

**В.В. ХИЛЕНКО**Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна;  
Словацький технічний університет, Братіслава, Словаччина, e-mail: [vkhilenko@ukr.net](mailto:vkhilenko@ukr.net).**ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ СВІТОВОЮ ФЕС  
ТА КОРЕГУВАННЯ ЇЇ ДИНАМІКИ З УРАХУВАННЯМ  
ФІНАНСОВИХ ПОТОКІВ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ВАЛЮТ**

**Анотація.** Запропоновано корегування та досліджено мінливість математичних моделей динаміки світової фінансово-економічної системи (ФЕС), спричиненої фінансовими потоками руху капіталу децентралізованих валют. Такі моделі побудовано за матрицею перехресного транскордонного переміщення капіталу. Їх використовують для визначення керувальних впливів регуляторів, направлених на оптимізацію управління світовою ФЕС для захисту від криз. Досліджено математичні задачі, пов'язані з особливостями та корекцією моделей. Наведено розрахунки зміни власних значень модельних матриць за умов переміщення капіталу децентралізованих валют.

**Ключові слова:** математичне моделювання, світова (глобальна) фінансово-економічна система, оптимізація управління, матриця транскордонного переміщення капіталу, чисельні методи, децентралізовані валюти.

Управління динамікою світової ФЕС з метою недопущення криз та/або послаблення впливу кризових ситуацій є вкрай важливою задачею. Її розв'язання залежить від особливостей конкретного поточного геополітичного стану суспільства та світової ФЕС, а також сукупності багатьох факторів [1–4], у тому числі рішень локальних керівних структур (національні банки, регуляторні структури, уряди — далі регулятори). Вибір факторів впливів, їхніх конкретних числових значень здійснюють локальні регулятори, що насамперед впливає на економіку конкретної країни (регіону). Для світової ФЕС одним з найважливіших важелів впливу є керування ринком транскордонного переміщення капіталу [5, 6]. Цей фактор є певною мірою під контролем та управлінням локальних регуляторів, потенційно він є також фактором взаємоузгодженого загального суттєвого впливу на світову ФЕС.

Важливим чинником, який впливає на світову ФЕС, є технологічні зміни [1, 4]. Про їхнє значення і вплив на розвиток світової економіки, на тривалість економічних циклів, хвиль економічного розвитку зазначали видатні економісти минулого століття (хвилі Кондратьєва–Шумпетера) [2]. Останнім часом такі зміни відбуваються, зокрема, в комп'ютерних технологіях та інформатиці. Вони часто мають революційний характер, істотно впливають на світову ФЕС [1]. Сучасні інформаційні технології, з одного боку, є потужним інструментом аналізу динамічних процесів, що відбуваються у світовій ФЕС, і дають змогу розв'язувати задачі, які раніше були нерозв'язні. З іншого боку, інформаційні технології стали основою для зародження фінансових потоків, що впливають на світову ФЕС, і цей вплив має бути враховано у відповідних моделях аналізу та управління. Розв'язання задачі оптимізації управління ФЕС з урахуванням сучасних технологічних досягнень потребує корегування використовуваних моделей і разом з тим включає низку підзадач: формування адекватних моделей динаміки ФЕС з урахуванням глобалізації [5, 6], подолання обчислювальних складнощів, пов'язаних зі збиранням та обробленням великих даних [7] (аналіз поточного стану великої кількості показників стану світової економіки та прогнозування), формування математичного апарату та визначення адекватних ке-

рувальних дій («важелі управління»), спрямованих на корегування динаміки ФЕС у подальшому періоді [5, 6] та ін.

Формалізуючи послідовність розв'язання задачі оптимізації управління світовою ФЕС, визначимо такі етапи:

— аналіз стану світової ФЕС (за сукупністю факторів, наведених нижче, та відповідних стану сучасної глобалізованої світової економіки) та оцінка необхідності регуляторних впливів;

— формування математичних моделей, що дають змогу прогнозувати спектр варіантів розвитку динаміки світової ФЕС;

— вибір архітектури системи управління світової ФЕС, вибір керувальних впливів з урахуванням їхніх вагових коефіцієнтів та можливості реалізації;

— розрахунок керувальних впливів, що гарантують вибрану оптимальну стратегію розвитку (динаміку) світової ФЕС.

У роботі [6] як один з основних важелів управління сучасною глобалізованою ФЕС запропоновано використовувати керування процесами транскордонного переміщення капіталу з метою необхідного корегування динаміки світової ФЕС. У цьому разі математичним апаратом є побудова та аналіз матриці транскордонного перехресного переміщення капіталу. Результати аналізу впливають на підвищення якості систем підтримки прийняття рішень, визначаючи оптимальні дії регуляторів для оптимізації управління ФЕС.

Інтенсивний розвиток децентралізованих валют (криптовалют), що відбувається останніми роками, збільшення обсягів цих ринків визначає актуальність проблем, пов'язаних з врахуванням показників таких валют у моделях динаміки світової ФЕС. Метою цієї статті є дослідження модифікацій відповідних моделей динаміки ФЕС і обчислювальні аспекти, зумовлені цими модифікаціями.

У роботах [5, 6] динаміку світової ФЕС вивчали з використанням математичного апарату теорії систем, коли світова ФЕС розглядається як складна розподілена система з процесами різної швидкості. Аналіз динаміки сучасної світової ФЕС, наведений у зазначених роботах, висновує оцінювати стан ФЕС з урахуванням поєднання низки як відомих [8], так і нових, додатково введених [5, 6] чинників. Розширення переліку параметрів, які потрібно враховувати для адекватнішого оцінювання стану світової ФЕС, насамперед зумовлене змінами, що пов'язані з глобалізацією світової економіки. До переліку цих факторів також належать:

1) індикатор Баффета [8, 9]

$$\Delta_B = V_F - V_{GDP}, \quad (1)$$

де  $V_F$  — загальна вартість фондового ринку,  $V_{GDP}$  — величина ВВП;

2) коефіцієнт спінювання  $\chi$  [5, 6]:

$$\chi = \frac{F_c}{\Delta_B}, \quad (2)$$

де  $F_c$  — величина позикового капіталу в інвестиціях;

3) індикатор вихлюпування [5, 6]

$$\Delta_1 = V_E - V_S, \quad (3)$$

де  $V_E$  — обсяг емісії,  $V_S$  — обсяг капіталу, який було переведено у закордонні інвестиції без урахування власного капіталу інвесторів (капіталу з власних коштів інвесторів);

4) індикатор швидкості зміни частки позикових інвестицій [5, 6]

$$\Delta = V_{ip} / V_{ibm}, \quad (4)$$

де  $V_{ip}$  — параметр, який характеризує швидкість інвестиційних процесів і визначається з урахуванням множини власних чисел матриці транскордонного переміщення капіталу, а  $V_{ibm}$  — параметр, що характеризує швидкість інвестицій на основі позикового капіталу.

Оцінки спектра значень індикатора Баффета визначено у роботах [8, 9]. Величини критичних та оптимальних для ФЕС значень коефіцієнта спінювання, індикатора вихлюпування та індикатора швидкості зміни частки позикових інвестицій потребують більш глибокого та розгорнутого всебічного економічного аналізу та не є предметом дослідження цієї статті.

Зазначимо, що кожен наведений показник чутливий до впливу ринків децентралізованих валют і відповідних переміщень капіталу. У сукупності зазначені показники дають змогу оцінити стан світової ФЕС, також вони є «важелями впливу» для корегування її динаміки і уможливають моделювання розвитку динаміки ФЕС внаслідок керувальних впливів регуляторів ринку транскордонного переміщення капіталу. Для сучасної глобалізованої світової ФЕС керування процесами транскордонного переміщення капіталу — це один із ключових чинників впливу на її динаміку, тому вкрай важливим є визначення математичного апарату, ефективного як для аналізу і моделювання, так і для оцінювання зворотного зв'язку за результатами керувальних впливів. Як математичний апарат та модель для розв'язання розглядуваної задачі, аналізу поточного стану та розв'язання задач прогнозування в [3] запропоновано використовувати матрицю транскордонного перехресного переміщення капіталу. Однак математична модель транскордонного перехресного переміщення капіталу, представлена в [3], передбачала врахування лише фінансових потоків, пов'язаних з фіатними валютами. В умовах сучасної глобалізованої ФЕС і внаслідок появи фінансово значущого ринку децентралізованих валют у використовуваних динамічних моделях переміщення капіталу потрібно обов'язково враховувати фінансові потоки, сформовані децентралізованими валютами. Ці фінансові потоки певним чином модифікуватимуть матрицю перехресного переміщення капіталу, змінюючи тільки строго певні групи елементів матриці. В умовах глобалізації модель ФЕС без урахування криптовалютних потоків може не відповідати реальним фінансовим процесам.

Аналіз матриці перехресного переміщення капіталу дає змогу виснувати, що зміни її елементів, спричинені рухом фінансових потоків децентралізованих валют, не впливають на елементи головної діагоналі  $a_{ii}$  і можуть стосуватися лише недіагональних елементів  $a_{ij}$ . Така властивість матриці транскордонного переміщення капіталу зумовлена тим, що її діагональними елементами керують банки-регулятори, водночас недіагональні елементи чутливі лише до непрямого впливу керівних структур. Відповідну модифікацію матриці перехресного переміщення капіталу можна вважати уточненою моделлю аналізу руху інвестицій та підмоделлю управління світовою ФЕС за умов глобалізації та появи ринку децентралізованих валют. Власні числа матриці перехресного переміщення капіталу характеризують швидкість зміни інвестиційних потоків і дають змогу оцінити стан ФЕС і прогнозувати її динаміку.

Дослідження впливу децентралізованих валют на динаміку ФЕС проведемо відповідно до [2, 3] на прикладі спрощеної матриці переміщення капіталу, сформованої з урахуванням трьох складових — США, Європейського Союзу та Китаю (табл. 1).

Передбачається, що наведені в таблиці дані, які сформовано на підставі статистичних показників (частина з них представлена на рис. 1–3 [10–12]), не містять складової, утвореної фінансовими потоками децентралізованих валют.

**Таблиця 1.** Матриця перехресного переміщення капіталу з урахуванням трьох складових (дані наведено у мільярдах доларів США)

Країна (регіон) донор/реципієнт	США	ЄС	Китай
США	89	2206	54
ЄС	139	185	241
Китай	3.4	65	13523

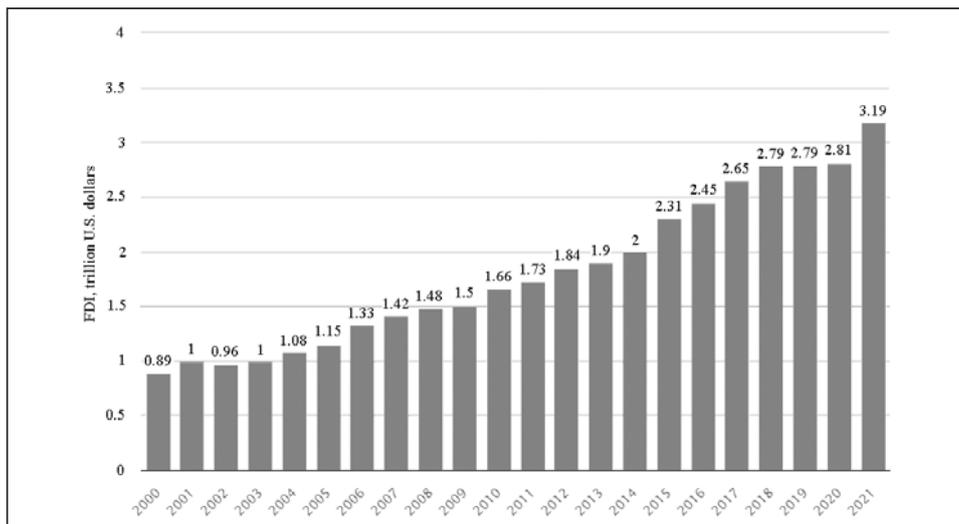


Рис. 1. Прямі іноземні інвестиції з Європи в США з 2000 по 2021 роки (у трильйонах доларів США на основі історичної вартості) [10]

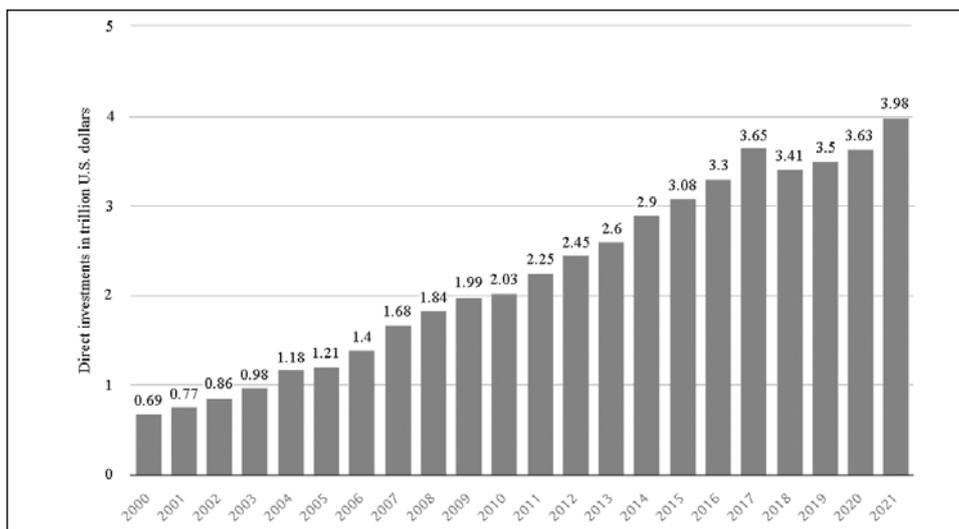


Рис. 2. Прямі іноземні інвестиції з США у Європу з 2000 по 2021 роки (у трильйонах доларів США на основі історичної вартості) [11]

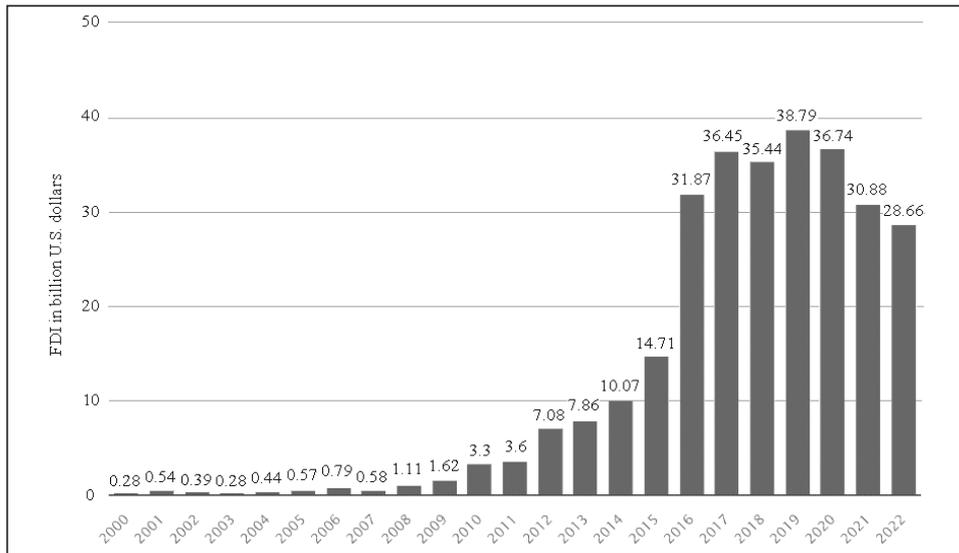


Рис. 3. Прямі іноземні інвестиції з Китаю в США з 2000 по 2021 роки (у трильйонах доларів США на основі історичної вартості) [12]

Власні числа наведеної у табл. 1 матриці перехрестного переміщення капіталу мають значення

$$\lambda_1 = 13524.2, \lambda_2 = 692.0, \lambda_3 = -419.2.$$

Моделюючи ситуацію, коли фінансовий потік, спричинений децентралізованими валютами надійде, наприклад, з Китаю до США та ЄС, а зі США до ЄС та Китаю, використовуватимемо нові елементи матриці:

$$a_{31} = 60, a_{32} = 95, a_{12} = 2500, a_{13} = 90.$$

У цьому випадку власні числа матимуть значення

$$\lambda_1 = 13525.3, \lambda_2 = 724.8, \lambda_3 = -453.1.$$

Суттєві зміни фінансових потоків децентралізованих валют, відображені елементами матриці

$$a_{31} = 260, a_{32} = 295, a_{12} = 2900, a_{13} = 190,$$

зумовлять нові значення власних чисел

$$\lambda_1 = 13533.1, \lambda_2 = 757.2, \lambda_3 = -493.3.$$

Зміна власних чисел відображає прискорення або уповільнення процесів у динаміці ФЕС, що визначається системою рівнянь, яка має загальний вигляд

$$\dot{X} = f(x, u, \xi, t),$$

де  $x$  — змінні, що описують динаміку ФЕС,  $u$  — вектор керувальних впливів, а  $\xi$  — вектор, що враховує випадкові параметри. Водночас кореляційні залежності

$$\text{cov}_{xu} = M[(x - M(x))(u - M(u))]$$

(де  $u = u(A)$ ,  $A$  — матриця транскордонного перехресного переміщення капіталу) дають змогу визначити для регуляторів керувальні параметри та регуляторні заходи для корегування динаміки світової ФЕС. За матрицею переміщення капіталу необхідною умовою досягнення потрібного результату щодо оптимізованого управління та захисту світової ФЕС від кризових ситуацій є скоординовані дії регуляторів світових економік.

Подальші дослідження оптимізації управління світової ФЕС та його взаємозв'язку з кореляцією прибутку та інвестиційної активності (значні математичні результати представлено в роботах Я. Тінгенберга [13] та ін.) в умовах глобалізованої економіки та розвинутого ринку децентралізованих валют є актуальним завданням, що виходить за межі цієї статті. До того ж дослідження оптимального поєднання регуляторного впливу через керування ринком переміщення капіталу як основного фактора з іншими керувальними заходами регуляторів є однією із важливих задач прикладної макроекономіки [5].

За результатами чисельних експериментів можна висувати, що зміни недиагональних елементів матриці перехресного переміщення капіталу не усувають проблеми коректного вибору обчислювальних методів визначення власних чисел матриць транскордонного перехресного переміщення капіталу. Результати обчислень з використанням різних методів відповідають даним, наведеним в [14]. Аналогічно до [14] використання обчислювальних методів першої групи (метод Лавер'є–Ньютона, метод Крилова та ін.) потребує обережності та ускладнює аналіз отриманих результатів. Застосування методів другої групи (степеневий метод, метод Хиленка) не потребує задання спеціальних параметрів обчислювального процесу.

Отже, можна дійти таких висновків.

— Зміни в чисельних даних фінансових потоків, спричинені інтегрованим урахуванням даних, пов'язаних з децентралізованими валютами (за умов використання усереднених даних, що відповідають сучасному стану ринку), несуттєво впливають на динаміку ФЕС та зміну її прогнозних показників.

— Як бачимо з наведених розрахунків власних чисел матриці перехресного переміщення капіталу, помірні фінансові потоки, пов'язані з децентралізованими валютами, не нівелюють принципу інтегрованого управління світовою ФЕС через регулювання транскордонного переміщення капіталу. Об'єднана стратегія (корельовані дії) банків-регуляторів забезпечить зміни динаміки ФЕС та, змінюючи значення елементів матриці перехресного переміщення капіталу, тобто керуючи рухом капіталу світової ФЕС та координуючи діяльність центробанків як із розвинутою економікою, так із перехідною економікою, можна знизити ймовірність розвитку кризових ситуацій та захистити інтереси інвесторів. Управління світовою банківською системою з використанням корельованих дій регуляторів може або пом'якшити кризу, або нівелювати її на початковому етапі — етапі зародження. Такими діями є емісійні операції, обмеження на введення/виведення капіталу, спеціальний податковий режим для окремих бізнесів тощо [5, 6].

Коректне управління світовою банківською системою в умовах сучасної глобалізованої ФЕС потребує розширення поняття «регуляторних заходів» та «захисту інтересів інвесторів» на ринок децентралізованих валют, важелі управління яким також належать регуляторам.

— Зміни власних чисел матриці перехресного переміщення капіталу, що враховує волатильність ринку децентралізованих валют [15], дають змогу точніше прогнозувати зміни динаміки світової ФЕС та розраховувати керувальні дії, спрямовані на її стабілізацію з урахуванням впливу інвестиційних процесів на тривалість економічних циклів Кондратьєва–Шумпетера [2].

— Оптимальне управління світовою ФЕС через керування світовим ринком транскордонного переміщення капіталу не тільки захищає від криз, але й може збільшувати прибуток інвесторам, оскільки дає змогу зменшити ризики інвестиційних втрат і безпомилково прогнозувати зміни динаміки ринків, що, у свою чергу, уможливорює точніше оцінювання наслідків інвестиційних дій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Šmihula D. Waves of technological innovations and the end of the information revolution. *J. Economics and International Finance*. 2010. Vol. 2, N 4. P. 58–67.
2. Korotayev A., Tsirel S. A spectral analysis of world GDP dynamics: Kondratieff waves, Kuznets swings, Juglar and Kitchin cycles in global economic development, and the 2008–2009 economic crisis. *Structure and Dynamics*. 2010. Vol. 4, N 1. P. 3–57.
3. Schumpeter J.A. Business cycles. N.Y.; London: McGraw-Hill Book Co., 1939. 385 p.
4. Freeman C. The economics of industrial innovation. Penguin, 1974. 409 p.
5. Khilenko V.V. Mathematical modeling of the effect of “splashing out” and optimization of management of banking and economic systems under globalization conditions. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2018. Vol. 54, N 3. P. 376–384. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0039-7>.
6. Khilenko V.V. Managing the capital transfer market and optimizing management of the world economic and banking systems under the conditions of globalization. Regulating regulators. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59, N 3. P. 473–479. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00582-2>.
7. Manyika J., Chui M. Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute, 2011. 156 p.
8. Buffet indicator. URL: <https://www.currentmarketvaluation.com/models/buffett-indicator.php>.
9. Shakhnazaryan G., Polyansky D. The Buffett index pointed to the crash of 2008. What will happen now that he is at his peak. URL: <https://quote.rbc.ru/news/article/6115019e9a7947e5fd86044d>.
10. Foreign direct investment from Europe into the United States from 2000 to 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/188884/foreign-direct-investment-from-europe-in-the-us-since-1990/>.
11. Foreign direct investment position of the United States in Europe from 2000 to 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/188579/united-states-direct-investments-in-europe-since-2000/>.
12. Foreign direct investment from China into the United States from 2000 to 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/188935/foreign-direct-investment-from-china-in-the-united-states/>.
13. Tinbergen Ya. On the method of statistical research of the business cycle. Answer J.M. Keynes (Comment by J.M. Keynes). *Questions of Economics*. 2007. N 4. P. 46–59.
14. Khilenko V., Stepanov O., Kotuliak I., Reis M. Optimization of the selection of software elements in control systems with significantly different-speed processes. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2021. Vol. 57, N 2. P. 185–189. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00342-0>.
15. Chang T.-H., Svetinovic D. Data analysis of digital currency networks: Namecoin case study. *2016 21st International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS)*. Dubai, United Arab Emirates, 2016. P. 122–125. <https://doi.org/10.1109/ICECCS.2016.023>.

### V. Khilenko

#### OPTIMIZING THE MANAGEMENT OF THE WORLD FES AND ADJUSTING ITS DYNAMICS, TAKING INTO ACCOUNT THE FINANCIAL FLOWS OF DECENTRALIZED CURRENCIES

**Abstract.** The author proposes an adjustment and analyzes the variability of the mathematical models of the dynamics of the world financial and economic system (FES) caused by financial flows of capital movements of decentralized currencies. These models are generated based on the matrix of cross-border movement of capital and are used to calculate the governing influences of regulators, aimed at optimizing the management of the world FES for anti-crisis protection. Computational problems related to the mathematical features and correction of models are analyzed. Calculations of changes in the eigenvalues of the model matrices during capital flows of decentralized currencies are given.

**Keywords:** mathematical modeling, world (global) financial and economic system, management optimization, cross-border capital movement matrix, numerical methods, decentralized currencies.

*Надійшла до редакції 9.10.2023*