

Андрій О. Лучаківський
**ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ
ОПТИМІЗАЦІЇ ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ БАНКУ**

У статті запропоновано підхід до оптимізації фінансової стійкості банку, в основу якого покладено концепцію економічної рівноваги. Побудовано задачу багатокритеріальної оптимізації фінансової стійкості та представлено механізм застосування генетичного алгоритму для отримання ефективних за Парето портфелів активів та пасивів, що надасть можливість сформуувати ефективну стратегію банку, спрямовану на досягнення оптимальних значень показниками, які в комплексі і визначають економічну сутність фінансової стійкості банківської установи.

Ключові слова: фінансова стійкість; генетичний алгоритм; Парето границя; економічна рівновага; банк.

Форм. 3. Рис. 4. Табл. 2. Літ. 12.

Андрей О. Лучакивский
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ
ОПТИМИЗАЦИИ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БАНКА**

В статье предложен подход к оптимизации финансовой устойчивости, в основу которого положена концепция экономического равновесия. Построена задача многокритериальной оптимизации финансовой устойчивости и представлен механизм применения генетического алгоритма для получения эффективных по Парето портфелей активов и пассивов, который позволит сформировать эффективную стратегию банка, направленную на достижение оптимальных значений показателями, что в комплексе и определяют экономическую сущность финансовой устойчивости банковского учреждения.

Ключевые слова: финансовая устойчивость; генетический алгоритм; Парето распределение; экономическое равновесие; банк.

Andriy O. Luchakivskyy¹
**USING GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZE
BANK'S FINANCIAL STABILITY**

The article offers an approach to optimizing financial stability based on the concept of economic equilibrium. The author has accomplished the task of financial stability multi-criteria optimization and suggests the application mechanism of genetic algorithm for receiving assets and liabilities under Pareto-optimal portfolios. This allows a bank form its effective strategy aimed at achieving optimal parameters, which together determine the economic essence of banking institution financial stability.

Keywords: financial stability; genetic algorithm; Pareto border; economic equilibrium; bank.

Постановка проблеми. В умовах значної волатильності світових фінансових ринків розроблення дієвих та гнучких механізмів досягнення банками стійкого фінансового стану є на сьогодні ключовою проблемою, яку намагаються розв'язати як економісти-теоретики, так і практики. Фінансово стійкий банк має змогу ефективно працювати, досягати стратегічних цілей, має достатню кількість ресурсів для протистояння усім видам банківських ризиків, а також залишатись максимально нечутливим до впливу зовнішніх та внутрішніх чинників. Аналіз методичних підходів до оцінки фінансової стій-

¹ Drohobych State Pedagogical University named after Ivan Franko, Ukraine.

кості банків свідчить про відсутність єдиної методологічної бази оцінювання. Причому розбіжності проявляються як у складових фінансової стійкості, системі показників, так і в методиці їх врахування при аналізі фінансової стійкості. Усе це обумовлює потребу в розробці принципово нових підходів та інструментарію для оцінювання фінансової стійкості банку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемам оцінювання фінансової стійкості присвячено багато наукових робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів, серед яких слід відзначити М. Альборзі [12], В.В. Віглінського [1], С.П. Вольську [2], Б.Ю. Кишакевича [6; 7], О.В. Пернарівського [1], Т.Г. Савченко [8], М. Ханбабея [12]. Проте проблема оптимізації фінансової стійкості та формування ефективних механізмів її досягнення практично не висвітлювалась у сучасній науковій літературі.

Мета дослідження — розробка методу оптимізації фінансової стійкості банку на основі застосування генетичного алгоритму та формування Парето-ефективних портфельів активів та пасивів банку.

Основні результати дослідження. У математиці проблема стійкості виникає при збуренні фізичного об'єкта у фазовому просторі, тобто коли зовнішні сили виводять його з рівноважного стану. У результаті об'єкт може:

- віддалитись від рівноважного стану;
- перебувати в незначному відхиленні від нього;
- повернутись в рівноважний стан, витримуючи несприятливі коливання.

Фактично, поведінка об'єкта в збуреному стані визначає стійкість або нестійкість його незбуреного рівноважного стану. Таким чином, рівноважний стан об'єкта можна вважати стійким, коли після збурення він потрапляє в наближений до рівноваги стан або коли він повертається до нього.

Як відзначає С.П. Вольська, для детальнішого вивчення явища стійкості необхідно використовувати поняття «область стійкості». Часто необхідно визначити вплив зміни певних параметрів на стійкість. Для цього будують область стійкості об'єкта в просторі параметрів, що змінюються. Область стійкості визначається сукупністю значень параметрів об'єкта, за яких він стійкий. Перехід за граничну межу значень параметрів переводить об'єкт зі стійкого стану в нестійкий. При переході граничної межі стійкості суттєво зростає рівень ризику. Зрозуміло, що перехід із зони стійкості у нестійке положення визначається не лінією граничної межі, а якоюсь областю, яку можна назвати перехідною [2, 808].

Проводячи аналогії між економічною та механічною рівновагою, слід звернути увагу на відмінності між статичною та динамічною рівновагами. При статичній рівновазі рух об'єкта припиняється, тоді як при динамічній рівновазі фізичне тіло продовжує рух, але при цьому певні сумарні характеристики системи залишаються незмінними. Прикладом може слугувати течія води в руслі річки: висота води й швидкість течії можуть бути постійними, а такі її параметри, як притік і відтік, змінюватись. Іншими словами, статична рівновага передбачає здатність системи, що перебуває в ній, після незначних відхилень повертатися до попереднього стану, а динамічну рівновагу можна інтерпретувати як здатність механічної системи, що знаходиться в рухомих стани

під впливом певних сил, не відхилятися від заданої траєкторії руху при незначних випадкових стресах чи відхиленнях.

Говорячи про фінансову стійкість банку, доцільно проводити аналогії саме з динамічною стійкістю, адже функціонування банківської установи, виконання нею своїх функцій, здійснення усього комплексу активних та пасивних операцій є ні що інше як динамічний процес. Таким чином, фінансова стійкість банку – одна з ключових динамічних характеристик його діяльності, в якій значною мірою виявляється його дієздатність. У подальшому вважатимемо, що фінансова стійкість банку – це динамічна категорія, яка представляє собою здатність повертатись у рівноважний стан після виходу з нього в результаті певного впливу. Стійкість в економічних системах, незважаючи на деяку схожість із технічними, є значно складнішим поняттям. Зважаючи на це, проводити аналогії для економічних систем можна тільки умовно.

У зв'язку з тим, що на сьогодні ще не розроблено універсального підходу до оцінювання фінансової стійкості у вигляді єдиного скалярного показника, ми пропонуємо використати інструментарій багатокритеріальної оптимізації, за допомогою якого можна реалізувати концепцію економічної рівноваги. Вважатимемо, що фінансово стійкий банк повинен досягнути певного рівноважного стану – оптимального співвідношення між ризиком, доходом, ліквідністю та іншими ключовими показниками діяльності банку, від яких залежить його фінансова стійкість. У ролі цільових функцій візьмемо ключові показники діяльності банку. Для досягнення певного рівноважного стану банку слід оптимізувати усі ці критерії із врахуванням його реального фінансового стану. Оптимізації показників достатності капіталу, ліквідності, якості пасивів, якості активів, прибутковості та ризику на практиці можна досягнути, перш за все, за рахунок оптимізації ефективності активних та пасивних операцій. У статті пропонується задача побудови Парето-ефективних банківських портфельів, які оптимізують згадані ключові показники діяльності банку і від яких залежить фінансова стійкість банку.

Автором раніше у [1] було запропоновано задачу оптимізації фінансової стійкості банку, який має можливість залучити ресурси з M зовнішніх джерел. У контексті концепції економічної рівноваги було побудовано неперервну задачу багатокритеріальної оптимізації фінансової стійкості банку. Нехай V_{ij} – максимальна величина ресурсів, які банк може залучити, а саме депозитів ($i = 1$) та позик ($i = 2$) із j -го джерела фінансування $j = 1, \dots, M$. Припустимо також, що менеджмент банку має змогу залучати в разі потреби не всю суму V_{ij} , а деяку меншу величину $v_{ij} \leq V_{ij}$.

Стосовно активних операцій припустимо, що банк має можливість сформувати портфель із N активів W_{ij} , $j = 1, \dots, N$. У моделі розглядаються тільки два види активів: надання позики ($i = 1$) та депозитний вклад в іншому банку ($i = 2$). Аналогічно випадку з пасивами, припустимо, що банк за потреби може придбати активи на деяку меншу суму $w_{ij} \leq W_{ij}$. У результаті, можна сформулювати наступну задачу багатокритеріальної оптимізації фінансової стійкості банку [6, 80–81]:

$$\left\{ \begin{aligned}
 f_1(x) &= \sum_{i,j=1}^2 \sum_{m=1}^N \sigma_{ij} \sigma_{jm} \rho_{ijm} \left(\frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N w_{ij}} \right) \left(\frac{w_{jm}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N w_{ij}} \right) \rightarrow \min \\
 f_2(x) &= - \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^M z_{ij} \frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N w_{ij}} \rightarrow \min \\
 f_3(x) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^M \left(\frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N w_{ij}} \right)^2 \rightarrow \min \\
 f_4(x) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N \left(\frac{v_{ij}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N v_{ij}} \right)^2 \rightarrow \min \\
 f_5(x) &= \frac{PK + 0,01 \sum_{i \in S} w_{1i}}{A_p + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^M w_{ij}} \rightarrow \min \\
 f_6(x) &= \frac{PK + 0,01 \sum_{i \in S} w_{1i}}{3 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N v_{ij}} \rightarrow \min
 \end{aligned} \right. \tag{1}$$

з обмеженнями:

$$\left\{ \begin{aligned}
 B &\leq \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N \frac{w_{ij}}{VR + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^M v_{ij}} \leq A \\
 \left(\frac{w_{ij}}{CREDIT + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N w_{ij}} \right) &\leq S \\
 H_2 &= \frac{PK + 0,01 \sum_{i \in S} w_{1i}}{A_p + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^M v_{ij}} \geq 0,1 \\
 H3-1 &= \frac{PK + 0,01 \sum_{i \in S} w_{1i}}{3 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N v_{ij}} \geq 0,1 \\
 H6 &= \frac{A_n + \sum_{j \in C} w_{1j} + \sum_{j=1}^M w_{2j}}{K3 + \sum_{j \in H} v_{1j} + \sum_{j=1}^N v_{2j}} \geq 0,6 \\
 0,25 &\leq \frac{МБК + \sum_{j \in H} v_{1j}}{3 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^N v_{ij}} \leq 0,4 \\
 0 &\leq v_{ij} \leq V_{ij}, i = \{1,2\}, j = 1..N \\
 0 &\leq w_{ik} \leq W_{ik}, i = \{1,2\}, k = 1..M
 \end{aligned} \right. \tag{2}$$

Для знаходження розв'язків багатокритеріальної задачі оптимізації (1)–(2) із 40 невідомими використовуємо метод генетичного алгоритму, який добре зарекомендував себе для розв'язування такого класу задач.

У 1996 р. Л.Дж. Фогель, А.Дж. Оуенс, М.Дж. Волш запропонували та дослідили еволюцію простих автоматів, які передбачають символи у цифрових послідовностях [9]. У 1975 р. Д.Х. Холланд у книзі «Адаптація в природних і штучних системах» [10] запропонував схему генетичного алгоритму. Ця робота стала основою для наступних еволюційних алгоритмів. Простий генетичний алгоритм був вперше описаний Д. Гольбергом [11] на основі праць Д.Х. Холланда [10]. Генетичний алгоритм – це евристичний алгоритм пошуку, який застосують для задач оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору на основі використання механізмів, що нагадують еволюційні процеси у природі. Вони є різновидом еволюційних методів обчислення. Генетичний алгоритм – метод оптимізації, заснований на концепціях природного відбору та генетики. У цьому підході змінні, що характеризують розв'язок, представлені у вигляді генів в хромосомі. Генетичний алгоритм, оперуючи скінченною кількістю розв'язків (популяцією), генерує нові розв'язки у вигляді різних комбінацій частин розв'язків цієї популяції. З цією метою використовуються такі оператори, як відбір, рекомбінація та мутація [7].

У генетичному алгоритмі хромосома – це деякий числовий вектор, який відповідає змінній. Кожна з позицій вектора хромосоми називається геном. Генетичний алгоритм фактично є різновидом випадкового пошуку і ґрунтується на підходах, які нагадують механізм природного відбору. У генетичному алгоритмі спочатку формується деякий випадковий набір початкових даних, який називається популяцією. Кожен елемент популяції називається хромосомою і представляє собою деяке вирішення задачі в першому наближенні, тобто задовольняє систему обмежень задачі. Хромосоми еволюціонують протягом ітерацій, що носять назву поколінь (або генерацій). В ході кожної ітерації хромосома оцінюється з використанням деякої міри відповідності (fitness function), яку ще називають функцією відповідності.

Мутація – це операція, яка реалізує випадкові зміни в різних хромосомах. Найпростіший варіант мутації полягає у випадковій зміні одного або більше генів. У генетичному алгоритмі мутація відіграє важливу роль для відновлення генів, що випали з популяції в ході операції вибору, з тим, щоб вони могли бути використані в нових популяціях. Крім цього, вона дозволяє формувати гени, які не були представлені у вихідній популяції. Інтенсивність мутацій визначається коефіцієнтом мутацій P_m , який представляє собою частку генів, що піддаються мутації на даній ітерації. Занадто мале значення цього коефіцієнта призводить до того, що багато генів, які могли б бути корисними, ніколи не будуть розглянуті. В той же час занадто велике значення коефіцієнта призведе до великих випадкових збурень. Нашадки перестануть бути схожими на батьків і алгоритм втратить можливість навчатися, зберігаючи спадкові ознаки.

Для знаходження Парето-ефективних портфелів банку нами було використано інструментарій «MATLAB Optimization Toolbox». У ролі оператора мутації було вибрано стандартну функцію *adaptive feasible mutation*, яка засто-

совується для задач з обмеженнями та дає змогу випадково генерувати напрями з урахуванням останніх успішних чи неуспішних генерацій.

Для реалізації операції кросингверу використано метод "Scattered", що передбачає створення випадкового двійкового вектору та вибору генів із першої батьківської хромосоми, для яких відповідне значення дорівнює 1, або із другої батьківської хромосоми, коли значення дорівнює 0 при комбінуванні цих генів для формування нового нащадка. Наприклад, якщо p_1 та p_2 є батьками:

$$p1 = [a b c d e f g h]; p2 = [1 2 3 4 5 6 7 8] \tag{3}$$

та утворено двійковий вектор [1 1 0 0 1 0 0 0], функція «Scattered» сформує нащадка [a b 3 4 e 6 7 8].

Відсоток міграції становив 20%. Для відбору батьків було застосовано метод «Tournament», який полягає у формуванні турніру випадково відібраних 4 особин та відбору кращого, який і стає батьком. Розмір популяції становив 600 особин.

Нами було розглянуто деякий банк із регулятивним капіталом $PK = 100$ у.о., вільними кредитними ресурсами $VR = 60$ у.о., загальною сумою виданих кредитів $Credit = 400$ у.о., зваженими на ризик активами $RWA = 450$ у.о., зобов'язаннями у 300 у.о., короткострокові зобов'язання до залучення нових кредитів та депозитів $KЗ = 100$ у.о., залученими на міжбанку кредитами $МБК = 45$ у.о, ліквідними активами $A_l = 200$ у.о.

У табл. 1–2 подано активи та пасиви, які розглядаються банком на предмет придбання. Задача, яка стоїть перед менеджментом банку, полягає у виборі таких пропозицій активів W_{ij} та пасивів V_{ij} , які б оптимізували одночасно усі критерії (1) при виконанні обмежень (2). Іншими словами, необхідно сформулювати такі портфелі активів та пасивів, які б оптимізували фінансову стійкість банку. Досягнути цього можна, якщо банком буде обрано портфель із множини Парето-оптимальних портфелів.

Таблиця 1. Активи W_{ij} , авторська розробка

w_{1j}	10	20	30	10	20	40	50	11	22	10	4	5	7	20	22	12	10	30	15	25	
w_{2j}	4	5	10	15	5	6	7	2	10	11											

Таблиця 2. Пасиви V_{ij} , авторська розробка

v_{1j}	10	15	20	4	5	7	12
v_{2j}	6	12	15				

У результаті отримано границю Парето для 6 цільових функцій $F_i(x)$, ($i = 1, \dots, 6$) та відповідні 210 наборів значень 40 змінних w_{ij} та v_{ij} . Оскільки наочно неможливо представити границю Парето для шести цільових функцій, на рис. 1–2 показано ці границі окремо для $F_1(x)$, $F_2(x)$, $F_3(x)$ та $F_4(x)$, $F_5(x)$, $F_6(x)$. На рис. 3–4 показано середню відстань між індивідами генерації та зміну відстані між границями Парето для двох останніх генерацій відповідно.

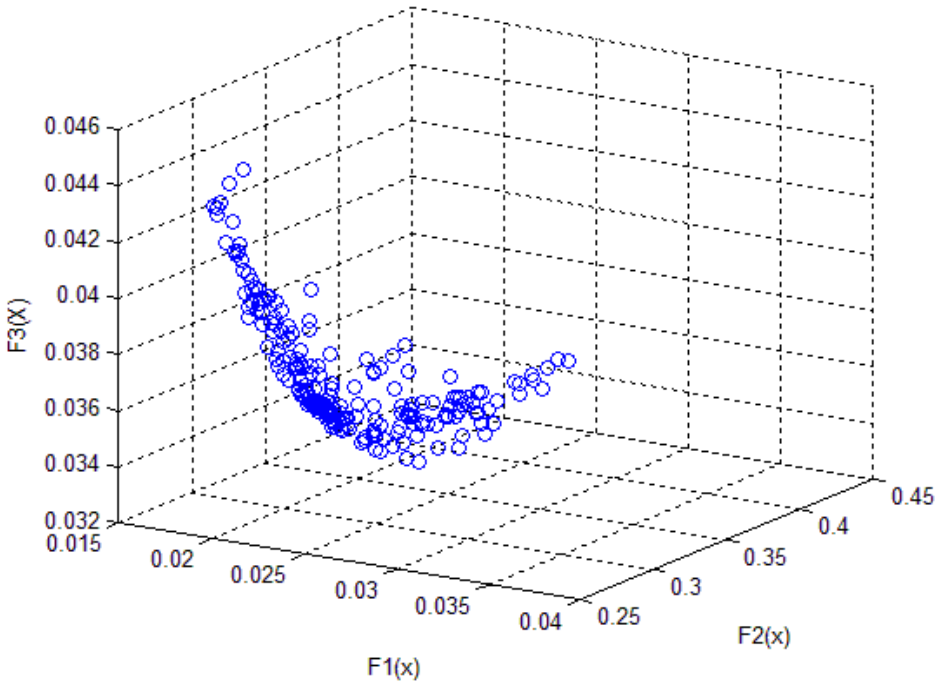


Рис. 1. Границя Парето для цільових функцій $F_i(x)$, $i = 1, 2, 3$, авторська розробка

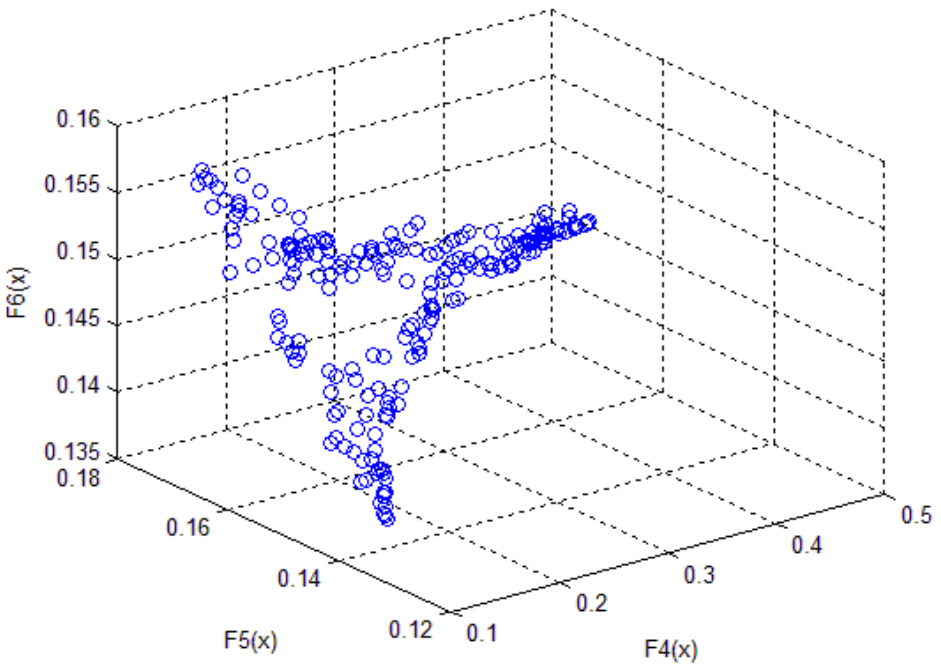


Рис. 2. Границя Парето для цільових функцій $F_i(x)$, $i = 4, 5, 6$, авторська розробка

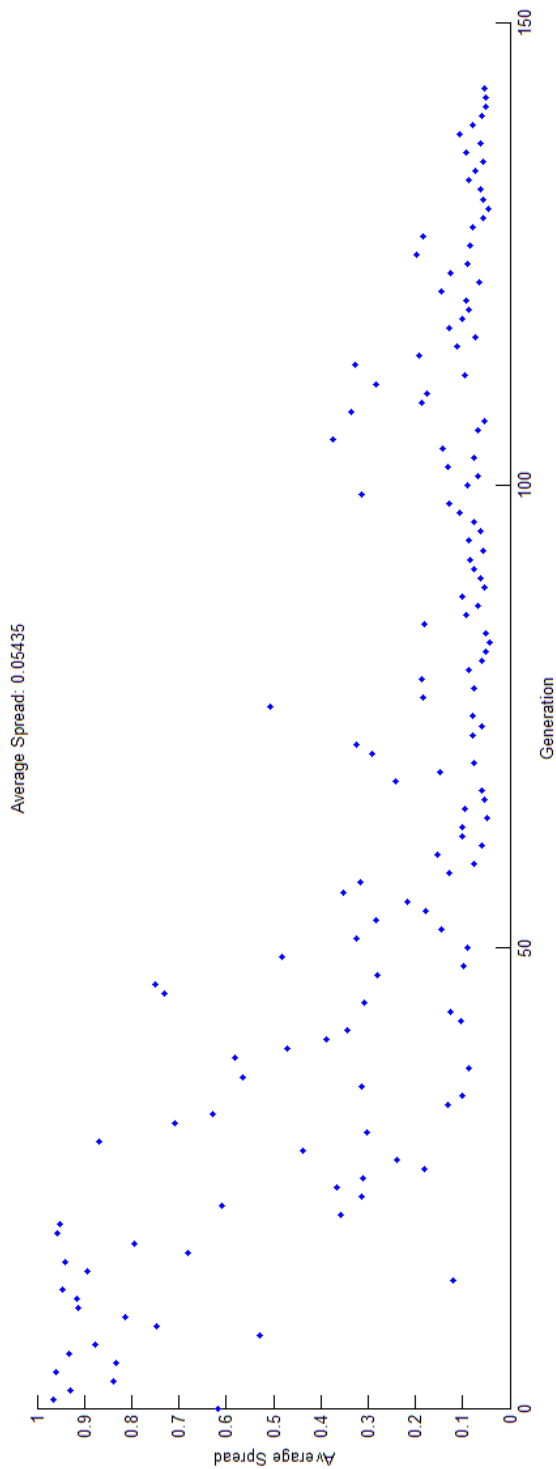


Рис. 3. Зміна відстані між границями Парето для двох останніх генерацій, авторська розробка

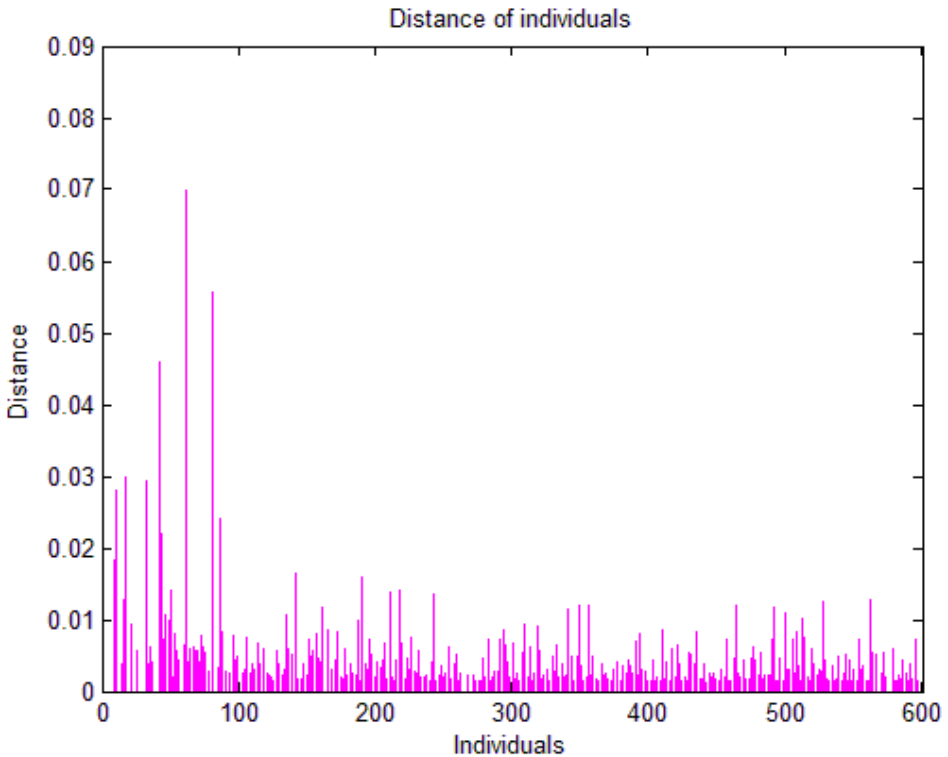


Рис. 4. Середня відстань між індивідами генерації, авторська розробка

Отримана множина з 210 ефективних за Парето портфельів представляє собою множину, в якій значення будь-якого з часткових критеріїв оптимальності можна покращити лише за рахунок погіршення інших часткових критеріїв. Іншими словами, портфель буде Парето-ефективним, якщо жоден інший допустимий портфель не поліпшує хоча б один із критеріїв оптимізації, не погіршуючи при цьому інші критерії. Стосовно питання оптимізації фінансової стійкості це означає, що нами отримано множину портфельів активів та пасивів, Парето-оптимальних, і це надає можливість сформулювати ефективну стратегію банку, спрямовану, перш за все, на досягнення оптимальних значень показниками, що в комплексі і визначають економічну сутність фінансової стійкості банківської установи.

Висновки. Проведений аналіз існуючих підходів до оцінювання фінансової стійкості банків свідчить про відсутність уніфікованої методологічної бази в цьому питанні. Ключовою проблемою є відсутність єдиного показника, який би акумулював у собі усі аспекти фінансової стійкості банку. У статті запропоновано метод оцінювання та оптимізації фінансової стійкості на основі концепції економічної рівноваги. Сформульована автором задача багатокритеріальної оптимізації показників достатності капіталу, ліквідності, якості пасивів, якості активів, прибутковості та ризику дає змогу отримати Парето-оптимальні портфелі, за допомогою яких досягається фінансова стій-

кість як певний рівноважний стан (оптимальне співвідношення між ключовими показниками діяльності банку).

1. *Вітлінський В.В., Пернарівський О.В.* Визначення рейтингу банку всередині вибірки // Вісник Національного банку України.– 1999.– №2. – С. 61–64.
2. *Вольська С.П.* Визначення фінансової стійкості банку // Глобальні та національні проблеми економіки.– 2015.– Ви. 4. – С. 806–809.
3. *Головка О.Г., Олефір Є.А.* Узагальнена оцінка фінансової стабільності банку: теорія і практика // Вісник університету банківської справи Національного банку України.– 2013.– №3. – С. 153–158.
4. *Дзюблюк О.В., Михайлюк Р.В.* Фінансова стійкість банків як основа ефективного функціонування кредитної системи: Монографія. – Тернопіль: ТНЕУ, 2009. – 316 с.
5. Економічні нормативи діяльності банків // Національного банку України // www.bank.gov.ua.
6. *Кишакевич Б., Лучаківський А.* Фінансова стійкість банку в контексті концепції економічної рівноваги // Вісник Запорізького національного університету.– Серія: Економічні науки.– 2014.– №2. – С. 72–81.
7. *Кишакевич Б.Ю.* Моделювання та оптимізація кредитних ризиків банку: Монографія. – Дрогобич: Коло, 2011. – 412 с.
8. *Савченко Т.Г.* Економічна рівновага: сутність та класифікація // Економіка і регіон.– 2010.– №2. – С. 106–115.
9. *Фогель Л.Дж., Оуэнс А.Дж., Уолш М.Дж.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. – М.: Мир, 1969. – 230 с.
10. *Holland, J.* (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence.* MIT Press. 228 p.
11. *Horn, J., Nafpliotis, N., Goldberg, D.E.* (1994). A Niche Pareto Genetic algorithm for multiobjective optimization. In: *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation (Piscataway, New Jersey, June 1994).* IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1: 82–87.
12. *Khanbabaei, M., Alborzi, M.* (2013). The use of genetic algorithm, clustering and feature selection techniques in construction of decision tree models for credit scoring. *International Journal of Managing Information Technology*, 5(4): 13–31.

Стаття надійшла до редакції 7.09.2015.