

УДК 330.42:336.01

JEL C02, C15, G21

DOI: <https://doi.org/10.53920/ES-2023-4-6>

**Олексій Миколайович ВАСИЛЬЄВ,**

доктор фізико-математичних наук, професор,  
Київський національний університету імені Тараса Шевченка,  
Приватне акціонерне товариство «Вищий навчальний заклад  
«Міжрегіональна Академія Управління Персоналом»

ORCID ID: [0000-0001-7862-7792](https://orcid.org/0000-0001-7862-7792)

## **МОДЕЛЬ ЕКОНОМІЧНОЇ САМООРГАНІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ РОЗПОДІЛУ БАНКІВСЬКИХ АКТИВІВ**

*Стаття присвячена застосуванню методів теорії самоорганізації (синергетики) для аналізу складних економічних і фінансових систем. А саме: в статті пропонується синергетична модель для пояснення рангового розподілу активів банків в Україні в довоєнний період. Для формування рангового розподілу банки впорядковуються відповідно до наявних власних активів (на відповідний момент часу). Рангу один відповідає банк з найбільшими активами, рангу два відповідає банк з другими за розміром активами і так далі. На основі отриманого розподілу визначається функціональна залежність активів банку від рангу. Зокрема пропонується феноменологічна модель, котра базується на диференціальному рівнянні й пов'язує зміну активів банку зі зміною рангу. На основі моделі встановлюється загальний вигляд для апроксимуючої функції. Ця функція описує залежність активів банку від рангу й містить низку параметрів, які визначаються на основі статистичних даних.*

*У статті, для банківської системи України щодо декількох передвоєнних років, побудовано ранговий розподіл активів банків. Запропоновано функціональну залежність величини активів від рангу та розраховано феноменологічні параметри, які входять в апроксимуючу функцію. Показано, що для банківської системи України в довоєнний період справедливим є твердження про те, що ранговий розподіл активів банків у різні роки описується однією й тією самою функцією (її вигляд цієї функції встановлено). Змінюються лише параметри, які входять у функцію. Важливою в цьому випадку є обставина, пов'язана з тим, що позиції окремих банків у ранговому розподілі та їх активи змінюються, у той час як характер розподілу незмінний.*

**Ключові слова:** самоорганізація, синергетика, економічна модель, розподіл, ранг, апроксимація, банк.

**Oleksii VASYLIEV**

Doctor of Sciences, Professor,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
The Private Joint-Stock Company «Higher Education Institution  
«Interregional Academy of Personnel Management»

## **THE MODEL OF ECONOMIC SELF-ORGANIZATION BASED ON THE DISTRIBUTION OF BANKING ASSETS**

*The paper is devoted to the application of methods of the theory of self-organization (synergetics) for the analysis of complex economic and financial systems. Namely, the article proposes a synergistic model to explain the rank distribution of bank assets in Ukraine in the pre-war period. To obtain the ranking formula, we order the banks according to the values of their available assets (at a specific moment within the pre-war period). According to the used scheme, the rank one corresponds to the bank with the largest assets, the rank two corresponds to the bank with the second-largest assets, and so on. Based on the obtained distribution, we determine the functional dependence of the bank assets on the rank. In particular, we propose a phenomenological model which is based on a differential equation. The equation links the change in the value of the bank asset with the change in the bank rank. Based on the model, we solve the equation and get the general form for the approximation function. The function determines the value of the assets depending on the bank rank. It contains a set of parameters that can be determined based on corresponding statistical data.*

*Also in the article, we calculate the rank distribution of the bank assets for the banking system of Ukraine for the pre-war years. Using the described above approach, we propose a functional dependence of the values of bank assets on the bank rank. Based on statistical data, we calculate the phenomenological parameters included in the approximation function. It is shown that for the banking system of Ukraine in the pre-war period, the rank distribution of bank assets in different years is described by the same function (and the type of that function is obtained). We show that within the pre-war period, only the parameters that are included in the function are changed meanwhile the function type is the same. That means that the positions of individual banks in the ranking distribution and their assets could change while the nature of the distribution remains unchanged.*

**Keywords:** self-organization, synergetic, economic model, distribution, rank, approximation, bank.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день методи теорії самоорганізації (синергетики) є потужним інструментом дослідження в багатьох наукових царинах, в тому числі й в області економіки [1]. Підхід, добре апробований при вирішенні задач різного характеру й різного рівня складності, дозволяє отримувати цікаві та перспективні результати. У запропонованій роботі відповідні ідеї застосовуються для визначення характеру рангового розподілу банківських активів. Відразу варто зазначити, що хоча саме по собі питання є важливим в контексті фінансової діяльності, йдеться, насправді, про загальний методологічний підхід, застосовний до вирішення широкого класу економічних завдань.

Стабільність і надійність банківської системи є вкрай важливими для функціонування економічної системи в цілому. Особливо гостро дане питання стоїть для країн зі слабкими економіками, адже навіть відносно незначні порушення у нормальній роботі банків можуть мати катастрофічні наслідки. Тому вивчення різних аспектів, пов'язаних зі структурою банківських активів у національній економіці, видається актуальним та перспективним. Зокрема, нас цікавитиме ранговий розподіл банків України за їх активами в передвоєнний період. Як свідчать результати аналізу складних систем, характер такого розподілу має прикладне значення, оскільки дозволяє прогнозувати, наскільки система є стійкою до випадкових шоків та змін структури. Також слід зазначити, що з часом позиції банків у ранговому розподілі можуть змінюватись. При цьому, гіпотетично, може змінюватись і характер рангового розподілу. Тому, наприклад, встановлення того факту, що розподіл є сталим (за виглядом функціональної залежності), матиме важливі наслідки в плані прогнозування стабільності банківської системи в цілому.

У статті пропонується модель, яка дозволяє визначити загальний функціональний вигляд для зв'язку активів банку та його рангу. Ця залежність містить певний набір параметрів. Вони розраховуються на основі наявних статистичних даних щодо активів банків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З методологічної точки зору можна виділити два магістральних напрями, у межах яких виконуються відповідні дослідження. По-перше, це визначення базових характеристик окремих банків з подальшими висновками щодо їх стабільності та надійності [2 – 5]. Сюди ж можна віднести формування набору характеристик, на основі яких приймаються рішення та робляться висновки щодо тієї чи іншої банківської установи.

Цей напрям досліджень є важливим, в першу чергу, з практичної точки зору, оскільки його результати безпосередньо впливають на фінансову та економічну політику держави в цілому [4 – 6].

По-друге, нерідко проводиться аналіз банківської системи як такої, без зосередження на конкретних банках чи фінансових організаціях. При цьому важливе значення мають не тільки і не стільки характеристики банків як функціональних елементів системи, але ще й їх зв'язки, схеми взаємодії банків та фінансових установ у межах фінансового середовища. У такому випадку застосовують методи дослідження складних систем, а предметом досліджень часто стають різноманітні розподіли і ряди, які описують систему в цілому. Важливі результати в цьому напрямі наведено в [6 – 9].

**Метою статті** є визначення загального вигляду для аналітичної залежності між розміром активів українських банків та їхнім рангом у довоєнний період. Також на основі статистичних даних, для отриманої залежності, розраховуються значення числових параметрів, які входять до відповідного функціонального виразу.

**Виклад основного матеріалу.** Для формування рангового розподілу всі банки впорядковуються відповідно до їх власних активів (на певну дату). Банк з найбільшими активами має перший ранг. Банк з другими за величиною активами має ранг два, і так далі. Отже, кожен банк матиме певний ранг (або номер у списку), і з цим рангом пов'язаний певний рівень активів. Якщо через  $n$  позначити ранг банку, а через  $f$  – його активи, то завданням дослідження є встановлення залежності  $f(n)$  на основі наявних статистичних даних. Для цього потрібно мати загальне уявлення про характер шуканої залежності. А саме: нам потрібен вираз для апроксимуючої функції, на основі якої будуть аналізуватись статистичні дані. Тому дослідження передбачає два етапи. Перший – теоретичний, в рамках якого визначається вигляд функції, яку можна використати для відновлення рангової залежності активів банків. Ця апроксимуюча функція міститиме певну кількість феноменологічних параметрів, значення яких розраховуються на основі статистичних даних в рамках другого етапу дослідження.

Для отримання загального виразу для апроксимуючої функції використаємо таку модель. Позначимо через  $N$  загальну кількість функціонуючих банків, покладемо  $x = \frac{n}{N}$  і вважатимемо, що параметр  $x$  змінюється безперервно. При великих значеннях  $N$  таке припущення є цілком прийнятним. При збільшенні параметра  $x$  на величину  $dx$  відносна зміна активу  $\frac{df}{f}$  від'ємна і пропорційна до  $dx$ , а

також є спадаючою (за модулем) функцією цього параметра  $x$ . Це дозволяє використати таке співвідношення:

$$\frac{df}{f} = -dx \left( b + \frac{a}{x} \right), \quad (1)$$

де  $a$  та  $b$  є феноменологічними параметрами моделі. Вираз (1) визначає диференціальне рівняння, загальний розв'язок якого може бути подано в такому вигляді:

$$f(x) = Ax^{-a} \exp(-bx). \quad (2)$$

Тут  $A$  є сталою інтегрування. Якщо перейти від змінної  $x$  до змінної  $n = Nx$ , то після нескладних перетворень і перепозначень параметрів отримаємо такий вигляд для апроксимуючої функції:

$$f(n) = An^{-a} \exp(-bn). \quad (3)$$

Далі задача зводиться до розрахунку параметрів  $A$ ,  $a$  та  $b$  на основі статистичних даних.

Для визначення числових значень параметрів рангового розподілу, вираз (3) подамо у такому вигляді:

$$\ln(f) = -(C + a \ln(n) + bn). \quad (4)$$

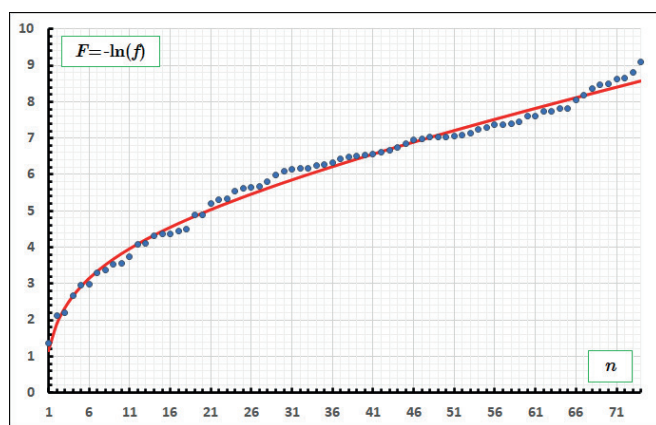
Тут позначено  $C = -\ln(A)$ . Таким чином, логарифм від показника  $f$  є лінійною комбінацією рангу  $n$  та логарифму  $\ln(n)$  від рангу. Також слід врахувати ще один момент. Параметр  $f$  можна визначати як у абсолютних, так і у відносних одиницях. Останній варіант є більш прийнятним. Зокрема, ми будемо нормувати значення параметра  $f$  на загальну суму активів усіх банків. Це означає, що має місце таке співвідношення:

$$f(1) + f(2) + \dots + f(N) = 1. \quad (5)$$

Також для будь-якого рангу  $n$  мають місце співвідношення  $f(n) < 1$  та  $\ln(f(n)) < 0$ . Тому, виходячи з умов зручності, як базову для розрахунку параметрів, використовуватимемо залежність:

$$F(n) = -\ln(f(n)) = C + a \cdot \ln(n) + bn. \quad (6)$$

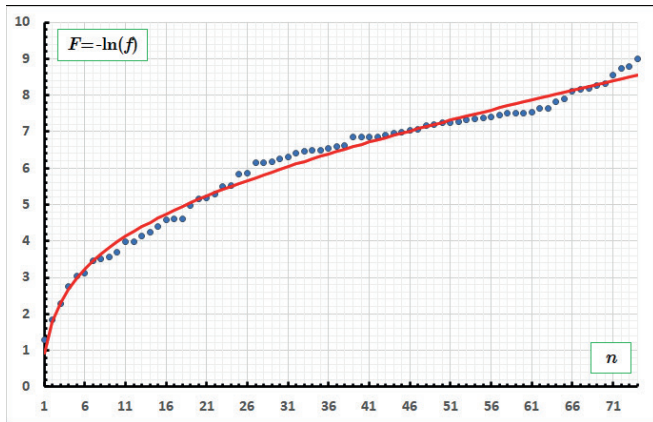
Для оцінки числових значень параметрів, що входять до розподілу (6), скористаємося даними з ресурсу [10] щодо активів українських банків за передвоєнний період. Так, відповідно до [10], станом на 2020 рік загальна сума активів найбільших банків, на основі яких виконувались статистичні оцінки, склала близько 2,21 млрд грн. Для цього року, апроксимуючи дані з [10] на основі залежності (6), отримано такі значення для параметрів моделі:  $a \approx 0,991$ ,  $b \approx 0,043$ ,  $C \approx 1,121$ , що відповідає значенню  $A \approx 0,326$ . На рис. 1 подано результат моделювання, виконаного на основі залежності (6). Легко помітити, що теоретично отримана залежність (6) якісно узгоджується з фактичними даними щодо рангового розподілу активів банків.



**Рис. 1. Ранговий розподіл активів банків (параметр  $F = -\ln(f)$ ) станом на 2020 рік. Точки відповідають статистичним даним, суцільна лінія відповідає апроксимуючій залежності (6)**

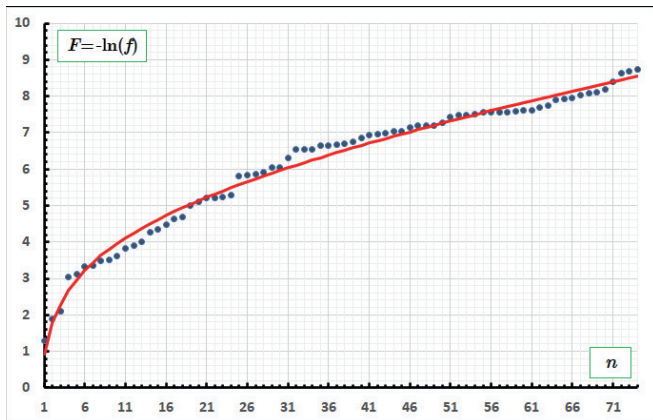
Джерело: побудовано за даними [10] та власні розрахунки автора

Запропонована форма апроксимаційної залежності для рангового розподілу активів банків є прийнятною і для даних щодо інших років довоєнного періоду. Так, відповідно до [9], загальна сума банківських активів за 2019 рік склала величину порядку 1,98 млрд грн, а для 2018 року – 1,91 млрд грн. На рис. 2 подано результати моделювання для рангового розподілу для 2019 року. Аналогічну залежність для 2018 року подано на рис. 3.



**Рис. 2. Ранговий розподіл активів банків (параметр  $F = -\ln(f)$ ) станом на 2019 рік. Точки відповідають статистичним даним, суцільна лінія відповідає апроксимуючій залежності (6)**

Джерело: побудовано за даними [10] та власні розрахунки автора

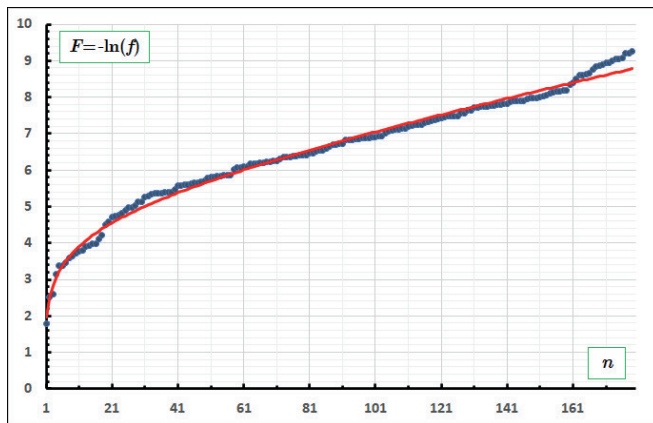


**Рис. 3. Ранговий розподіл активів банків (параметр  $F = -\ln(f)$ ) станом на 2018 рік. Точки відповідають статистичним даним, суцільна лінія відповідає апроксимуючій залежності (6)**

Джерело: побудовано за даними [10] та власні розрахунки автора

Параметри розподілу для 2019 року мають такі значення:  $a \approx 1,195$ ,  $b \approx 0,034$ ,  $c \approx 0,88$  (значення  $A \approx 0,412$ ). У 2018 році модель (6) описується такими параметрами:  $a \approx 1,187$ ,  $b \approx 0,035$ ,  $c \approx 0,885$ , що відповідає значенню  $A \approx 0,413$ .

Цікаво, що характер розподілу (6) має місце і для попередніх років. Наприклад, за 2013 рік загальна сума активів банків складала величину порядку 1,28 млрд. грн. На рис. 4 наведено ранговий розподіл активів банків (залежність параметра  $F = -\ln(f)$ ) від рангу  $n$  для 4-го кварталу 2013 року.



**Рис. 4. Ранговий розподіл активів банків (параметр  $F = -\ln(f)$ ) станом на 2013 рік. Точки відповідають статистичним даним, суцільна лінія відповідає апроксимуючій залежності (6)**

Джерело: побудовано за даними [10] та власні розрахунки автора

У цьому випадку розраховано такі значення параметрів моделі:  $a \approx 0,736$ ,  $b \approx 0,017$ ,  $c \approx 1,959$  (параметр  $A \approx 0,141$ ).

**Висновки та пропозиції.** Встановлено, що за передвоєнні роки ранговий розподіл активів банків в Україні описувався однією й тією самою функціональною залежністю. Вона визначає, як розмір активів банку залежить від рангу банку. Параметри цього розподілу змінюються з часом. Разом з тим, загальна функціональна залежність залишається незмінною. Зокрема, ця залежність визначається виразом, який являє собою добуток степеневі



та експоненційної функції. Вказана залежність може бути використана для аналізу та контролю структури банківської системи України, що у прикладному плані видається цілком перспективним.

© **Васильєв О.М., 2023**

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Wei-Bin Zhang (1991). *Synergetic Economics. Time and Change in Non-linear Economics*. Berlin: Springer. 246 p.
2. Шульга Н.П. (2011). *Банківський контролінг*. К.: КНТЕУ. 438 с.
3. Вітлінський В.В. (2007). *Моделювання економіки*. К.: КНЕУ. 408 с.
4. Герасимович А.М. (2005). *Аналіз банківської діяльності*. К.: КНТЕУ. 599 с.
5. Лютий І.О., Юрчук О.М. (2011). *Банківські інститути в умовах глобалізації ринку фінансових послуг*. К.: Знання. 357.
6. Plantin G. *Shadow Banking and Bank Capital Regulation. Review of Financial Studies*. 2015. V. 28. Pp. 146 – 175.
7. Tarullo D.K. *Financial regulation: Still unsettled a decade after the crisis. Journal of Economic Perspectives*. 2019. V. 33. Pp. 61 – 80.
8. de Regt R., von Ferber C., Holovatch Yu., Lebovka M. *Public transportation in UK viewed as a complex network. Transportmetrica A: Transport Science*. 2019. V. 15. Pp. 722 – 748.
9. Holovatch Yu., Kenna R., Thurner S. *Complex systems: physics beyond physics. European Journal of Physics*. 2017. V. 38. Pp. 023002(1) – 023002(19).
10. Рейтинги надійності банків України за даними НБУ. URL: [https://bankchart.com.ua/spravochniki/rejtingi\\_bankov](https://bankchart.com.ua/spravochniki/rejtingi_bankov).

#### REFERENCES

1. Wei-Bin Zhang (1991). *Synergetic Economics. Time and Change in Non-linear Economics*. Berlin: Springer. 246 p.
2. Shulga, N.P. (2011). *Bankivskyi kontroling [Bank controlling]*. Kyiv: KNTEU. 438 p. [in Ukrainian].
3. Vitlinskii, V.V. (2007). *Modeliuvannia ekonomiky [Modelling economics]*. Kyiv: KNTEU. 408 p. [in Ukrainian].
4. Gerasimovich, A.M. (2005). *Analiz bankivskoi diialnosti [Analysis of bank operations]*. Kyiv: KNTEU. 599 p. [in Ukrainian].
5. Liutyi, I.O., & Yurchuk, O.M. (2011). *Bankivski instytuty v umovakh globalizatsii rynku finansovykh poslug [Bank institutes under the globalization of the market of financial services]*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].

6. Plantin, G. Shadow Banking and Bank Capital Regulation. *Review of Financial Studies*. 2015. V. 28. Pp. 146 – 175.

7. Tarullo, D.K. Financial regulation: Still unsettled a decade after the crisis. *Journal of Economic Perspectives*. 2019. V. 33. Pp. 61 – 80.

8. de Regt, R., von Ferber, C., Holovatch, Yu., & Lebovka, M. Public transportation in UK viewed as a complex network. *Transportmetrica A: Transport Science*. 2019. V. 15. Pp. 722 – 748.

9. Holovatch, Yu., Kenna, R., & Thurner, S. Complex systems: physics beyond physics. *European Journal of Physics*. 2017. V. 38. Pp. 023002(1) – 023002(19).

10. Reliability ratings of Ukrainian banks according to NBU data. URL: [https://bankchart.com.ua/spravochniki/rejtingi\\_bankov](https://bankchart.com.ua/spravochniki/rejtingi_bankov).

**СТАТТЯ НАДІЙШЛА ДО РЕДАКЦІЇ 09.10.2023**