource islands. *IEEE Conference PowerTech*. Trondheim, Norway, 2011. P. 1–8.
27. Qijun Deng, Xing Gao, Hong Zhou, Wenshan Hu. System modeling and optimization of microgrid using genetic algorithm. *Proceedings of 2nd international conference on intelligent control and information processing*. 2011. Vol. 1. P. 540–544.
28. Conti S., Rizzo S. A. Optimal control to minimize operating costs and emissions of mv autonomous micro-grids with renewable energy sources. *Proceedings of international conference on clean electrical power*. 2009. P. 634–639.
29. Mirosław Parol, Tomasz Wójtowicz. Optimization of exchange of electrical energy between microgrid and electricity utility distribution network. *Proceedings of the international symposium on modern electric power systems (MEPS)*. Poland, 2010. P. 1–6.
30. Fedorchenko I., Oliinyk A., Stepanenko A., Zaiko T., Korniienko S., Burtsev N. Development of a genetic algorithm for placing power supply sources in a distributed electric network. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 5, No. 3 (101). P. 6–16.
31. Гук Н. А., Гук М. К., Шаповал І. П. Налаштування параметрів генетичного алгоритму для розв'язання задачі оптимізації топології сенсорної мережі. *Питання прикладної математики та математичного моделювання*. 2018. Вип. 18. С. 57–65.
32. Швыров И. В. Оптимизация режимов электроэнергетических систем на основе эволюционных алгоритмов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Санкт-Петербург, 2013. 128 с.
33. Ahiakwo G. N., Braide S. L., Ojuka O. E. Evolutionary algorithm based approach for power quality enhancement. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*. 2022. Vol. 17, Is. 2, Ser. I. P. 36–43.
34. Макаришкін Д. А., Ковтун Л. О., Онишко О. Г., Борис А. В. Еволюційний алгоритм для автоматизованого структурно-параметричного синтезу НВЧ транзисторних підсилювачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2016. № 6, С. 238–247.
35. Троцько В. В. *Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник*. Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2020. 86 с.
36. Кононок А. Ю. *Нейронні мережі і генетичні алгоритми*. Київ: «Корнійчук», 2008. 446 с.
37. Суприган О.І., Ваховська Л. М. Комбінування генетичних алгоритмів в елементах штучної нейронної мережі. *Опτικο-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2019. Т. 37, № 1. С. 5–10.
38. Шаповалова Н. Н., Рибальченко О. Г., Куропятник Д. І. Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання. *Вісник Криворізького національного університету*. 2018. Вип. 46, С. 104–111.
39. Бессонов А. А. *Эволюционирующие искусственные нейронные сети прямого распространения: архитектуры, обучение, применения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.23*. Харьков, 2017. 441 с.
40. Nicola's Garcı́a-Pedrajas, Domingo Ortiz-Boyer, Ce'sar Herva's-Martı́nez. An alternative approach for neural network evolution with a genetic algorithm: Crossover by combinatorial optimization. *Neural Networks*. 2006. No. 19. P. 514–528.
41. Левтеров О. А., Нечитайло Ю. А., Степанова О. Г. Побудова системи поведінки когнітивного робота на основі еволюційних алгоритмів. *Технологія приборостроєння*. 2016. № 2. С. 77–80.
42. Стеценко І. В. *Моделювання систем: навч. посіб.* Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.
43. Махно Т. О. *Автоматизована система обробки ультразвукових зображень сонних артерій на основі еволюційних алгоритмів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн.наук: спец. 05.13.06 «Інформаційні технології»*. Вінниця, 2016. 22с.
44. Федорченко Є. М., Олійник А. О., Корнієнко С. К., Харченко А. С., Гончаренко Д. А. Особливості побудови рішень генетичного алгоритму в задачі розпізнавання образів захворювання пневмонії. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*, 2020. Т. 22, № 3. С. 76–95.
45. Погорілий С. Д., Білоус Р. В. Генетичний алгоритм розв'язання задачі маршрутизації в мережах. *Проблеми програмування*, 2010. № 2–3. С. 171–177.
46. Колесніков К. В., Карапетян А. Р., Царенко Т. А. Генетичні алгоритми для задач багатокритеріальної оптимізації в мережах адаптивної маршрутизації даних. *Вісник НТУ «ХПИ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, НТУ «ХПИ», 2013. № 56 (1029). С.44–50.
47. Налапко О. Л., Козлов В. Г. Метод кластеризації даних на основі еволюційної оптимізації котячих зграй. *International scientific conference «New development areas of digitalization at the beginning of the third millennium»*. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2021. P. 21–24.
48. Сарасв Д. О. *Оптимізація запитів до баз даних з використанням генетичних алгоритмів: автореф. магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації «Магістр комп'ютерних наук»: спец. 122 «Комп'ютерні науки»*. Миколаїв, 2020. 18с.
49. Aponsoa G. C. A. L., Tennakonb T. M. T. I., Arampathc A. M. C. V., Kandeepand S., Amaratungae H. P. K. S. Database optimization using genetic algorithms for distributed. *DatabasesInternational Journal of Computer*. 2017. Vol. 24, No. 1. P. 23–27.
50. Скіцько В. І., Третяк Т. Б., Бондарчук Д. В. Використання генетичних алгоритмів у економікоматематичному моделюванні: проблеми, досвід та перспективи. *Економіка та держава*. 2016. № 2. С. 78–81.
51. Будорацька Т. Л., Журавльова Н. М. Використання генетичних алгоритмів для оптимізації структури інвестиційного портфеля цінних паперів. *Економіка: реалії часу*. 2017. №1(29). С. 26–33.
52. Будорацька Т. Л., Журавлева Н. М. Генетические алгоритмы как средство оптимизации в экономических задачах. *Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці*. 2017. Вип. 8. С. 201–206.
53. Гужва В. М., Паламарчук О. В. Використання генетичних алгоритмів при створенні агентно-орієнтованих систем в логістиці. *Проблеми економіки*. 2012. № 2. С. 62–66.
54. Лучаківський А. О. Використання генетичного алгоритму для оптимізації фінансової стійкості банку. *Актуальні проблеми економіки*. 2016. №2(176). С. 411–420.



55. Гриник Р. О., Полотай О. І. Застосування генетичного алгоритму для розкриття ранцевої криптосистеми меркле-хелмана. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2016. №14. С. 77–83.
56. Мінц О. Ю. *Дисертація методологія моделювання інноваційних інтелектуальних систем прийняття рішень в управлінні економічними об'єктами: дис. ... канд. техн. наук: 08.00.11*. Маріуполь, 2017. 414с.
57. Rabindra Nath Shaw, Debayan Basu, Sumana Chowdhury. A comparative study between non-iterative zero tolerance method with evolutionary algorithm method for economic load dispatch. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2018. Vol. 9, Is. 4. P.207–213.
58. Рогоза М. С., Столярчук В. М. Аналіз підходів до прийняття управлінських рішень розвитку об'єктів сфери обслуговування. *Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка»*. 2018. №2. [www.economy.nayka.com.ua](http://www.economy.nayka.com.ua).
59. Грибков С. В., Харкянен О. В., Гладка Ю. А. Використання евристичних і еволюційних алгоритмів для розв'язання задач управління. *Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. пр.* Київ: КНЕУ, 2020. Вип. 99. С. 41–55.
60. Kremljak Z. Optimising production systems using genetic algorithms. *Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium*. Vienna, DAAAM International, 2019. P. 139–147.
61. Сендзюк М. А., Науменко І. В., Держук О. В. Еволюційна стратегія як метод удосконалення збалансованої системи показників управління підприємством. *Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць*. Одеса: Одеський національний економічний університет. 2018. № 1 (65). С. 207–216.
62. Федорченко С. М., Олійник А. О., Степаненко О. О., Корніснюк С. К., Харченко А. С., Гончаренко Д. А. Розробка еволюційних алгоритмів у задачах управління асортиментом мережних аптек. *Штучний інтелект*. 2019. № 3–4. С. 58–71.
63. Madden A. D. Genetic algorithms: a pragmatic, nonparametric approach to exploratory analysis of questionnaires in educational research. *Educational Research*. 1999. No. 41. P. 163–172.
64. Хасан Алі Аль-Абабнех Модель визначення ефективності реклами із застосуванням генетичного алгоритму. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 15. С. 328–331.
65. Овчиннікова О. Р. Використання генетичних алгоритмів в моделюванні міграційних процесів. *Соц.-ек. проблеми сучас. періоду України*. 2013. Вип. 3(101). С. 458–465.
66. Cedric Gondro, Brian Kinghorn. *Application of evolutionary algorithms to solve complex problems in quantitative genetics and bioinformatics*. Centre for Genetic Improvement of Livestock University of Guelph, 2008. 96 p.
67. Ковалишин О. С. Аналіз методів оптимізації розкладів у контексті відновлювальної терапії. *Науковий вісник НІТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 136–140.
9. Musatafa Abbas Albadr, Sabrina Tiun, Masri Ayob, Fahad AL-Dhief. Genetic algorithm based on natural selection. *Theory for Optimization Problems*. Symmetry, 2020, no. 12, pp. 1–31.
10. Fernando G. Lobo, Cláudio F. Lima, Zbigniew Michalewicz. Parameter setting in evolutionary algorithms. *Studies in Computational Intelligence*, Springer Verlag, 2007, no. 54, pp. 19–46.
11. Pohorilyi S. D., Bilous R. V., Bilokon I. V. *Zastosuvannia henetychnykh alhorytmiv u kompiuternykh systemakh* [Application of genetic algorithms in computer systems]. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskiy universytet" [Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center], 2014, 319 p.
12. Vakal L. P. Henetychni alhorytmy yak instrument rozv'iazannia nelineinykh kraiovykh zadach [Genetic algorithms as a tool for solving nonlinear boundary value problems]. *Kompiuterni zasoby, mrezhni ta systemy* [Computer facilities, networks and systems], 2015, no. 14, pp. 16–23.
13. Tsiutsiura M. I., Yerukaiev A. V., Hots V. V., Kostyshyna N. V. Realizatsiia henetychnoho alhorytmu shliakhom zastosuvannia produktsiinykh pravyl [Implementation of the genetic algorithm by applying production rules]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Management of the development of complex systems], 2019, no. 39, pp. 64–68.
14. Grosan C., Abraham A. Hybrid evolutionary algorithms: methodologies, architectures and reviews. *Studies in Computational Intelligence (SCI)*, 2007, no. 75, pp. 1–17.
15. Hlybovets M. M., Horokhovskiy S. S., Kratkova O. V. Hibrydnyi henetychnyi alhorytm vyreshennia zadachi optymizatsii struktury intehranoi skhemy [A hybrid genetic algorithm for solving the problem of optimizing the structure of an integrated circuit]. *Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia* [Software engineering], 2011, no. 1, pp. 70–76.
16. Shylo V. P., Hlybovets M. M., Hulleieva N. M., Nikishchikhina K. V. Henetychni alhorytmy turnirnoho vytysnennia z hausovoio mutatsiieiu [Genetic algorithms of tournament crowding out with Gaussian mutation]. *Kybernetyka y systemnij analiz* [Cybernetics and system analysis], 2020, vol. 56, no. 2, pp. 75–88.
17. Alexandru Agapie. Spherical distributions used in evolutionary algorithms. *Mathematics*. 2021, no. 9, 3098. <https://www.mdpi.com/journal/mathematics>
18. Adam Slowik, Halina Kwasnicka. Evolutionary algorithms and their applications to engineering. *Problems, neural computing and applications*, 2020, vol.32, pp. 12363–12379.
19. Shadura O. V. Metod holovnykh komponent i optymizatsiia paketiv fizychnoho modeliuвання za dopomohoiu henetychnykh alhorytmiv [Principal component method and optimization of physical modeling packages using genetic algorithms]. *Visnyk Univesytetu «Ukraina»* [Bulletin of the University «Ukraine»], 2019, no. 1 (22), pp. 298–309.
20. Tiejun Li, Guifang Shao, Wangda Zuo, Sen Huang. Genetic algorithm for building optimization. *State-of-the-Art Survey ICMLC*. Singapore, 2017, pp. 205–210.
21. Walters G. A., Savic D. A. Recent applications of genetic algorithms to water system design. *Transactions on ecology and the environment*, 1996, vol. 12, pp. 143–153.
22. Miguel Tuberquia, Cesar Hernandez. New approaches in cognitive radios using evolutionary algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 2018, vol. 8, no. 3, pp. 1636–1646.
23. Silva F. T., Silva M. X., Belchior J. C. A new genetic algorithm approach applied to atomic and molecular cluster studies. *Frontiers in Chemistry*, 2019, vol. 7, article 707, pp. 1–21.
24. Kaplun V. V., Kravchenko O. P., Vasylenko V. V., Makarevych S. S., Kaplun R. V. Analiz metodiv optymizatsii mikroenerhetychnykh system (microgrid) na osnovi dzherel rozpodilenoї heneratsii [Analysis of optimization methods of micro-energy systems (microgrid) based on sources of distributed generation]. *Visnyk KNUTD* [Bulletin of KNUTD], 2015, no. 2 (84), pp. 5–17.
25. Liang H. Z., Gooi H. B. Unit commitment in microgrids by improved genetic algorithm. *Proceedings of International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2010)*, 2010, pp. 842–847.
26. Giráldez J., Jaiantilal A., Walz J., Suryanarayanan S., Sankaranarayanan S., Brown H. E., Chang E. An evolutionary algorithm and acceleration approach for topological design of distributed resource islands. *IEEE Conference PowerTech*. Trondheim, Norway, 2011, pp. 1–8.
27. Qijun Deng, Xing Gao, Hong Zhou, Wenshan Hu. System modeling and optimization of microgrid using genetic algorithm. *Pro-*

#### References (transliterated)

- Hlybovets M. M., Hulaieva N. M. Evoliutsiine prohramuvannia [Evolutionary programming]. *Problemy prohramuvannia* [Programming problems], 2013, no. 4, pp. 3–13.
- Paul Charbonneau *An introduction to genetic algorithms for numerical optimization*. NCAR TECHNICAL NOTE, 2002, 74p.
- Xinjie Yu, Mitsuo Gen. Introduction to Evolutionary Algorithms. *IEMS*, 2010, vol. 9, no. 4, pp. 348–349.
- Eiben A. E. Genetic algorithms with multi-parent recombination. *PPSN III: Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation. The Third Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 1994, pp. 78–87.
- Gerges Firas; Zouein Germain, Azar Danielle. Genetic Algorithms with Local Optima Handling to Solve Sudoku Puzzles. *Proceedings of the 2018 International Conference on Computing and Artificial Intelligence. ICCAI 2018*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, pp. 19–22.
- Sushruta Mishra, Soumya Sahoo, Mamata Das. Genetic algorithm: an efficient tool for global optimization. *Advances in Computational Sciences and Technology*. 2017, vol. 10, no. 8, pp. 2201–2211.
- Shifali Bhargava. A note on evolutionary algorithms and its applications. *ALM International Journal*. 2013, vol. 8(1), pp. 31–45.
- Syafiul Muz. An adaptive approach to controlling parameters and population size of evolutionary algorithm. *Journal of Physics: Conference Series 1430*, 2020, pp. 1–9.

- ceedings of 2nd international conference on intelligent control and information processing, 2011, vol. 1, pp. 540–544.
28. Conti S., Rizzo S. A. Optimal control to minimize operating costs and emissions of mv autonomous micro-grids with renewable energy sources. *Proceedings of international conference on clean electrical power*, 2009, pp. 634–639.
  29. Mirosław Parol, Tomasz Wójciewicz. Optimization of exchange of electrical energy between microgrid and electricity utility distribution network. *Proceedings of the international symposium on modern electric power systems (MEPS)*. Poland, 2010, pp. 1–6.
  30. Fedorchenko I., Oliinyk A., Stepanenko A., Zaiko T., Korniienko S., Burtsev N. Development of a genetic algorithm for placing power supply sources in a distributed electric network. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019, vol. 5, no. 3 (101). P. 6–16.
  31. Huk N. A., Huk M. K., Shapoval I. P. Nalashtuvannya parametriv henetychnoho alhortymu dlia rozviazання zadachi optymizatsii topologii sensornoi merezhi [Setting the parameters of the genetic algorithm for solving the problem of optimizing the topology of the sensor network]. *Pytannia prykladnoi matematyky ta matematychnoho modeliuвання* [Issues of applied mathematics and mathematical modeling], 2018, no. 18, pp. 57–65.
  32. Shvirov Y. V. *Optymyzatsiia rezhymov elektroenerhetycheskykh system na osnovе evoliutsiynnykh alhorytmov: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06* [Optimizing modes of electric power systems based on evolutionary algorithms: dis. ... candidate technical Sciences: 05.13.06]. Sankt-Peterburh, 2013, 128 p.
  33. Ahiakwo G. N., Braide S. L., Ojuka O. E. Evolutionary algorithm based approach for power quality enhancement. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 2022, vol. 17, is. 2, ser. I, pp. 36–43.
  34. Makaryshkin D. A., Kovtun L. O., Onyshko O. H., Borys A. V. Evoliutsiynni alhorytm dlia avtomatyzovanoho strukturno-parametrychnoho syntezu NVCh tranzystornykh pidsylivuvachiv [Evolutionary algorithm for automated structural-parametric synthesis of microwave transistor amplifiers]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu* [Bulletin of the Khmelnytskyi National University], 2016, no. 6, pp. 238–247.
  35. Trotsko V. V. *Metody shuchnogo intelektu: navchalno-metodychnyi i praktychnyi posibnyk* [Methods of artificial intelligence: educational, methodological and practical guide]. Kyiv: Universytet ekonomiky ta prava «KROK» [Kyiv: KROC University of Economics and Law], 2020, 86p.
  36. Kononiuk A. Yu. *Neironi merezhi i henetychni alhorytmy* [Neural networks and genetic algorithms]. Kyiv: «Korniichuk» [Kyiv: «Korniichuk»], 2008, 446p.
  37. Supryhan O. I., Vakhovska L. M. Kombinuvannya henetychnykh alhorytmiv v elementakh shuchnoi neironnoi merezhi [Combining genetic algorithms in artificial neural network elements]. *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii* [Optical-electronic information and energy technologies], 2019, vol. 37, no. 1, pp. 5–10.
  38. Shapovalova N. N., Rybalchenko O. H., Kuropiatnyk D. I. Porivnialnyi analiz metodiv optymizatsii funktsionalu yakosti modelei mashynnoho navchannya [Comparative analysis of methods for optimizing the quality function of machine learning models]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnogo universytetu* [Bulletin of Kryvyi Rih National University], 2018, no. 46, pp. 104–111.
  39. Bessonov A. A. *Evoliutsiynyriuiushchye yskusstvennie neironnie sety priamoho rasprostraneniya: arkhitekturi, obuchenye, prymereniya: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.23. Kharkov* [Evolving artificial neural networks of direct propagation: architecture, training, application: diss. ... candidate technical Sciences: 05.13.23], 2017, 441p.
  40. Nicola's Garcí'a-Pedrajas, Domingo Ortiz-Boyer, Ce'sar Herva's-Martí'nez. An alternative approach for neural network evolution with a genetic algorithm: Crossover by combinatorial optimization. *Neural Networks*, 2006, no. 19, pp.514–528.
  41. Lievtierov O. A., Nechytailo Yu. A., Stepanova O. H. Pobudova systemy povedinky kohnitivnoho robota na osnovi evoliutsiynnykh alhorytmiv [Building a cognitive robot behavior system based on evolutionary algorithms]. *Tekhnolohiia pryborostroeniya* [Instrumentation technology], 2016, no. 2, pp. 77–80.
  42. Stetsenko I. V. *Modeliuвання system: navch. posib.* [Modeling of systems: training. manual] Cherkasy: ChDTU [Cherkasy: ChDTU], 2010, 399p.
  43. Makhno T. O. *Avtomatyzovana sistema obrobky ultrazvukovykh zobrazhen sonnykh arterii na osnovi evoliutsiynnykh alhorytmiv: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand.tekhn.nauk: spets. 05.13.06 «Informatsiini tekhnolohii»* [Automated system for processing ultrasound images of carotid arteries based on evolutionary algorithms: autoref. diss. for obtaining sciences. degree of candidate of technical sciences: spec. 05.13.06 «Information technologies»]. Vinnytsia, 2016, 22p.
  44. Fedorchenko Ye. M., Oliinyk A. O., Korniienko S. K., Kharchenko A. S., Honcharenko D. A. Osoblyvosti pobudovy rishen henetychnoho alhorytmu v zadachi rozpoznavannya obraziv zakhvoriuvannya pnevmonii [Peculiarities of constructing genetic algorithm solutions in the problem of pattern recognition of pneumonia]. *Reiestratsiia, zberihannya i obrobka danykh* [Registration, storage and processing of data], 2020, vol. 22, no. 3, pp. 76–95.
  45. Pohorilyi S. D., Bilous R. V. Henetychnyi alhorytm rozviazання zadachi marshrutyzatsii v merezhakh [A genetic algorithm for solving the problem of routing in networks]. *Problemy prohramuvannya* [Programming problems], 2010, no. 2–3, pp. 171–177.
  46. Kolesnikov K. V., Karapetian A. R., Tsarenko T. A. Henetychni alhorytmy dlia zadach bahatokryterialnoi optymizatsii v merezhakh adaptivnoi marshrutyzatsii danykh [Genetic algorithms for multi-criteria optimization problems in adaptive data routing networks]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh* [Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2013, no. 56 (1029), pp. 44–50.
  47. Nalapko O. L., Kozlov V. H. Metod klasteryzatsii danykh na osnovi evoliutsiynoi optymizatsii kotiachykh zghrai [Data clustering method based on evolutionary optimization of cat flocks]. *International scientific conference «New development areas of digitalization at the beginning of the third millennium»*. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2021, pp. 21–24.
  48. Saraiev D. O. *Optymyzatsiia zapytyv do baz danykh z vykorystanniam henetychnykh alhorytmiv: avtoref. mahisterskoi naukovoï roboty na zdobuttia osvinoï kvalifikatsii «Mahistr kompiuternykh nauk»: spets. 122 «Kompiuterni nauky»* [Optimization of queries to databases using genetic algorithms: autoref. master's thesis for obtaining the educational qualification «Master of Computer Science»: spec. 122 «Computer sciences»]. Mykolaiv, 2020, 18 p.
  49. Aponsoa G. C. A. L., Tennakomb T. M. T. I., Arampathc A. M. C. B., Kandeepand S., Amaratungae H. P. K. S. Database optimization using genetic algorithms for distributed. *DatabasesInternational Journal of Computer*, 2017, vol. 24, no. 1, pp. 23–27.
  50. Skitsko V. I., Tretyak T. B., Bondarchuk D. V. Vykorystannia henetychnykh alhorytmiv u ekonomikomatematychnomu modeliuванні: problemy, dosvid ta perspektivy [The use of genetic algorithms in economic-mathematical modeling: problems, experience and prospects]. *Ekonomika ta derzhava* [Economy and the state], 2016, no. 2, pp. 78–81.
  51. Budoratska T. L., Zhuravlova N. M. Vykorystannia henetychnykh alhorytmiv dlia optymizatsii struktury investytsiynoho portfelia tsinnykh paperiv [The use of genetic algorithms to optimize the structure of the investment portfolio of securities]. *Ekonomika: realii chasu* [Economy: realities of time], 2017, no. 1(29), pp. 26–33.
  52. Budoratskaia T. L., Zhuravleva N. M. Henetycheskye alhorytmy kak sredstvo optymizatsii v ekonomicheskykh zadachakh [Genetic algorithms as a means of optimization in economic problems]. *Matematychni metody, modeli ta informatsiini tekhnolohii v ekonomitsi* [Mathematical methods, models and information technologies in economics], 2017, no. 8, pp. 201–206.
  53. Huzhva V. M., Palamarchuk O. V. Vykorystannia henetychnykh alhorytmiv pry stvorenni ahentno-orientovanykh system v lohistytsi [The use of genetic algorithms in the creation of agent-oriented systems in logistics]. *Problemy ekonomiky* [Problems of the economy], 2012, no. 2, pp. 62–66.
  54. Luchakivskiyi A. O. Vykorystannia henetychnoho alhorytmu dlia optymizatsii finansovoï stiičnosti banku [Using a genetic algorithm to optimize the financial stability of the bank]. *Aktualnii problemy ekonomiky* [Current economic problems], 2016, no. 2(176), pp. 411–420.
  55. Hrynyk R. O., Polotai O. I. Zastosuvannya henetychnoho alhorytmu dlia rozkryttia rantsevoi kryptosystemy merkle-khelmana [Application of the genetic algorithm for revealing the Merkle-Hellman knapsack cryptosystem]. *Visnyk LDU BZhD* [Bulletin of LSU BZD], 2016, no. 14, pp. 77–83.
  56. Mints O. Yu. *Dysertatsiia metodolohiia modeliuвання innovatsiynnykh intelektualnykh system pryiniattia rishen v upravlinni ekonomichnyimi obiektamy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 08.00.11.* [Dissertation on the methodology of modeling innovative intelligent

- decision-making systems in the management of economic objects: diss. ... candidate technical Sciences: 08.00.11.] Mariupol, 2017, 414 p.
57. Rabindra Nath Shaw, Debayan Basu, Sumana Chowdhury. A comparative study between non-iterative zero tolerance method with evolutionary algorithm method for economic load dispatch. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2018, vol. 9, is. 4, pp. 207–213.
  58. Rohoza M. Ye., Stoliarchuk V. M. Analiz pidkhodiv do pryiniattia upravlynskykh rishen rozvytku ob'ektiv sfery obsluhovuvannya [Analysis of approaches to making management decisions for the development of service facilities]. *Elektronne naukove fakhove vydannia «Efektyvna ekonomika»* [Electronic scientific publication «Efficient Economy»], 2018, no. 2. www.economy.nayka.com.ua.
  59. Hrybkov S. V., Kharkianen O. V., Hladka Yu. A. Vykorystannia evrystychnykh i evoliutsiinykh alhorytmiv dlia rozv'iazannia zadach upravlinnia [The use of heuristic and evolutionary algorithms for solving management problems]. *Modeliuvannia ta informatsiini systemy v ekonomitsi : zb. nauk. pr.* [Modeling and information systems in the economy: coll. of science pr.]. Kyiv: KNEU, 2020, no. 99, pp. 41–55.
  60. Kremlyak Z. Optimising production systems using genetic algorithms. *Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium*. Vienna, DAAAM International, 2019, pp. 139–147.
  61. Sendziuk M. A., Naumenko I. V., Derzhuk O. V. Evoliutsiina stratehiia yak metod udoskonalennia zbalansovanoi systemy pokaznykiv upravlinnia pidpriemstvom [Evolutionary strategy as a method of improving a balanced system of enterprise management indicators]. *Visnyk sotsialno-ekonomichnykh doslidzhen: zb. nauk. prats.* Odesa: Odeskyi natsionalnyi ekonomichnyi universytet [Bulletin of socio-economic research: coll. of science works Odesa: Odesa National University of Economics], 2018, no. 1 (65), pp. 207–216.
  62. Fedorchenko Ye. M., Oliinyk A. O., Stepanenko O. O., Korniienko S. K., Kharchenko A. S., Honcharenko D. A. Rozrobka evoliutsiinykh alhorytmiv u zadachakh upravlinnia asortymentom merezhevykh aptek [The development of evolutionary algorithms in the tasks of managing the assortment of chain pharmacies]. *Shtuchnyi intelekt* [Artificial Intelligence], 2019, no. 3–4, pp. 58–71.
  63. Madden A. D. Genetic algorithms: a pragmatic, nonparametric approach to exploratory analysis of questionnaires in educational research. *Educational Research*, 1999, no. 41, pp. 163–172.
  64. Khasan Ali Al-Ababneh Model vyznachennia efektyvnosti reklamy iz zastosuvanniam henetychnoho alhorytmu [A model for determining the effectiveness of advertising using a genetic algorithm]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky* [Global and national economic problems], 2017, no. 15, pp. 328–331.
  65. Ovchynnikova O. R. Vykorystannia henetychnykh alhorytmiv v modeliuvanni mihratsiinykh protsesiv [The use of genetic algorithms in modeling migration processes]. *Sots.-ek. problemy suchas. periodu Ukrainy* [Socio-economic problems of the modern period of Ukraine], 2013, no. 3(101), pp. 458–465.
  66. Cedric Gondro, Brian Kinghorn. Application of evolutionary algorithms to solve complex problems in quantitative genetics and bioinformatics. Centre for Genetic Improvement of Livestock University of Guelph, 2008, 96 p.
  67. Kovalyshyn O. S. Analiz metodiv optymizatsii rozkladiv u konteksti vidnovliuvalnoi terapii [Analysis of scheduling optimization methods in the context of restorative therapy]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine], 2018, vol. 28, no. 8, pp. 136–140.

Надійшла (received) 30.06.2022

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Бондаренко Олексій Вікторович / Bondarenko Oleksiy** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; м. Харків, Україна; тел.: (067) 189-97-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2693-5301>; e-mail: [avbondko@gmail.com](mailto:avbondko@gmail.com)

**Устиненко Олександр Віталійович / Ustynenko Oleksandr** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-64-78; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6714-6122>; e-mail: [ustin1964@tmm-sapr.org](mailto:ustin1964@tmm-sapr.org)

**Протасов Роман Васильович / Protasov Roman** – Словацький технічний університет в Братиславі, старший викладач кафедри транспортної техніки та конструювання; м. Братислава, Словаччина; тел.: +421-949-352-655; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1611-0610>; e-mail: [roman.protasov@stuba.sk](mailto:roman.protasov@stuba.sk)

**Клочков Ілля Євгенович / Klochkov Illia** – магістр (M. Sc.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-69-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4923-2833>; e-mail: [s008@tmm-sapr.org](mailto:s008@tmm-sapr.org)

**Воронцов Борис Сергійович / Vorontsov Borys** – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), доцент, НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського», професор кафедри технології машинобудування, м. Київ, Україна; тел.: (095) 310-26-05; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-0971>; e-mail: [voronts@gmail.com](mailto:voronts@gmail.com)

**Матюшенко Микола Васильович / Matyushenko Mykola** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри геометричного моделювання та комп'ютерної графіки; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-64-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4727-8993>; e-mail: [matushenkonikolay@ukr.net](mailto:matushenkonikolay@ukr.net)

**Калінін Павло Миколайович / Kalinin Pavlo** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, Національна академія Національної гвардії України, доцент кафедри інженерної механіки; м. Харків, Україна; тел.: (099) 725-12-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9724-0630>; e-mail: [pkalining@gmail.com](mailto:pkalining@gmail.com)