УДК 519.81 doi: 10.15421/322208

Н.Л. Козакова, О.В. Черницька, П.О. Шейченко
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАСТОСУВАННЯ ЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ БАНКУ

Запропоновано узагальнений алгоритм формування оптимального кредитного портфеля банку за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації із застосуванням евристичних алгоритмів. Математична модель представлена у вигляді послідовного алгоритму зведення багатокритеріальної задачі до задачі умовної оптимізації, та застосування методу штрафних функцій для послідовного розв'язання задач безумовної оптимізації. На кожному кроці запропоновано застосування евристичних алгоритмів. Вказано особливості застосування та чисельної реалізації алгоритмів.

Ключові слова: кредитний портфель, багатокритеріальна оптимізація, метод штрафних функцій, генетичні алгоритми.

N.L. Kozakova, O.V. Chernytska, P.O. Sheychenko
Oles Honchar Dnipro National University

APPLICATION OF HEURISTIC ALGORITHMS FOR THE FORMATION OF THE BANK'S CREDIT PORTFOLIO

Existing methods and criteria for quality assessment loan portfolios cannot always be objectively assessed and forecasted potential threats to the financial stability of banks. This is evidenced by the high the level of problem loans of Ukrainian banks. Lending is a common banking operation institutions that bring them income. This is the main reason for the development effective credit policy. Effective commercial credit policy bank must contain important elements of credit organization the bank's policies, areas of credit activity and measures that are developed depending on the specific banking institution. Qualitative credit policy will contribute to increasing profit ability and stability of the bank's activities. Considering this, the task of construction becomes urgent mathematical model of the formation of a commercial credit portfolio the bank. In this work, the most effective heuristic algorithms were used to solve the combinatorial optimization problem. The software implementation of the selected heuristics has been completed algorithms for determining the optimal solution of the given multi-criteria problem, as well as a developed decision-making system for the formation of an optimal credit portfolio.

The developed software is a decision-making system that allows the bank's expert to identify the most profitable customers, which contributes to higher profits and lower risk for the bank. During the analysis of the results of the software product, it was determined that the genetic algorithm has advantages in the running time of the program, but it gives the greatest deviation of the values of the profit and risk functions from the mathematical expectation of the general population. The particle swarm algorithm works the longest. The most effective algorithms for solving the given problem are the mimetic algorithm and the bee colony algorithm.

© Козакова Н.Л., Черницька О.В., Шейченко П.О., 2022

Keywords: loan portfolio, multicriterial optimization, method of penalty functions, genetic algorithms.

Н.Л. Козакова, О.В. Черницкая, П.А. Шейченко
Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ БАНКА

Предложен обобщенный алгоритм формирования оптимального кредитного портфеля банка с помощью эвристических алгоритмов. Математическая модель представлена в виде алгоритма последовательного решения многокритериальной задачи, условной и безусловной задачи оптимизации. Указаны особенности применения и численной реализации алгоритмов.

Ключевые слова: кредитный портфель, многокритериальная оптимизация, метод штрафных функций, генетические алгоритмы.

Вступ. Існуючі методи та критерії оцінки якості кредитних портфелів не завжди дають можливість об’єктивно оцінити й спрогнозувати потенційні загрози фінансовій стабільності банків. Про це свідчить високий рівень проблемних кредитів банків України. Кредитування являє собою поширену операцію банківських установ, тому актуальною є задача розробки ефективної кредитної політики банку.

Задачі формування банківського портфеля присвячено багато наукових робіт. Так, в [1] побудовано математичну модель портфеля комерційного банку на основі бухгалтерського балансу з врахуванням економічних нормативів регулювання діяльності банків. Застосуванню класичної портфельної теорії для моделювання багатокритеріальної оптимізації кредитного портфеля банку в ситуації ризику неповернення позичок присвячено роботу [2]. В [3] для формування кредитного портфеля банку використано інструментарій нечіткої логіки системи Matlab.

Ми пропонуємо при розробці системи прийняття рішень для формування оптимального кредитного портфеля застосувати евристичні алгоритми.

Кожен день клієнти звертаються до відділів комерційних банків з приводу кредитування. У кожному такому відділі існує свій ліміт видачі на загальну суму кредитів за окремий період. При цьому менеджери завчасно розуміють, які кредити є більш прибутковими, а які менш прибуткові. Кожен кредит має свій ризик неповернення, і комерційний банк має це враховувати. Для клієнтів з великим відсотком ризику збільшують відсоткову ставку кредитування. Чим більш ризикований кредит, тим більш високу ставку виставляє банк і навпаки, якщо клієнт має низький відсоток ризику, він має поручителів, майно та потрібні документи, банк має зменшувати відсоткову ставку.

Дохід комерційного банку вагомо пов’язаний з ризиком кредиту. Основна задача полягає у виборі такої стратегії кредитування, щоб максимізувати дохід банку та мінімізувати ризик. Для її розв’язання потрібні експертні оцінки ризику та дані по кредитам клієнтів.

Поставлена задача відноситься до класу задач багатокритеріальної умовної оптимізації з обмеженнями на суму кредитів. Алгоритм розв'язання цієї задачі теорії прийняття рішень полягає у послідовному застосуванні методу зведення її до задачі однокритеріальної оптимізації та методу штрафних функцій для зведення до задачі безумовної оптимізації. Для розв'язання задачі безумовної оптимізації запропоновано застосування таких евристичних алгоритмів: генетичний, міметичний, бджолиного рою та рою частинок.

Постановка задачі. Припускається, що задана деяка скінченна кількість N позичальників кредитів банку. Введемо у розгляд вектор булевих змінних $x = x_1, x_2, ..., x_N$, $x_j \in 0,1$, $j = \overline{1,N}$, де $x_j = 1$ у разі видачі j-му позичальнику кредиту у сумі k_j, інакше $x_j = 0$. Нехай відомі такі значення: t_j – термін, на який j-ий позичальник бере кредит; d_j – відсоток за користування j-им кредитом (не передбачається, що відсотки сплачуються одноразово з поверненням кредиту) та P_j – ймовірність невиконання позичальником обов'язків щодо повернення кредиту і відсотків $k_j(1 + d_j t_j)x_j$. В даній постановці передбачається два варіанти обслуговування боргу позичальником: 100% повернення разом з відсотками за встановлений термін або повна відсутність платежів за даним кредитом.

Визначимо множину допустимих розв'язків задачі як

$$D = \left\{ x \,|\, x_j \in 0,1,\ j = \overline{1,N} : g(x) = \sum_{j=1}^{N} k_j x_j - F \le 0, \sum_{j=1}^{N} x_j \neq 0 \right\},$$

де F – сума вільних пасивів, які має банк в даний момент.

Розглянемо двокритеріальну задачу оптимізації очікуваних відсотків від комбінацій кредитних заявок (тобто доходу)

$$E(x) = \sum_{j=1}^{N} k_j (1 + d_j t_j) x_j \tag{1}$$

та сумарний ризик кредитного портфелю

$$R(x) = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N} x_j} \sum_{j=1}^{N} P_j k_j (1 + d_j t_j) x_j \tag{2}$$

з такими критеріями

$$\begin{cases} E(x) \to \max, \\ R(x) \to \min, \\ x \in D. \end{cases} \tag{3}$$

Областю компромісів називається підмножина допустимої множини рішень, що володіє тією властивістю, що всі належні їй рішення не можуть бути покращені одночасно за всіма локальними критеріями [4].

Оптимальне рішення, яке обирається на основі багатокритеріального підходу, незалежно від принципу оптимальності, що обирається, завжди має

належати області компромісів. Інакше воно може бути покращене і, отже, не є оптимальним. Таким чином, область компромісів є областю потенційно оптимальних компромісів. Звідси випливає, що при виборі рішення за векторного критерію ефективності можна обмежити пошук оптимального рішення областю компромісів, яка, як правило, значно менше всієї області можливих рішень. Необхідно знайти компромісне рішення x^*.

Методи розв'язання. Метод лінійної згортки критеріїв є найвідомішим і найпоширенішим при вирішенні прикладних багатокритеріальних задач оптимізації. Він полягає в призначення тим чи іншим способом коефіцієнтів у лінійній згортці (лінійної комбінації) вихідних критеріїв та наступної її екстремізації на безлічі допустимих варіантів. Згідно з цим методом знайдене таким способом рішення вважається "найкращим". Умовою успішного використання лінійної згортки є приведення критеріїв до певної єдиної шкали, тобто нормалізація критеріїв. Найбільш поширеним перетворенням цього типу є заміна вихідних критеріїв (1), (2) на критерії виду [4]:

$$\tilde{E}(x) = \frac{E^{\max}(x) - E(x)}{E^{\max}(x)},\ \tilde{R}(x) = \frac{R(x) - R^{\min}(x)}{R^{\min}(x)},$$

де $E^{\max}(x)$ та $R^{\min}(x)$ – максимальне і мінімальне значення функції (1), (2) на множині D за умови їх існування.

Після нормалізації критеріїв (1) – (2) використовуємо значення коефіцієнтів лінійної згортки $\lambda_1 > 0,\ \lambda_2 > 0,\ \lambda_1 + \lambda_2 = 1,$ які запропоновані особою, що приймає рішення, для формування суперкритерію

$$S(x) = \lambda_1 \tilde{R}(x) + \lambda_2(-\tilde{E}(x)).$$

Отже, задачу (3) зведено до задачі

$$S(x) \to min\ , \tag{4}$$

з обмеженням

$$g(x) = \sum_{j=1}^{N} k_j x_j - F \le 0\,. \tag{5}$$

Для переходу від задачі умовної оптимізації із обмеженнями до задачі безумовної оптимізації доцільно застосувати метод штрафних функцій, в яких оптимум апроксимується зовні.

Метод зовнішньої точки (метод штрафів) розв'язання задачі (4) – (5) полягає в заміні цієї задачі послідовністю задач безумовної мінімізації функцій

$$S_k = S(x) + P(x, r_k)\,. \tag{6}$$

Означення. Послідовність функцій $P(x, r_k)$, $k = 1,2,...$ називається штрафною функцією множини D (зовнішньою штрафною функцією), якщо

1) Функції $P(x, r_k)$ визначені і невід'ємні в усіх внутрішніх точках допустимої множини D;

2) $\lim\limits_{k\to+\infty} P(x,r_k)=\begin{cases}0, & \text{якщо } x\in D,\\ +\infty, & \text{якщо } x\notin D.\end{cases}$

Теорема про збіжність [5]. Нехай цільова функція $S(x)$ є неперервною, а штрафна функція має такі властивості:

1) $P(x,r_k)$ неперервна по змінним x та r_k і $P(x,r_k)=0$ при $x\in D$;
2) $P(x,r_k)$ монотонно зростає із зростанням r_k;
3) для довільної сталої C множина $X_C=\ x\in E^n : S_k(x)\le C\ $ є обмеженою.

Тоді:

1) функція S_k досягає на E^n свого мінімуму S_k^* в деякій точці x_k^*, при цьому $S_k^*\le S_*$, де $S_*=\min\limits_{x\in D} S(x)$ і $S_k^*\to S_*$;
2) будь-яка гранична точка x^* послідовності x_k^* при $r_k\to+\infty,\ k\to+\infty$ є точкою мінімуму функції $S(x)$ на множині D, вся послідовність x_k^* збігається до x^*.

Штрафну функцію можна будувати різними способами. Було обрано функцією штрафу

$$P(x,r_k)=r_k\cdot(g^+(x))^2,$$

де

$$g^+(x)=\max\ \ g(x),0\ \ .$$

Алгоритм методу зовнішньої точки.

Початковий етап. Задати точку $x^{(1)}\in E^n$, штрафний параметр $r_1=1$ і число $\beta=10$. Вибрати $\varepsilon>0$ як константу зупинки. Покласти $k=1$ та перейти до основного етапу.

Основний етап. Крок 1. При початковій точці $x^{(k)}$ розв’язати таку задачу безумовної оптимізації:

$$S_k=S(x)+P(x,r_k)\to\min.$$

Покласти $x^{(k+1)}$ таким, що дорівнює оптимальному розв'язку цієї задачі і перейти до кроку 2.

Крок 2. Якщо $P(x,r_k)\le\varepsilon$, то зупинитися, у протилежному випадку покласти $r_{k+1}=\beta\cdot r_k$, замінити k на $k+1$ та перейти до кроку 1.

Алгоритм описаний.

Для розв’язання задачі (6) на кожному кроці ітераційного процесу були застосовані евристичні алгоритми, а саме: генетичний, бджолиний, міметичний та рою частинок [6]. Блок-схеми застосованих алгоритмів наведені на рис. 1–4.

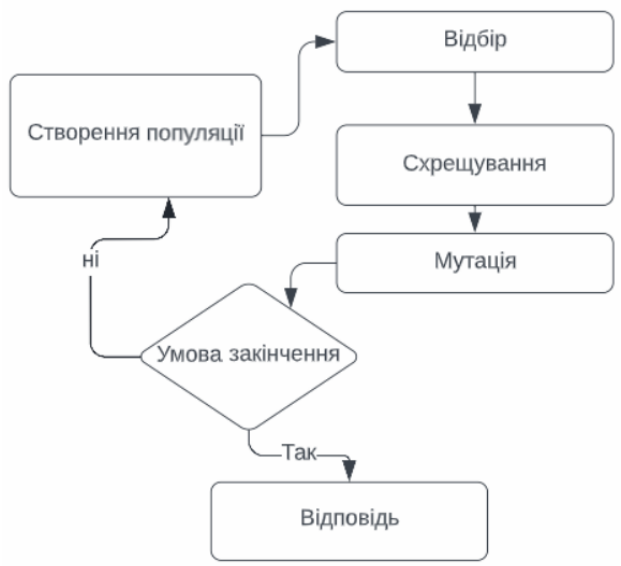


Рис. 1. Блок-схема генетичного алгоритму



Рис. 2. Блок-схема міметичного алгоритму



Рис. 3. Блок-схема алгоритму рою частинок

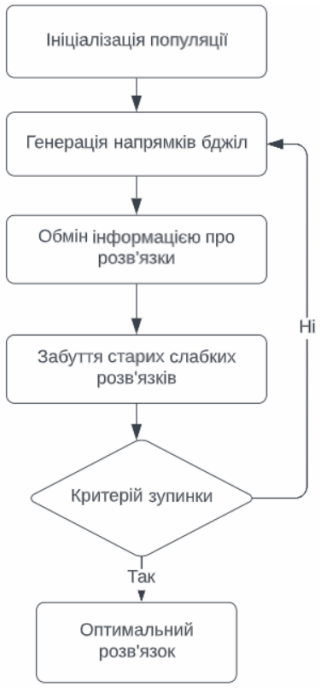


Рис. 4. Блок-схема бджолиного алгоритму

Програмна реалізація. Програмне забезпечення, що реалізує розроблений алгоритм, було створене за допомогою мови програмування C# із застосуванням фреймворку Window Forms [7]. Таке рішення зумовлено тим, що на даний момент C# є розповсюдженою мовою програмування, і це дає змогу розробникам створювати зручні додатки для побудови графіків, таблиць та іншого візуального відображення.

Для створення програмного забезпечення були використані такі допоміжні елементи як:

– label: об'єкт-напис;
– dataGridView: об'єкт, який потрібен для запису, відображення і зберігання наших даних, за своєю структурою є таблицею;

– tabPanel: об’єкт, який зберігає в собі список tabControl-об’єктів, що являють собою вкладення на веб-сторінці;
– openFileDialog: об’єкт, який не бачить користувач, але він відіграє важливу роль, за допомогою нього користувач може завантажувати дані з excel файлу;
– numericDown: об’єкт для запису числових даних, являє собою лічильник, в якому можна обирати числові дані;
– comboBox: об’єкт для зберігання текстових даних у впорядкованому списку;
– chart: область для відображення графіків в Windows Forms.

Усі допоміжні об’єкти можна знайти на спеціальній панелі ToolBox середовища Visual Studio. Проєкт складається з класів: Algorithm, GeneticAlgorithm, MemeticAlgorithm, PSOAlgorithm, BeeAlgorithm, Bee, TabuSearch та основного класу відображення користувацького інтерфейсу – Form1.

Абстрактний клас Algorithm – засновник всіх інших класів, які відповідають за реалізацію евристичних алгоритмів. Він містить поля, які відповідають за популяцію, за дані клієнтів, а також реалізує метод виконання самого алгоритму знаходження оптимального значення цільової функції Run().

Класи GeneticAlgorithm, MemeticAlgorithm, PSOAlgorithm, BeeAlgorithm – відповідають за реалізацію генетичного, міметичного, рою частинок і бджолиного алгоритмів, всі ці класи наслідуються від одного абстрактного класу Algorithm, що дає можливість реалізувати більш гнучке для розширення програмне забезпечення.

Клас Bee являє собою клас бджоли, зберігає в собі дані про розв’язок та реалізує метод переміщення, тобто пошуку в околі заданого розв’язку.

Клас TabuSearch – це один із методів детермінованого локального пошуку.

Інтерфейс користувача. Головною метою створення програмного забезпечення є знаходження оптимального набору клієнтів для формування кредитного портфелю банку.

Користувач створює таблицю для заповнення даних. Для цього він має спочатку ввести значення кількості клієнтів банку та їх дані. Задає значення параметрів задачі. Програма надає можливість завантаження вхідних даних з Excel- файлу. В результаті отримаємо заповнену таблицю.

На наступному кроці користувач задає значення коефіцієнтів згортки для формування суперкритерію. За замовчуванням їх значення $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,5$.

Далі застосовуються алгоритми розв’язання задачі (4) – (5). Для кожного алгоритму відведена окрема кнопка для вибору користувачем алгоритму. Результати можна переглянути у більш розгорнутому вигляді за допомогою вкладки «Графік, результати», що наведено на рис. 5 – 6.

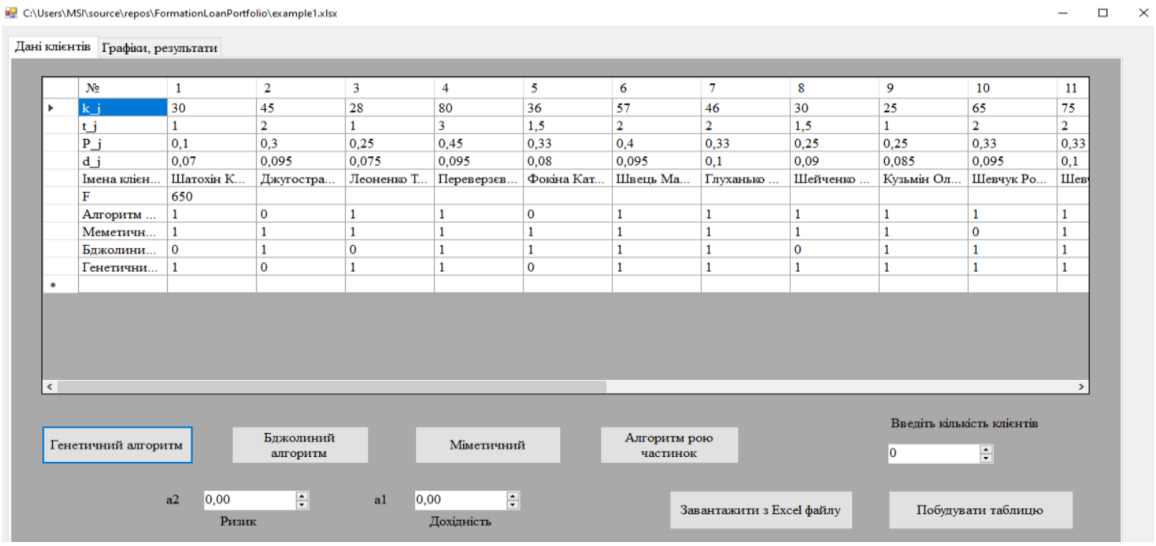


Рис. 5. Результати роботи програмного продукту

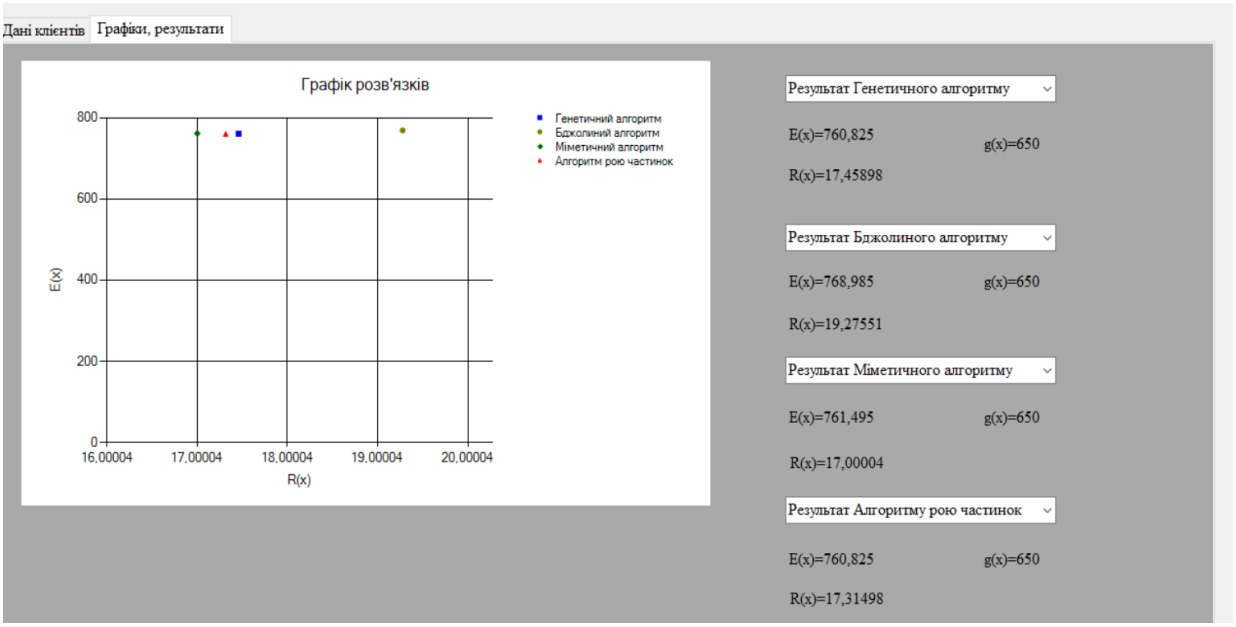


Рис. 6. Графік значень функцій доходу та ризику

Аналіз результатів. За допомогою розробленого програмного продукту було проведено експерименти. Результати роботи обраних евристичних алгоритмів наведено у табл. 1.

За статистичним аналізом отриманих даних виявлено, що найбільше відхилення значень функцій прибутку та ризику від математичного сподівання генеральної сукупності мають результати генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм має переваги у часі роботи програми. Найдовше працює алгоритм рою частинок.

Отже, виходячи з даних досліджень можна зробити висновок, що найбільш ефективними евристичними алгоритмами для побудови оптимального кредитного портфелю банку є міметичний та бджолиний алгоритми.

Таблиця 1

Результати тестування програми

	Назва алгоритму	$E^*(x)$	$R^*(x)$	Час роботи програми, (мс)
Тест 1	Генетичний	759,635	17,3319	343
	Бджолиний	766,99	19,789	10518
	Міметичний	633,085	17,5718	5151
	Рою частинок	764,4	19,036	7851
Тест 2	Генетичний	765	18,8165	3509
	Бджолиний	759,865	17,0413	588
	Міметичний	762,55	17,665	1208
	Рою частинок	755,685	15,405	42188
Тест 3	Генетичний	544,695	15,135	5488
	Бджолиний	765,67	18,9741	10104
	Міметичний	762,55	17,665	4607
	Рою частинок	755,548	16,2039	8835
Тест 4	Генетичний	650,28	20,78	5341
	Бджолиний	764,19	19,058	10026
	Міметичний	777,55	17,0559	5461
	Рою частинок	766,05	18,322	13163

Висновки. Розроблене програмне забезпечення є системою прийняття рішень, яка дозволяє експерту банку визначити найбільш вигідних клієнтів, що сприяє більшому прибутку та меншому ризику банку. Під час аналізу результатів роботи програмного продукту було визначено, що найбільш ефективними алгоритмами для розв'язання поставленої задачі є міметичний та алгоритм колонії бджіл.

Бібліографічні посилання

1. Галіцин В.К., Козак О.Ю. Повна математична модель банківського портфеля. *Академічний огляд*. 2011. № 2 (35). С. 79–85.
2. Харченко Ю.А. Моделювання багатокритеріальної оптимізації кредитного портфеля банку. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2021. № 47. С. 78–84.
3. Вітлінський В., Середюк В. Застосування інструментарію нечіткої логіки при формуванні кредитного портфеля. *Вісник КНТЕУ*. 2012. № 1. С. 106–117.
4. Волошин О. Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. 336 с. 2010.
5. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Черкаси, 2005. 608 с.
6. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ: Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка, 2016. 133 с.
7. Шилдт Г. C# 4.0 The Complete Reference. М.: «Вильямс», 2011. 1056 с.

Надійшла до редколегії 07.10.2022.