

РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА НА ЗАСАДАХ ЗАДАЧ ДВОРІВНЕВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF THE ENTERPRISE AND THE PRINCIPLES OF TWO-LEVEL OPTIMIZATION PROBLEMS

У статті розглядаються підходи до управління економічною безпекою на засадах задач дворівневої оптимізації. У статті проаналізовано сучасні методи та моделі, що використовуються для оптимізації управлінських рішень з метою підвищення економічної безпеки. Розглянуто математичні моделі дворівневої оптимізації, що дозволяють вирішувати задачі оптимального розподілу ресурсів, управління ризиками, мінімізації витрат та максимізації прибутку. Аналіз показує, що підприємства, які впроваджують дворівневу оптимізацію, здатні більш гнучко реагувати на зміни зовнішнього середовища, ефективніше використовувати ресурси та знижувати ризики, пов'язані з фінансовою нестабільністю, конкуренцією та іншими загрозами. Стаття робить вагомий внесок у розвиток теоретичних та практичних основ забезпечення економічної безпеки підприємств, пропонуючи нові підходи та рішення, що можуть бути використані у сучасних умовах бізнесу.

Ключові слова: економічна безпека, підприємство, еволюційний алгоритм, оптимізаційна проблема, цільова функція, оператор кросовера, батьківська популяція, задача оптимізації.

The article considers approaches to economic security management based on two-level optimization problems. Two-level optimization allows you to take into account the complex hierarchical structure of decision-making in large organizations, where strategic decisions of the upper level affect tactical and operational decisions of the lower level. This approach ensures consistency and efficiency of management processes, contributing to the achievement of economic stability and security of the enterprise. The article analyzes modern methods and models used to optimize management decisions in order to increase economic security. Mathematical models of two-level optimization that allow solving the problems of optimal allocation of resources, risk management, cost minimization and profit maximization are considered. Special attention is paid to the algorithms for solving such problems, in particular to the methods of sequential iteration and decomposition. The authors study the practical aspects of the application of two-level optimization problems in the management of enterprises of various industries. Examples of successful use of such approaches in real conditions are given, demonstrating their effectiveness in ensuring economic security. The analysis shows that enterprises that implement two-level optimization are able to respond more flexibly to changes in the external environment, use resources more efficiently, and reduce risks associated with financial instability, competition, and other threats. Thus, two-level optimization problems are a powerful tool for increasing the economic security of an enterprise. They enable the integration of strategic and tactical aspects of management, ensuring the integrity and consistency of decisions at all levels of the organization. The article makes a significant contribution to the development of the theoretical and practical foundations of ensuring the economic security of enterprises, offering new approaches and solutions that can be used in modern business conditions. Developed issues of ensuring the economic security of the enterprise in conditions of market turbulence.

Key words: economic security, enterprise, evolutionary algorithm, optimization problem, objective function, crossover operator, parent population, optimization problem.

УДК 331.101:004.8

DOI: <https://doi.org/10.32782/bses.87-18>

Македон В.В.

д.е.н., професор,
професор кафедри міжнародної економіки
і світових фінансів,
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара

Makedon Viacheslav

Oles Honchar Dnipro National University

Постановка проблеми. У сучасному економічному середовищі підприємства стикаються з численними викликами, що загрожують їхній стабільності та безпеці. Зміни в ринковій кон'юктурі, фінансові кризи, конкуренція, загроза рейдерських захоплень, економічні санкції та інші фактори створюють ризики, що можуть негативно вплинути на діяльність підприємств. Забезпечення економічної безпеки стає критично важливим завданням для будь-якої організації, яка прагне стабільного розвитку та конкурентоспроможності. Задачі дворівневої оптимізації дозволяють враховувати складну структуру прийняття рішень на різних рівнях управління підприємством, що особливо актуально в умовах нестабільності та невизначеності. Дворівнева оптимізація забезпечує опти-

мальний розподіл ресурсів і управління ризиками, що дозволяє підприємству більш ефективно реагувати на зовнішні та внутрішні загрози.

Використання математичних методів та моделей, зокрема дворівневої оптимізації, відповідає сучасним тенденціям цифровізації та автоматизації управлінських процесів, що дозволяє підприємствам бути більш адаптивними та інноваційними. Таким чином, дослідження забезпечення економічної безпеки підприємства на засадах задачі дворівневої оптимізації є надзвичайно актуальним та своєчасним. Воно сприятиме розвитку нових підходів до управління ризиками, підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення стабільного розвитку підприємств у сучасному динамічному економічному середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [10] зазначається, що в основі детермінованих евристичних методів оптимізації лежить принцип знаходження локально кращого рішення на кожному кроці. Пошук глобально кращого рішення забезпечується через вибір рішення, яке є найкращим на всіх ітераціях. Розглянуті у роботі [13] алгоритми ройового інтелекту і еволюційні алгоритми є алгоритмами дискретної оптимізації, оскільки здійснюють пошук кращого рішення ітеративно. При цьому область використання цих методів включає як безперервні завдання, так і дискретні і гібридні. В основі цих алгоритмів лежать принципи та закономірності, що спостерігаються в природі. Вони належать до популяційних методів, оскільки використовують системи, які з агентів.

У статті [4] запропоновано спосіб віднесення алгоритмів до ройових: у формулах, що описують міграцію агентів рою, необхідна наявність об'єкта, який дає можливість непрямого обміну інформацією між ними. У роботах [2], [8] описано основні етапи процесу оптимізації всіма популяційними алгоритмами. На першому етапі відбувається ініціалізація популяції. Вона полягає у створенні на просторі пошуку заданої кількості наближень до шуканого рішення. На другому етапі здійснюється міграція агентів популяції шляхом їх переміщення за допомогою набору специфічних міграційних операторів за простором рішень для наближення до екстремуму функції, що оптимізується. На етапі перевіряються умови припинення роботи алгоритму. У разі виконання краще положення агентів приймається за наближене рішення завдання, інакше процес пошуку триває і алгоритм повертається до виконання другого етапу.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження ефективності використання ройових та еволюційних алгоритмів у вирішенні прикладних завдань забезпечення економічної безпеки підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Багато оптимізаційні проблеми та процеси прийняття рішення, з якими стикаються підприємства для забезпечення економічної безпеки, є ієрархічними в тому сенсі, що на прийняте рішення на верхньому рівні впливають суб'єкти нижчого рівня. Завдання дворівневої оптимізації є клас складних оптимізаційних завдань, у яких одне завдання містить іншу як обмеження. Їхня структура передбачає, що оптимальне рішення задачі нижнього рівня – це відповідний кандидат для оптимізаційного завдання верхнього рівня. Завдання містить два класи змінних: $x_u \in X_u \subset R^n$. Змінні верхнього рівня $x_l \in X_l \subset R^m$ – змінні нижнього рівня. Для задачі нижнього рівня оптимізаційна задача включає себе x_l , як змінні x_u , як параметри. Різні x_u утворюють різні завдання нижнього рівня, для яких потрібно знайти оптимальне

рішення. Оптимізаційні завдання верхнього рівня зазвичай включають всі змінні $x=(x_u, x_l)$ і оптимізація проводиться для обох наборів змінних. Нехай $\psi : R^n \rightarrow R^m$ задане значення відображення $\psi(x_u) = \arg \min \{f_0(x_u, x_l) : f_j(x_u, x_l) \leq 0, j = 1 \dots l\}$, яке описує обмеження завдання нижнього рівня, тобто $\psi(x_u) \subset X_l$ для кожного $x_u \in X_u$ [1]. Тоді задача дворівневої оптимізації може бути виражена як загальне обмеження оптимізаційної проблеми (1):

$$\text{minimize}_{x_u \in X_u, x_l \in X_l} F_0(x_u, x_l), \quad (1)$$

при обмеженні:

$$x_l \in \psi(x_u), F_k(x_u, x_l) \leq 0, k = 1 \dots K, \quad (2)$$

де ψ можна інтерпретувати як параметризоване обмеження діапазону можливих розв'язків задачі нижнього рівня x_l .

Граф відображення допустимих рішень інтерпретується як підмножина $X_u \times X_l$, яка відображає зв'язки між рішеннями зовнішнього рівня та відповідними оптимальними рішеннями нижнього рівня. Область визначення $\bar{\psi}$, отримана як проекція $grh \bar{\psi}$ на просторі рішень верхнього рівня X_u це всі точки $x_u \in X_u$, в яких завдання нижнього рівня має хоча б одне оптимальне рішення, тобто [10]:

$$\text{dom} \bar{\psi} = \{x_u \mid \bar{\psi}(x_u) \neq \emptyset\}. \quad (3)$$

Так само діапазон визначається як:

$$\text{rge} \bar{\psi} = \{x_l \mid x_l \in \bar{\psi}(x_u)\}. \quad (4)$$

Для деяких x_u що відповідає проекції $grh \bar{\psi}$ на простір рішень нижнього рівня X_l . На рис. 1. показано структуру дворівневої задачі щодо двох компонентів: $grh \bar{\psi}$, який дає граф відображення рішень нижнього рівня $\bar{\psi}$ як підмножина $X_u \times X_l$ та графік F_0 , складений на $grh \bar{\psi}$, який зображує цільову функцію верхнього рівня щодо змінних верхнього рівня, коли нижній рівень оптимальний $x_l \in \bar{\psi}(x_u)$ [9].

Заштрихована область $grh \bar{\psi}$ показує ділянки, де є кілька оптимальних векторів нижнього рівня, відповідних будь-якому вектору верхнього рівня. З іншого боку, незаштриховані ділянки графіка демонструють області, в яких $\bar{\psi}$ однозначне відображення, тобто є єдиний оптимальний вектор нижнього рівня, що відповідає будь-якому вектору верхнього рівня. Розглядаючи $grh \bar{\psi}$ як область визначення $\bar{\psi}$ можна інтерпретувати як функцію від x_u , тобто $F_0(x_u, \bar{\psi}(x_u))$. Отже, коли $\bar{\psi}$ є багатозначним, на F_0 з'являється заштрихована область, яка показує різні значення функції верхнього рівня для будь-якого вектора верхнього рівня з декількома оптимальними рішеннями нижнього рівня.

Так, на рис. 2. заштрихована область $grh \bar{\psi}$ відповідає заштрихованій області F_0 для векторів верхнього рівня між $x_u^{(1)}$ та $x_u^{(2)}$ [9].

На рис. 3. зображено більш детальна тривимірна ілюстрація ситуації, коли значення цільових

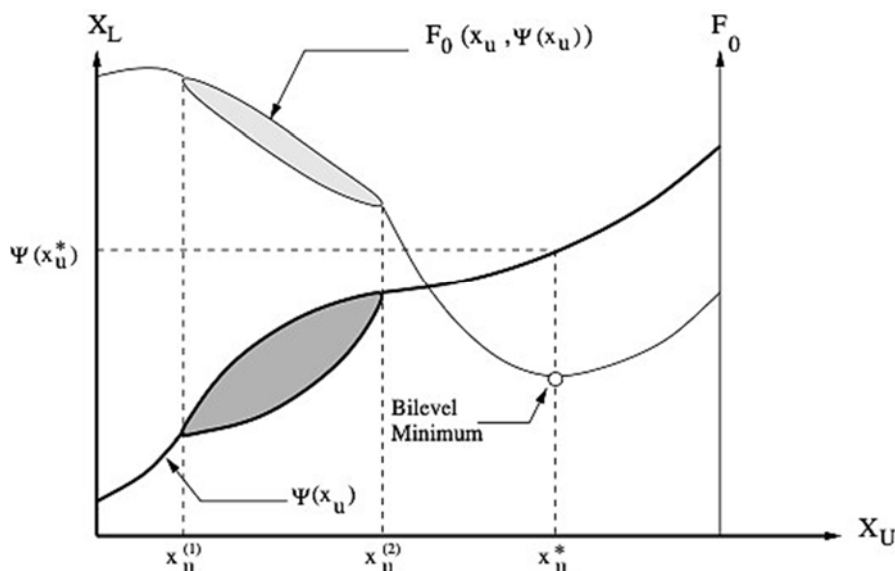


Рис. 1. Графічне зображення ψ -відповідності для x_u та оптимального x_u , і цільова функція верхнього рівня F_0 , яка визначає x_u , коли x_l оптимальний

Джерело: розроблено автором

функції верхнього та нижнього рівня F_0 та f_0 на різних просторах рішень $X_U \times X_L$. У разі значення F_0 на графік щодо змінних рішення верхнього рівня аналогічні. Однак на додаток до попереднього малюнка описана цільова функція нижнього рівня f_0 , яка залежить від рішення верхнього рівня [6].

На рис. 2 три області A , B і C представляють три завдання оптимізації нижчого рівня, параметризовані $x_u^{(1)}$ та $x_u^{(2)}$ відповідно. Як тільки вектор рішень верхнього рівня зафіксовано, цільову функцію нижнього рівня можна інтерпретувати як від x_l . Отже, кожна заштрихована область показує графік однієї змінної f_0 від X_L при заданому зафіксованому x_u . На площині A , що відповідає рішенням верхнього рівня $x_u^{(1)}$, можна побачити, що на нижньому рівні існує декілька оптимальних рішень. Отже, ψ також має бути багатозначним у цій точці і набір оптимальних рішень нижнього рівня визначається як $\psi(x_u^{(1)})$.

Для двох інших областей B і C є тільки одне рішення нижнього рівня для заданого x_u , що відповідає однозначності ψ в цих точках. Оптимальне рішення верхнього рівня знаходиться в точці (x_u^*, x_l^*) , де: $\psi(x_u^*) = \{x_l^*\}$

Порівняльний аналіз еволюційного та ройового алгоритму для забезпечення економічної безпеки проводився для дворівневої задачі оптимізації, описаної нижче. Нехай є n змінних, $n > 0$. Задано функцію двох змінних x_i і c_i (5).

$$t_i(x_i, c_i) = t_i^0 \left(1 + 0,15 \left[\frac{x_i}{c_i}\right]^4, \forall i = \overline{1, n}\right) \quad (5)$$

де $t_i^0 > 0$ для всіх $i = \overline{1, n}$.

Завдання дворівневої оптимізації щодо змінних $c = (c_1, \dots, c_n)^T$ та $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ представлена у вигляді виразу (6):

$$\min c = \sum_{i=1}^n t_i(x_i, c_i) x_i \quad (6)$$

при обмеженнях на c :

$$\sum_{i=1}^n c_i \leq C, \quad (7)$$

$$c_i \geq 0, \forall i = \overline{1, n}$$

і x , що отримується як рішення оптимізаційної задачі нижнього рівня (8):

$$x_i = \arg \min_x \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} t_i(u, c_i) du \quad (8)$$

при обмеженнях на x (9):

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq F, \quad (9)$$

$$x_i \geq 0, \forall i = \overline{1, n}$$

У цьому $C > 0$ і $F > 0$ – задані константи.

Таким чином, було дано визначення та постановка завдань дворівневої оптимізації. Завдання дворівневої оптимізації є клас складних оптимізаційних завдань, у яких одне завдання містить іншу як обмеження. Їхня структура передбачає, що оптимальне рішення задачі нижнього рівня – це відповідний кандидат для оптимізаційного завдання верхнього рівня. Як еволюційний алгоритм для аналізу було обрано bilevel evolutionary algorithm based on quadratic approximation (BLEAQ). Оптимізаційна стратегія ґрунтується на апроксимації оптимальних змінних нижнього рівня функцією змінних верхнього [3]. На першому етапі ініці-

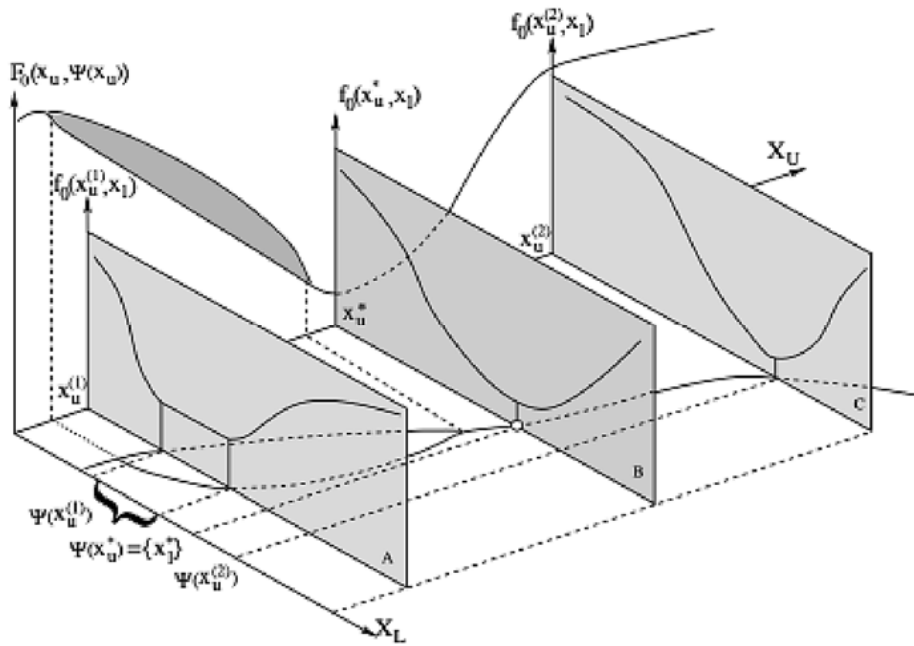


Рис. 2. Графічне уявлення простої задачі дворівневої оптимізації для забезпечення економічної безпеки

Джерело: розроблено автором

алізується початкова популяція членів верхнього рівня зі випадковими змінними верхнього рівня. До кожного члена верхнього рівня вирішується завдання оптимізації нижнього рівня з використанням схеми оптимізації нижнього рівня та відзначаються оптимальні рішення нижнього рівня. На основі отриманих оптимальних рішень нижнього рівня встановлюється квадратична залежність між змінними верхнього рівня та кожною оптимальною змінною нижнього рівня. Шляхом оцінки середньоквадратичної помилки визначається якість отриманої моделі і, якщо вона задовільна, її можна використовувати для прогнозування оптимальних змінних нижнього рівня для будь-якого заданого набору змінних верхнього рівня для забезпечення економічної безпеки підприємства [12]. На кожній ітерації алгоритму квадратична апроксимація повторюється і покращується в міру того, як населення сходиться до справжнього оптимуму. По завершенні роботи алгоритму можна отримати не тільки оптимальні рішення, але й прийнятно точні функції, що представляють відносини між змінними верхнього та нижнього рівня оптимуму. Нижче наведено покрокову структуру роботи алгоритму.

Крок 1. Ініціалізація: алгоритм починається з ініціалізації випадкової популяції розміру N шляхом генерування необхідної кількості змінних верхнього рівня та проведення процедури оптимізації функції нижнього рівня шляхом визначення оптимального значення відповідних змінних нижнього рівня. Як оптимізована функція вибирається функція верхнього рівня з рекомендованими обмеженнями [7].

Крок 2. Позначка: всі змінні верхнього рівня, які пройшли оптимізацію на нижньому рівні, позначаються одиницею, інакше їх тег дорівнює нулю.

Крок 3. Вибір змінних верхнього рівня: в поточній популяції в якості одного з батьків вибирається найкраща особина з позначкою 1. Також з популяції випадково вибираються 2(т) рішення $x^{(i)}$ є припустимим, а рішення $x^{(j)}$ ні.

Рішення $x^{(i)}$ та $x^{(j)}$ обидва невідповідні, але рішення $x^{(i)}$ менше порушує обмеження.

Рішення $x^{(i)}$ та $x^{(j)}$ обидва відповідні, але цільова функція при $x^{(i)}$ менше, ніж при $x^{(j)}$.

В) Оператор кросовера. Оператор кросовера використовує трьох батьків для створення нащадків за наступним правилом (10):

$$c = x^{(p)} + w_{\xi}d + w_{\eta} \frac{p^{(2)} - p^{(1)}}{2}, \quad (10)$$

де $x^{(p)}$ – «index parent»;

$d = x^{(p)} - g$, де g – середнє батьків;

$p^{(1)}, p^{(2)}$ – два інші батьки;

$$w_{\xi} = 0,1, w_{\eta} = \frac{\dim(x^{(p)})}{\|x^{(p)} - g\|} - \text{два параметри.}$$

Два параметри w_{ξ}, w_{η} описують ступінь варіацій у відповідних напрямках. На верхньому рівні перетин виконується лише зі змінними верхнього рівня, а змінні нижнього рівня визначаються із квадратичної функції або викликом оптимізації нижнього рівня. На нижньому рівні перетин виконується лише зі змінними нижнього рівня, а змінні верхнього рівня залишаються фіксованими як параметри.

Висновки з проведеного дослідження. Запропонований алгоритм був модифікований

шляхом зміни способу оптимізації функції верхнього рівня. Замість еволюційного відбору та отримання потомства за допомогою кросовера та поліноміальної мутації було організовано переміщення проініціалізованих рішень на верхньому рівні по простору пошуку. Для цього кожне рішення верхнього рівня було представлено як частка, що має пам'ять. Частка знає своє найкраще становище та найкраще становище, знайдене роєм за всі ітерації. Як еволюційний алгоритм було обрано алгоритм BLEAQ, що показав свою ефективність у вирішенні задач однокритеріальної дворівневої оптимізації. Алгоритм був модифікований шляхом заміни еволюційних механізмів у ньому роєвими евристичними та новий алгоритм BPSOQ для забезпечення економічної безпеки підприємства.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Безклубенко І.С., Гетун Г.В., Баліна О.І., Буценко Ю.П. Дослідження властивостей множини ефективних значень критеріїв в задачі оптимізації інженерної мережі. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51. С. 81–86.
2. Горда О.В., Цюцюра С.В., Лященко Т.О. Cognitive elements of information environments. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51. С. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.49-57>
3. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2016. 142 с.
4. Димова Г.О. Розробка моделі складання розкладу занять методом еволюційного пошуку. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 2. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.1>
5. Македон В.В. Розвиток системи стратегічного менеджменту міжнародних компаній на засадах крос-функціонального підходу. *European Journal of Management Issues*. № 31(3). С. 177–188. DOI: <https://doi.org/10.15421/192315>
6. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16–26. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3>
7. Македон В.В., Маковецька А.О. Інформаційне забезпечення економічної безпеки підприємств в умовах ринкової нестабільності. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. Серія: «Економічні науки». 2023. № 12. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-12-9477>
8. Македон В.В., Чабаненко А.В. Факторні складові цифровізації глобальної економіки та макроекономічних систем країн світу. *Ефективна економіка*. 2022. № 1. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.11>
9. Олійник Д., Олійник Л. Про ефективність операторної модифікації генетичного алгоритму в задачах двовимірної оптимізації. *Грааль науки*. 2022.

№ 11. С. 221–229. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.038>

10. Korte B., Vygen J. *Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms (Algorithms and Combinatorics)*, Springer. New York, 2018. 455 p.

11. La Torre D., Colapinto C., Durosini I., & Triberti S. Team Formation for Human-Artificial Intelligence Collaboration in the Workplace: A Goal Programming Model to Foster Organizational Change. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2023. Volume 70. Issue 5. P. 1966–1976. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3077195>

12. Makedon V., Valikov V., Kurinnaya I., Koshlyak E. Strategic innovative development of the enterprises: theory and methodology. *Scientific journal Economics and finance*. 2019. Issue 2. P. 52–62.

13. Yang X.S. Firefly algorithms for multimodal optimization. In proceedings of the 5th Symposium on Stochastic Algorithms, *Foundations and Applications*. 2009. P. 169–178.

REFERENCES:

1. Bezklubenko, I. S., Getun, G. V., Balina, O. I., Butsenko, Yu. P. (2022). Doslidzhennya vlastyvostey mnozhyny efektyvnykh znachen' kryteriyiv v zadachi optymizatsiyi inzhenernoyi merezhi [Study of the properties of the set of effective criteria values in the engineering network optimization problem]. *Management of the development of complex systems*, no. 51, pp. 81–86. (in Ukrainian)
2. Gorda, O. V., Tsiucsyura, S. V., Lyashchenko, T. O. (2022). Cognitive elements of information environments. *Management of the development of complex systems*, no. 51, pp. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.49-57> (in Ukrainian)
3. Hulianytskyi, L., Mulesa, O. (2016). Prykladni metody kombinatornoї optymizatsiyi [Applied methods of combinatorial optimization]. Kyiv. (in Ukrainian)
4. Dymova, G. O. (2022). Rozrobka modeli skladannya rozkladu zanyat' metodom evolyutsiynoho poshuku [Development of a model for drawing up a class schedule by the evolutionary search method]. *Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences*, (2), 3–9. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.1> (in Ukrainian)
5. Makedon, V. V. (2023) Rozvytok systemy stratehichnoho menedzhmentu mizhnarodnykh kompaniy na zasadakh kros-funktsional'noho pidkhodu [Development of the Strategic Management System of International Companies on the Basis of Cross-functional Approach]. *European Journal of Management Issues*, no. 31(3), pp. 177–187. DOI: <https://doi.org/10.15421/192315> (in Ukrainian)
6. Makedon, V. V., Bailova, O. O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya tsyfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyy visnyk Kherson's'koho derzhavnoho universytetu. Seriya «Ekonomiczni nauky»*, Issue 47, pp. 16–26. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3> (in Ukrainian)

7. Makedon, V. V., Makovets'ka, A. O. (2023) Informatsiyne zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky pidpriumstv v umovakh rynkovoyi nestabil'nosti. [Information provision of economic security of enterprises in conditions of market instability]. *Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal "Internauka". Seriya: "Ekonomichni nauky"*, 12. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-12-9477> (in Ukrainian)
8. Makedon, V., Chabanenko, A. (2022) Faktorni skladovi tsyfrovizatsiyi hlobal'noyi ekonomiky ta makroekonomichnykh system krayin svitu [Factor components of digitalization of the global economy and macroeconomic systems of countries]. *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 1. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.11> (in Ukrainian)
9. Oliynyk, D., & Oliynyk, L. (2022). Pro efektyvnist' operatornoyi modyfikatsiyi henetychnoho alhorytmu v zadachakh dvovymirnoyi optymizatsiyi [On the efficiency of operator modification of the genetic algorithm in two-dimensional optimization problems]. *Grail of science*, (11), 221–229. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.038> (in Ukrainian)
10. Korte, B., Vygen, J. (2018). *Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms* (Algorithms and Combinatorics), Springer, New York.
11. La Torre, D., Colapinto, C., Durosini, I., & Triberti S. (2023). Team Formation for Human-Artificial Intelligence Collaboration in the Workplace: A Goal Programming Model to Foster Organizational Change. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Volume 70, Issue 5, 1966–1976. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3077195>
12. Makedon, V., Valikov V., Kurinnaya I., Koshlyak E. (2019). Strategic innovative development of the enterprises: theory and methodology, *Scientific journal Economics and finance*, issue 2, 52–62.
13. Pan, W., Xie, T., Wang, Z., Ma, L. (2022). Digital economy: An innovation driver for total factor productivity. *Journal of Business Research*, 139, 303–311.
14. Yang, X.S., Chen, J. (2007). Algorithm of Marriage in Honey Bees Optimization Based on the Wolf Pack Search. In *proceedings of the International Conference of Intelligent Pervasive Computing*, 462–467.