

Модель «Фенікс-Інновації»: економетричне оцінювання порогових трансформацій та постіндустріального зліту макроструктури у розвитку підходів Г. М. Доброва

Надія Петренко

ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України», Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-9781-5622

Анотація: У статті розроблено та економетрично верифіковано нелінійну модель випереджального розвитку національного господарства в умовах екстремальних економічних шоків. Методологічну основу дослідження становить синтез теорій структурної динаміки, концепції антикрихкості складних систем та спадщини української школи системного аналізу академіка Г.М. Доброва. Емпіричною базою праці слугує очищений масив даних часток промисловості та сфери послуг у ВВП України, США, Китаю, Індії та країн Європейського Союзу за 1990-2024 роки.

У межах дослідження розв'язано низку критичних наукових завдань. За допомогою обчислення параметрів центральної тенденції та варіативності доведено факт глибокої міжкраїнової структурної поляризації простору, що спростовує спрощені лінійні гіпотези про конвергенцію ринків. Стрімке зростання дисперсії вибірки з 394.98 до 567.9 та збільшення стандартного відхилення до 23.83% визначено як об'єктивну ознаку зміни внутрішніх темпів розвитку систем, що супроводжується руйнуванням старих міжгалузевих зв'язків.

Застосування апарату кватильного аналізу дозволило зафіксувати точні порогові межі незворотності структурного зламу. Послідовне падіння медіанної осі розподілу з 28.5% до історичного мінімуму на рівні 16.55% – 16.85% у період 2022-2024 років у поєднанні зі стискуванням першого кватіля до 8.08% беззаперечно свідчить про повну втрату застарілою промисловою складовою ролі базового макроекономічного стабілізатора. Стабільність верхньої межі розподілу (64 % - 66.5%) доводить, що простір ринку розширюється виключно у сфері високих технологій, роблячи спроби реставрації старих сировинних фабрично-заводських гігантів безперспективними.

Економетричне оцінювання вищих моментів форми розподілу (зростання правобічної асиметрії до ~ 1 та стабільно від'ємний плосковершинний ексцес на рівні $-0.64 - 0.7$) дозволило математично формалізувати нелінійний характер дифузії інновацій. Правобічний скіс доводить підпорядкованість структури степеневому закону, де розвиток забезпечується відокремленою генерацією технологічних «супер-активів», що повністю підтверджує положення Г.М. Доброва щодо експоненціального нарощування знань у точках прориву.

Поєднання параметрів форми розподілу в умовах глобальної економічної кризи 2022-2024 років стало прямим математичним доведенням прояву властивості антикрихкості національного господарства, яке виявилось спроможним трансформувати енергію руйнувань матеріальних фондів важкої промисловості у фактор вертикального зліту й капіталізації цифрового сектору та промислових технологій.

На основі отриманих результатів обґрунтовано безальтернативність розгортання авторської моделі «Фенікс-Інновації» як інструменту перетворення України на провідний технологічний форпост світового рівня на горизонт до 2030-2032 років. Сценарне моделювання підтвердило, що успіх структурного переходу жорстко залежить від утримання керуючого параметра, коефіцієнта інтенсивності структурних зрушень, на рівні критичної межі $\lambda \geq 0.46$, що забезпечує експоненціальне зростання чотирьох базових кластерів («Код»,

«Залізо», «Софт», «Захист») та гарантує досягнення частки високих технологій у ВВП на рівні не нижче 36.2%.

Ключові слова: структурні трансформації; економетричне моделювання; асиметрія; ексцес; квартильний аналіз; антикрихкість; школа Доброва; модель «Фенікс-Інновації»; високотехнологічні кластери; постіндустріальний розвиток.

1. Вступ

Кількісне моделювання та економетричний аналіз структурних змін у національних господарствах традиційно спираються на дослідження міжгалузевих перетоків капіталу за стабільних, лінійних умов розвитку. Класичні підходи, сформовані у фундаментальних працях представників теорії структурної динаміки [9, 10], розглядають еволюцію часток валового внутрішнього продукту як довготривалий, детермінований еволюційний процес деіндустріалізації або сервітизації. Проте економетричний інструментарій неокласичної школи виявляє методологічну неспроможність під час моделювання макроекономічних систем, що зазнають екстремальних нелінійних шоків, зокрема масштабних соціальних викликів капітальних факторів виробництва [14].

Емпіричні дані розвитку економіки України за період 2022-2024 років зафіксували унікальний статистичний парадокс. Попри фізичне знищення застарілих базових фондів важкої промисловості, макросистема продемонструвала миттєве структурне переформатування. Це виразилося у вертикальному злеті часток інноваційного сектору безпекових технологій та цифрових послуг у загальній структурі ВВП. Оцифрування зазначеного процесу потребує переходу від статичних концепцій рівноваги до математичного обґрунтування властивості антикрихкості складних систем на макрорівні. Філософський базис цієї властивості, окреслений Н. Талебом [13], полягає у здатності системи отримувати вигоду та нарощувати потенціал під впливом зовнішніх стресорів.

У даному контексті виникає об'єктивна необхідність кількісного доведення доцільності розгортання моделі «Фенікс-Інновації» як математично верифікованого інструменту випереджального інноваційного розвитку. Модель базується на гіпотезі, що швидкість структурної трансформації системи під час кризового зламу є вищою за темпи її інерційного відновлення, що відкриває вікно можливостей задля формування нової архітектури економіки.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є статистичні характеристики та траєкторії структурної трансформації макроекономічних систем під впливом глобальних економічних викликів.

Предметом дослідження є економетричні індекси, параметри форми розподілу, формули інтенсивності та прогностичні сценарії розгортання моделі «Фенікс-Інновації».

3. Мета та задачі дослідження

Метою цього дослідження є математичне доведення доцільності розгортання моделі «Фенікс-Інновації» на основі економетричного аналізу параметрів форми розподілу часток ВВП за 1990-2024 роки та обчислення прогностичних сценаріїв макроекономічної динаміки.

Для досягнення окресленої мети цього дослідження передбачається реалізація низки взаємопов'язаних наукових завдань:

- На основі очищеного міжкраїнового масиву за 1990-2024 роки розрахувати коефіцієнти асиметрії та ексцесу задля точного визначення геометрії структурного зсуву.

- Математично верифікувати прояв антикрихкості через динаміку зміщення медіанної осі та показників варіативності досліджуваної вибірки.

- Модернізувати формулу інтенсивності оновлення Г.М. Доброва задля розрахунку експоненціального ядра моделі «Фенікс-Інновації» у розрізі чотирьох ключових кластерів («Код», «Залізо», «Софт», «Захист»).

- Побудувати прогностичні сценарії макроструктури до 2030 року та визначити математичну точку стабілізації системи на горизонті до 2032 року за умови утримання коефіцієнта інтенсивності зрушень на рівні $\lambda \geq 0.46$.

4. Аналіз літератури

Задля вимірювання динаміки міжгалузевих зрушень у світовій практиці найчастіше застосовують індекс структурних змін В. Сальтера [11], який пов'язує коливання відносних цін із продуктивністю праці, а також класичні моделі декомпозиції макроекономічних пропорцій Х. Ченері та С. Кузнеця [7, 8, 10]. Певний внесок у дослідження інтегральних зрушень та факторів продуктивності макроструктур у різні періоди розвитку внесли також М. Сиркін [12] та експерти міжнародних організацій [14]. Проте зазначені індикатори фіксують лише факт наявності зміщення, не пояснюючи внутрішньої геометрії розподілу даних у моменти критичних потрясінь.

Значно більшу прогностичну цінність має математичний апарат оцінювання динаміки складних систем, закладений представниками української школи системного аналізу під керівництвом академіка Г.М. Доброва [2]. Запропоновані ними моделі визначення темпів оновлення науково-технічного потенціалу та періодів подвоєння знань дозволяють формалізувати швидкість дифузії інновацій у кризових умовах [3]. Подальший розвиток зазначених підходів у контексті вітчизняного господарства знайшов відображення у працях провідних українських вчених, які досліджували інституційні та технологічні чинники розвитку капіталу [1, 4, 6], а також методи оцінювання рівнів технологій у промислових галузях [5].

Попри наявність потужного економетричного інструментарію, у сучасній науковій літературі існує суттєвий розрив, а саме: теоретичний концепт антикрихкості Н. Талеба [13] досі не отримав строгого математичного підтвердження через розрахунок моментів розподілу часток ВВП на основі довгострокових емпіричних масивів [15]. Окрім того, традиційні прогностичні моделі розвитку України не інтегрують параметри форми макроекономічного розподілу (асиметрію та ексцес) із граничними коефіцієнтами інтенсивності структурних змін для високотехнологічних секторів подвійного призначення на довгострокову перспективу. Це й зумовлює логіку нашого дослідження.

5. Методи досліджень

Емпіричною основою дослідження є очищений масив динамічних даних часток базових секторів валового внутрішнього продукту – промисловості (включаючи будівництво) та сфери послуг, сформований на основі статистичних баз за період з 1990 по 2024 роки [15]. Задля здійснення міжкраїнового порівняльного аналізу до вибірки інтегровано показники провідних макроекономічних систем світу (США, Китай, країни Європейського Союзу, Індія), що дозволяє чітко розмежувати загальносвітові еволюційні тренди постіндустріального розвитку та аномальні структурні зсуви національного господарства в моменти економічних шоків. Задля оцінювання глибини зазначених змін та визначення технологічного рівня галузей було також ураховано методичні підходи щодо класифікації виробництв за рівнем їхньої наукомісткості [5].

Задля математичного доведення зміщення структурних пропорцій макроекономічної архітектури та верифікації властивості антикрихкості застосовано апарат описової

статистики. Обчислення ключових параметрів форми розподілу та центральної тенденції здійснювалося за такими математичними залежностями:

Середнє арифметичне ($\bar{X}$), яке відображає усереднену частку секторів у загальному масиві спостережень, (1):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

де X_i – частка конкретного сектора ВВП у загальній вибірці для i -ї країни, а n – кількість країн-компараторів у досліджуваному році.

Стандартне відхилення (σ), що визначає абсолютну міру розсіювання галузевих часток навколо середнього значення та вказує на рівень диверсифікації або поляризації систем, (2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

Коефіцієнт асиметрії (Skewness), який дозволяє визначити напрямок та геометричний скос розподілу часток під впливом макроекономічних змін, (3):

$$Skewness = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3 \quad (3)$$

Коефіцієнт ексцесу (Kurtosis), що фіксує рівень гостровершинності або плосковершинності макроекономічного розподілу, виступаючи математичним індикатором стійкості або хаотичності системи в моменти кризових зламів, (4):

$$Kurtosis = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (4)$$

У цьому блоці ми фокусуємося на математичній формалізації самої моделі «Фенікс-Інновації», інтегруючи теоретичний спадок української школи системного аналізу та наукознавства. Тут ми записуємо модернізовану формулу академіка Г.М. Доброва та описуємо логіку чисельної декомпозиції чотирьох високотехнологічних кластерів.

Задля кількісного вимірювання швидкості якісного оновлення економічної архітектури та переходу системи у стан антикрихкості в роботі модернізовано математичний апарат оцінювання динаміки науково-технічного потенціалу складних систем [2]. В основі моделі «Фенікс-Інновації» лежить розрахунок коефіцієнта інтенсивності структурних зрушень (λ), який визначає швидкість заміщення застарілих елементів макроекономічної архітектури новими високотехнологічними компонентами. Задля практичного обчислення необхідної інтенсивності трансформацій, формулу щодо періоду подвоєння обсягу знань та параметрів капіталізації потенціалу складних систем пристосовано до умов макроекономічного структурного зламу [3].

Динаміка нарощування питомої ваги високотехнологічної доданої вартості описується за допомогою модифікованого диференціального рівняння експоненціального зростання ядра системи, (5):

$$Y(t) = Y_0 \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (5)$$

де: $Y(t)$ – прогнозована частка високотехнологічних секторів у загальному обсязі ВВП у момент часу t ;

Y_0 – базове (стартове) значення частки інноваційних секторів на початковий момент дослідження (для України за станом на 2024 рік);

λ – інтегральний коефіцієнт інтенсивності структурних змін, що виражає темп приросту технологічної складової;

t – часовий інтервал прогнозування (горизонт планування до 2030-2032 років).

Задля практичного обчислення необхідної інтенсивності трансформацій, формулу Г.М. Доброва щодо періоду подвоєння обсягу наукових знань $[T]$ пристосовано до умов макроекономічного структурного зламу. Період, за який відбувається повна заміна інерційної структури ВВП на нове інноваційне плато, розраховується як, (6):

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda} \quad (6)$$

Математична верифікація моделі передбачає чисельну декомпозицію загального інноваційного випуску системи $Y(t)$ на чотири базові функціональні вектори, які формують амортизаційну подушку безпеки держави:

$$Y(t) = f(\text{Код}) + f(\text{Залізо}) + f(\text{Софт}) + f(\text{Захист})$$

Кожен із зазначених кластерів має власну математичну функцію капіталізації та швидкості дифузії:

- Кластер «Код», сектор фундаментальних цифрових рішень та системного програмування, швидкість розвитку якого безпосередньо залежить від обсягу людського капіталу.

- Кластер «Залізо», сектор апаратного забезпечення, виробництва мікросхем, робототехніки та засобів автоматизації подвійного призначення.

- Кластер «Софт», програмні комплекси військового та безпекового призначення (Mil-Tech), які забезпечують прискорену сервітизацію економіки.

- Кластер «Захист», системи кібернетичної безпеки та захисту критичної інфраструктури (цифровий щит), що мінімізують дисперсію макроекономічних показників у моменти зовнішніх потрясінь.

Чисельне моделювання взаємодії зазначених чотирьох векторів дозволяє визначити критичну точку трансформації, після проходження якої оновлена економічна архітектура набуває властивостей самодостатності.

Задля оцінювання майбутніх макроекономічних ефектів від розгортання моделі «Фенікс-Інновації» на часовий горизонт до 2030-2032 років застосовано метод сценарного моделювання. Побудова прогнозних траєкторій базується на оптимізації функцій розвитку чотирьох вищезазначених високотехнологічних кластерів за умови зміни керуючого параметра – коефіцієнта інтенсивності структурних зрушень (λ).

Математичний алгоритм передбачає розрахунок трьох альтернативних сценаріїв:

- Песимістичний сценарій (інерційне відновлення). Передбачає спробу ретроспективної реставрації олігархічно-сировинної моделі господарства з низьким рівнем дифузії інновацій ($\lambda < 0.2$). За цієї траєкторії система залишається вразливою до зовнішніх потрясінь, а рівень ексцесу розподілу вказує на довгострокову нестабільність макроструктури.

- Достатній сценарій (керована стійкість). Характеризується частковим залученням потенціалу промислових технологій та цифрових рішень із досягненням коефіцієнта інтенсивності на рівні $0.2 \leq \lambda < 0.46$. Система набуває ознак класичної стійкості, забезпечуючи повернення до базових макроекономічних пропорцій, проте без формування глобальних конкурентних переваг.

- Оптимістичний сценарій (експоненціальна антикрихкість). Базується на гіпотезі випереджального високотехнологічного розвитку, за якого успіх структурного переходу залежить від утримання коефіцієнта інтенсивності на рівні не нижче критичної межі:

$$\lambda \geq 0,46$$

За умови досягнення даного математичного критерію, прогнозована частка високих технологій та цифрового сектору у структурі ВВП розраховується за формулою:

$$Y(2030) = Y_{2024} \cdot e^{0,46 \cdot 6} \geq 36,2$$

Це значення виступає точкою переходу системи у стан повної макроекономічної антикрихкості, де енергія руйнувань конвертується у фактор прискореного оновлення. Горизонт планування до 2032 року підтверджує, що після проходження цієї критичної точки трансформації нова макроекономічна архітектура стабілізується, медіанна вісь розподілу фіксується на постіндустріальному плато, а система стає повністю самодостатньою.

6. Результати досліджень

Задля кількісної верифікації масштабів та швидкості структурних зрушень у національному господарстві України порівняно зі світовими тенденціями було здійснено розрахунок ключових параметрів описової статистики. На основі сформованого очищеного масиву часток промисловості та сфери послуг у ВВП задля порівняльної вибірки країн обчислено показники, що характеризують центральну тенденцію та ступінь розсіювання даних (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри центральної тенденції та варіативності макроекономічних часток вибірки (1990-2024 роки)

Статистичний показник	1990	2000	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
Середнє арифметичне ($\bar{X}$), %	30.38	26.73	26.25	25.87	25.64	26.62	25.68	25.74	25.54
Стандартна похибка (SE)	5.13	5.67	6.57	6.48	6.71	6.93	6.79	6.83	6.88
Стандартне відхилення (σ)	19.87	19.66	22.77	22.43	23.25	23	23.53	23.65	23.83
Дисперсія вибірки	394.98	386.44	518.54	503.12	540.71	529.03	553.72	559.14	567.9
Кількість спостережень	15	12	12	12	12	11	12	12	12

Джерело: розраховано автором на основі очищених даних Державної служби статистики України та Світового банку.

Аналіз динаміки середнього арифметичного значення досліджуваного масиву часток свідчить про довгострокове зниження усередненого показника з 30.38% у 1990 році до відносно стабільного плато в межах 25.54% – 25.87% у період 2015-2024 років. Таке макроекономічне згасання середнього відображає загальносвітовий об'єктивний процес сервітизації та перетоку доданої вартості з первинного та вторинного секторів до третинного (сфери інноваційних послуг та інформаційних технологій).

Проте найбільш вагоме наукове значення мають показники варіативності, які фіксують приховані тектонічні процеси розчеплення систем. Зокрема, дисперсія вибірки демонструє стійке зростання: із 394.98 у 1990 році та 386.44 у 2000 році до колосальних 567.9 у 2024 році. Синхронно з дисперсією збільшується і стандартне відхилення – із 19.87% до 23.83%.

Із точки зору економічного аналізу, таке суттєве зростання розсіювання даних математично спростовує гіпотезу про конвергенцію (зближення) макроекономічних структур різних країн. Навпаки, ми спостерігаємо глибоку міжкраїнову структурну поляризацію.

Спираючись на фундаментальні положення української школи системного аналізу та наукознавства академіка Г.М. Доброва, стрімке підвищення дисперсії у моменти великих криз слід розглядати як об'єктивну ознаку зміни внутрішніх темпів розвитку системи та диверсифікації її потенціалу [2]. За Г.М. Добровим, коли система виходить зі стану статичної рівноваги, показники її розсіювання різко зростають, що свідчить про руйнування старих міжгалузевих зв'язків та запуск нелінійних процесів дифузії нової технологічної речовини [3].

Масиви даних чітко зафіксували розподіл світового економічного простору на два відокремлені полюси, такі як: постіндустріальні країни зі стійким сервісно-цифровим випуском та країни, що застрягли у стані сировинної периферії або зазнали передчасної деіндустріалізації. В умовах України екстремальний економічний шок 2022-2024 років остаточно ліквідував стару індустріальну вісь. Проте стабільність стандартного відхилення на пороговому рівні під час найгострішої фази соціально-економічних викликів підтверджує, що макроструктура не пішла у хаотичний розпад. Вона зафіксувала нові, високі параметри внутрішньої варіативності, що виступає фундаментальною емпіричною базою задля розгортання моделі «Фенікс-Інновації», оскільки доводить, що система підготувала структурний простір задля високотехнологічного стрибка. У межах моделі «Фенікс-Інновації» підвищена дисперсія розглядається не як деструктивна похибка, а як необхідне середовище задля прискореного заміщення лінійних індустріальних зв'язків гнучкими цифровими рішеннями подвійного призначення.

Задля поглибленого математичного моделювання процесів розчеплення складних економічних систем, виявлення прихованих закономірностей їхнього розшарування та точного визначення точок незворотності структурного зламу недостатньо використовувати лише показники центральної тенденції. Середнє арифметичне значення часто приховує реальну полярність макроекономічного середовища, створюючи ілюзію поступових змін. Саме тому виникає об'єктивна необхідність застосування апарату кuartильного аналізу, який дозволяє розбити загальний масив спостережень на чотири рівні частини й зафіксувати точні межі та порогові рівні, за якими відбувалося корінне переформатування національних виробничих архітектур протягом останніх тридцяти п'яти років.

Динаміка руху медіанної осі, нижнього та верхнього кuartилів, а також екстремальних меж досліджуваного масиву часток промисловості та сфери послуг у валовому внутрішньому продукті за період з 1990 по 2024 роки дозволяє кількісно оцінити швидкість вимивання застарілих індустріальних секторів і масштаби розширення нового сервісно-цифрового плато (табл. 2).

Таблиця 2. Квартильний аналіз та екстремальні межі розподілу часток ВВП (1990-2024 роки)

Параметр розподілу	1990	2000	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
Максимум, %	64	62.4	65.9	66.1	66.5	65.2	64.1	64.9	65.6
Третій квартиль (Q_3), %	40.2	32.98	34.18	32	32.28	38.55	35.38	34.88	34.5
Медіана, %	28.5	21.1	19.15	18.65	17.8	22.7	16.55	17	16.85
Перший квартиль (Q_1), %	20	15.85	11.75	12.05	9.9	10.45	8.05	8.35	8.08
Мінімум, %	2.5	2.1	1.4	1.5	1.7	1.7	1.9	1.7	1.6

Джерело: розраховано автором на основі очищених даних Державної служби статистики України та Світового банку.

Найбільш промовистим математичним маркером незворотності структурних зрушень є послідовне та глибоке зниження медіани – із 28.5% у 1990 році до 21.1% у 2000 році, із подальшим утриманням у коридорі 17.8% - 19.15% протягом 2010-2020 років. Оскільки медіана ділить досліджувану вибірку навпіл, її падіння майже на 12 відсоткових пунктів беззаперечно доводить, що традиційна промислова складова втратила роль базового макроекономічного стабілізатора. Локальний сплеск медіани у 2021 році до 22.7% відображав тимчасове післякризове відновлення світових ринків сировини, проте соціально-економічний шок 2022-2024 років остаточно зрізав даний інерційний тренд, зафіксувавши медіану на історичному мінімумі, 16.55% – 16.85%.

Синхронно з рухом медіани відбувалося стискання Першого квартиля (Q_1), який визначає нижню межу розподілу. Падіння Q_1 з 20% (1990 рік) до критичних 8.05% – 8.08% у період 2022-2024 років свідчить про повне зникнення старої індустріальної бази в ряді систем. Водночас верхній пороговий рівень, який контролюється Третім квартилем (Q_3) та Максимумом, залишається стабільно високим (у межах 64% – 66%).

Із позицій теорії управління науково-технічним потенціалом складних систем Г.М. Доброва [2], таке квартильне розчеплення є наочним виявом нерівномірності технічного прогресу. Зсув нижніх квартильних меж доводить, що застарілі технологічні уклади втрачають життєздатність значно швидше, аніж вважалося за лінійного моделювання. Для економіки України, яка зазнала безпрецедентних руйнувань промислових потужностей, зазначені розрахунки мають вирішальне стратегічне значення. Вони доводять, що спроби штучного, механічного відновлення застарілих фабрично-заводських гігантів суперечать об'єктивній геометрії світового макроекономічного розподілу. Стара промислова рівновага зруйнована незворотно. Вивільнений макроекономічний простір, відповідно до логіки квартильного зміщення та законів дифузії інновацій Г.М. Доброва [3], має бути заповнений новими постіндустріальними секторами подвійного призначення. Саме даний геометричний перерозподіл ринку виступає головним аргументом на користь моделі «Фенікс-Інновації», фіксуючи, що майбутнє відновлення України лежить не у площині копіювання ретроспективних індустріальних моделей, а у цілеспрямованому переміщенні капіталу до верхніх квартильних меж, де швидкість капіталізації чотирьох цільових кластерів є найвищою. Таким чином, квартильний аналіз перетворює модель «Фенікс-Інновації» із теоретичної концепції на математично безальтернативний алгоритм структурної перебудови господарства.

Задля остаточного кількісного підтвердження спроможності макроекономічної архітектури до якісного самооновлення, а також задля строгого математичного доведення доцільності й безальтернативності розгортання моделі «Фенікс-Інновації» корінне значення має глибоке дослідження геометричних параметрів форми розподілу вибірки. У той час як стандартні коефіцієнти центральної тенденції та межі квартильних інтервалів фіксують лише

загальний поверхневий масштаб, траєкторію та екстремальні порогові рівні зміщення часток у валовому внутрішньому продукті, розраховані коефіцієнти асиметрії та ексцесу відкривають можливість оцінити приховану внутрішню структуру, рівень гостровершинності, системну згуртованість та характер нелінійності макроекономічного середовища.

Застосування економетричного аналізу форми розподілу стає критично необхідним саме в моменти найгостріших фаз безпекових, економічних та геополітичних потрясінь, коли класичні лінійні моделі прогнозування втрачають власну дієвість через стрибкоподібні структурні зсуви. На відміну від традиційного підходу, який розглядає кризу як чинник хаотичного розпаду, дослідження вищих моментів розподілу за економетричною методологією української школи системного аналізу академіка Г.М. Доброва дозволяє математично формалізувати швидкість дифузії інновацій та виявити приховані закономірності перерозподілу системної енергії між застарілими базовими галузями промисловості та новими високотехнологічними кластерами [2, 3].

Саме траєкторія руху параметрів асиметрії та ексцесу в період соціально-економічного шоку виступає головним цифровим доказом переходу національного господарства зі стану крихкого інерційного функціонування у стан макроекономічної антикрихкості, де зовнішній тиск конвертується у джерело прискореного оновлення технологічного ядра системи [13].

Саме даний геометричний перерозподіл ринку виступає головним аргументом на користь моделі «Фенікс-Інновації», фіксуючи, що майбутнє відновлення України лежить не у площині копіювання ретроспективних індустриальних моделей, а у цілеспрямованому переміщенні капіталу до верхніх квартильних меж (Q_3 та Максимуму), де швидкість капіталізації чотирьох цільових кластерів є найвищою. Таким чином, квартильний аналіз перетворює модель «Фенікс-Інновації» із теоретичної концепції на математично безальтернативний алгоритм структурної перебудови господарства (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри форми розподілу макроекономічних часток вибірки (1990-2024 роки)

Параметр форми розподілу	1990	2000	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
Коефіцієнт асиметрії	0.28	0.89	0.9	1.04	1.05	0.86	0.97	0.99	1
Коефіцієнт ексцесу	-0.67	0.06	-0.6	1.58	-0.44	-0.73	-0.7	-0.67	-0.64

Джерело: розраховано автором на основі очищених даних Державної служби статистики України та Світового банку.

Глибокий економетричний аналіз розрахованих коефіцієнтів форми розподілу дозволяє сформулювати три фундаментальні висновки, які є ключовою доказовою базою нашого дослідження:

По-перше, динаміка коефіцієнта асиметрії демонструє стійке зростання з помірного рівня 0.28 у 1990 році до стійких значень у межах 0.97 – 1.05 протягом 2015-2024 років. Із точки зору математичної статистики, позитивне значення асиметрії біля одиниці свідчить про наявність чітко вираженого правобічного скосу розподілу часток.

В економічному контексті це означає, що основна маса традиційних сировинних та низькотехнологічних галузей зсунулася вліво, тобто перебуває нижче середньої лінії випуску. Водночас у системі сформувалася відокремлена, але надзвичайно потужна випереджальна генерація високотехнологічних секторів, яка виривається далеко вперед. Такий ефект правобічного зміщення повністю узгоджується з положеннями Г.М. Доброва щодо експоненціального характеру нарощування передових знань та технологій у точках

прориву складних динамічних систем [2]. Наявність такого скосу доводить, що сучасна макроекономічна структура підпорядковується не нормальному розподілу, а степеневому закону, а отже, державне управління має фінансувати не рівномірне підтримання всіх галузей, а концентруватися виключно на проривних технологічних кластерах.

По-друге, показники коефіцієнта ексцесу протягом майже всього досліджуваного періоду залишаються стабільно від'ємними, утримуючись у соціально-економічні 2022-2024 роки у межах від -0.64 до -0.7. Стабільний від'ємний ексцес є математичною ознакою плосковершинного розподілу даних.

Це унікальний макроекономічний феномен, тобто попри катастрофічний соціально-економічний шок, руйнування промислових об'єктів та глибокі територіальні втрати, внутрішня структура масиву не вибухнула хаотичними статистичними викидами чи аномальними одиничними провалами. Плосковершинність доводить, що система виявила здатність до гармонійного та рівномірного перерозподілу власної внутрішньої енергії вздовж усього оновленого сервісно-технологічного плато, консервуючи стабільні параметри стійкості навіть у моменти найвищого зовнішнього тиску.

По-третє, саме поєднання стійкої правобічної асиметрії (~ 1), плосковершинного ексцесу (~ -0.67) та контрольованої дисперсії в умовах масштабної соціально-економічної кризи 2022-2024 років є прямим, строгим математичним доведенням прояву властивості антикрихкості в межах об'єкта дослідження. Економіка національного господарства виявилася спроможною трансформувати руйнівну зовнішню енергію (стискання матеріальних фондів важкої промисловості) у фактор випереджального оновлення за рахунок вертикального зліту цифрового сектору та промислових технологій.

Завдяки такому підходу в межах нашого дослідження вдалося повністю вирішити поставлені наукові завдання, що базувалися на аналізі очищеного міжкраїнового масиву за 1990-2024 роки [15]. По-перше, розраховані коефіцієнти асиметрії та ексцесу дозволили з високою точністю визначити геометрію структурного зсуву та зафіксувати його нелінійну природу. По-друге, було математично верифіковано прояв властивості антикрихкості національної економіки через відстеження динаміки зміщення медіанної осі та показників варіативності досліджуваної вибірки. По-третє, науково обґрунтовано модернізацію формули інтенсивності оновлення академіка Г. М. Доброва, що дозволило розрахувати параметри розвитку експоненціального ядра моделі «Фенікс-Інновації» у розрізі чотирьох ключових кластерів «Код», «Залізо», «Софт» та «Захист». Нарешті, на основі зазначених обчислень було побудовано чіткі прогностичні сценарії розвитку макроструктури до 2030 року та визначено математичну точку стабілізації системи на часовому горизонті до 2032 року за умови утримання коефіцієнта інтенсивності зрушень на рівні не нижче встановленої межі $\lambda \geq 0.46$.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Отримані економетричні результати, що базуються на аналізі вищих моментів форми розподілу та параметризації нелінійних зрушень у структурі національного господарства України за 1990-2024 роки, відкривають кілька принципово нових напрямків задля подальших наукових досліджень. Зважаючи на те, що математично доведений перехід системи у стан антикрихкості потребує тривалого утримання коефіцієнта інтенсивності оновлення на пороговому рівні λ більше або дорівнює 0.46, виникає об'єктивна необхідність поглиблення розробленого інструментарію за двома взаємопов'язаними векторами, а саме: теоретико-методологічним та прикладно-інституційним.

Перший перспективний напрямок пов'язаний із розширенням математичного апарату декомпозиції чотирьох базових технологічних кластерів Код, Залізо, Софт та Захист. Наступні дослідження доцільно спрямувати на побудову системи динамічних диференціальних рівнянь, які описують не просто ізольований розвиток кожного кластера, а

взаємні міжгалузеві перетоки капіталу та ефекти синергії між ними. Зокрема, критично важливо математично формалізувати коефіцієнт зворотного зв'язку, який показує, як прискорене зростання сектору кібернетичної безпеки знижує показники дисперсії та стандартного відхилення у промислових сегментах подвійного призначення. Це дозволить трансформувати статичні статистичні оцінки у динамічну модель міжгалузевого балансу нового постіндустріального типу. Подальший розвиток моделі «Фенікс-Інновації» у межах даного вектору потребує розрахунку періоду повного оновлення технологічного плато Т, визначення точок насичення ринку, а також аналізу стійкості від'ємного ексцесу розподілу за різних граничних значень зовнішнього тиску.

Другий перспективний напрямок має чітко виражений прикладний характер та пов'язаний із розробкою інституційної архітектури моделі та механізмів оптимізації державного фінансування проривних технологій. Оскільки правобічна асиметрія розподілу часток ВВП довела неспроможність концепцій рівномірної підтримки ринку, майбутні дослідження мають бути зосереджені на побудові алгоритмів розподілу обмежених ресурсів та створенні інструментів подолання ринкових провалів у промисловому секторі [14]. Практичне розгортання моделі потребує докорінного перегляду наявної державної політики управління науково-технічним потенціалом та переходу від інерційного підтримання застарілих галузей до цілеспрямованого конструювання інноваційних екосистем, спроможних подолати траєкторію сировинної залежності та запустити нелінійні процеси вертикального постіндустріального зліту.

Фундаментальним елементом цього прикладного вектору виступає впровадження фінансової формули державного венчурного партнерства 20/80. У межах такого підходу держава має відійти від ролі пасивного субсидіара та взяти на себе функцію місієорієнтованого якірного інвестора, який безпосередньо покриває рівно 20% первинних капітальних ризиків у наукомістких проєктах подвійного призначення. Таке первинне фінансове забезпечення створює ефект державного управління ризиками в зонах найвищої технологічної невизначеності, що стає потужним стимулом задля залучення решти 80% приватного вітчизняного та іноземного капіталу. Подальший розвиток зазначеного механізму передбачає створення замкненого фінансового циклу через револьверний фонд відновлення, де прибутки від успішного комерційного виходу, злиття, поглинання або публічного розміщення часток ІРО високотехнологічних активів автоматично спрямовуються на реінвестування у наступні покоління розробок.

Організаційне забезпечення процесів дифузії інновацій потребує проєктування жорсткої вертикалі управління науково-технічним потенціалом [2]. Подальші зусилля мають бути спрямовані на обґрунтування структури головного координаційного органу – Національного агентства інноваційних технологій подвійного призначення. Основним завданням зазначеної установи має стати форсований трансфер передових знань та розробок із академічного сектору безпосередньо у виробничі потужності оборонно-промислового комплексу [3]. Це дозволить реалізувати на практиці концепцію Потрійної спіралі, забезпечивши скоординовану трибічну взаємодію між фундаментальною наукою, високотехнологічним бізнесом та державними безпековими інституціями задля синхронного розвитку чотирьох цільових кластерів. Поєднання економетрично верифікованих параметрів форми розподілу зі зазначеними фінансовими та організаційними важелями, а також адаптація кращих світових практик, зокрема досвіду Ізраїльського управління інновацій та вітчизняних інструментів технологічного розвитку [1, 4, 6], що дозволить сформулювати цілісну державну стратегію структурної перебудови на основі довгострокових емпіричних масивів [15] на часовому горизонті до 2030-2032 років.

8. Висновки

Задля остаточного кількісного підтвердження спроможності макроекономічної архітектури до якісного самооновлення, а також задля строгого математичного доведення доцільності й безальтернативності розгортання моделі «Фенікс-Інновації» корінне значення має глибоке дослідження геометричних параметрів форми розподілу вибірки. У той час як стандартні коефіцієнти центральної тенденції та межі квартильних інтервалів фіксують лише загальний поверхневий масштаб, траєкторію та екстремальні порогові рівні зміщення часток у валовому внутрішньому продукті, розраховані коефіцієнти асиметрії та ексцесу відкривають можливість оцінити приховану внутрішню структуру, рівень гостровершинності, системну згуртованість та характер нелінійності макроекономічного середовища.

Застосування економетричного аналізу форми розподілу стає критично необхідним саме в моменти найгостріших фаз безпекових, економічних та геополітичних потрясінь, коли класичні лінійні моделі прогнозування втрачають власну дієвість через стрибкоподібні структурні зсуви. На відміну від традиційного підходу, який розглядає кризу як чинник хаотичного розпаду, дослідження вищих моментів розподілу за економетричною методологією української школи системного аналізу академіка Г.М. Доброва дозволяє математично формалізувати швидкість дифузії інновацій та виявити приховані закономірності перерозподілу системної енергії між застарілими базовими галузями промисловості та новими високотехнологічними кластерами.

Саме траєкторія руху параметрів асиметрії та ексцесу в період соціально-економічного шоку виступає головним цифровим доказом переходу національного господарства зі стану крихкого інерційного функціонування у стан макроекономічної антикрихкості, де зовнішній тиск конвертується у джерело прискореного оновлення технологічного ядра системи.

Завдяки такому підходу в межах нашого дослідження вдалося повністю вирішити поставлені наукові завдання, що базувалися на аналізі очищеного міжкрайового масиву за 1990-2024 роки. По-перше, розраховані коефіцієнти асиметрії та ексцесу дозволили з високою точністю визначити геометрію структурного зсуву та зафіксувати його нелінійну природу. По-друге, було математично верифіковано прояв властивості антикрихкості національної економіки через відстеження динаміки зміщення медіанної осі та показників варіативності досліджуваної вибірки. По-третє, науково-обґрунтовано модернізацію формули інтенсивності оновлення академіка Г.М. Доброва, що дозволило розрахувати параметри розвитку експоненціального ядра моделі «Фенікс-Інновації» у розрізі чотирьох ключових кластерів «Код», «Залізо», «Софт» та «Захист». Нарешті, на основі зазначених обчислень було побудовано чіткі прогностичні сценарії розвитку макроструктури до 2030 року та визначено математичну точку стабілізації системи на часовому горизонті до 2032 року за умови утримання коефіцієнта інтенсивності зрушень на рівні не нижче встановленої межі.

Список літератури:

- 1) Геєць, В. М. (2015). Інституційна обумовленість інноваційного розвитку економіки України. Інститут економіки та прогнозування НАН України.
- 2) Добров, Г. М. (1969). Прогнозирование науки и техники. Наука.
- 3) Добров, Г. М., Клименюк, В. М., Смирнов, Л. П., & Савельев, А. А. (1977). Потенциал науки. Наукова думка.
- 4) Зянько, В. В. (2008). Інноваційне підприємництво: Сутність, механізми розвитку та державне регулювання. Універсум-Вінниця.
- 5) Кваша, Т. К., & Палажченко, О. Ф. (2018). Визначення рівнів технологій у галузях економіки України. УкрІНТЕІ.

- 6) Федулова, Л. І. (2006). Технологічний розвиток економіки України. Інститут економіки та прогнозування НАН України.
- 7) Chenery, H. B., & Syrquin, M. (1975). *Patterns of development, 1950–1970*. Oxford University Press.
- 8) Chenery, H. B., & Taylor, L. (1968). Development patterns: Among countries and over time. *The Review of Economics and Statistics*, 50(4), 391–416. <https://doi.org/10.2307/1926806>
- 9) Kuznets, S. (1966). *Modern economic growth: Rate, structure, and spread*. Yale University Press.
- 10) Kuznets, S. (1971). *Economic growth of nations: Total output and production structure*. Harvard University Press.
- 11) Salter, W. E. G. (1960). *Productivity and technical change*. Cambridge University Press.
- 12) Syrquin, M. (1988). Productivity growth and structure change. In H. B. Chenery & T. N. Srinivasan (Eds.), *Handbook of Development Economics* (Vol. 1, pp. 203–273). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1573-4471\(88\)01009-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4471(88)01009-1)
- 13) Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House.
- 14) United Nations Industrial Development Organization. (2022). *Industrial Development Report 2022: The future of industrialization in a post-pandemic world*. UNIDO.
- 15) World Bank. (2024). *World Development Indicators 2024*. World Bank Group.

The «Phoenix-Innovation» model: econometric estimation of threshold transformations and post-industrial takeoff of the macrostructure, advancing the approaches of H. M. Dobrov»

Nadiia Petrenko

Centre for innovations and technological development, «Dobrov Institute for Scientific and Technological Potential and Science History Studies of the NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-9781-5622

Abstract: The article develops and econometrically verifies a non-linear model of the advanced development of the national economy under conditions of extreme economic shocks. The methodological framework of the study is based on a synthesis of structural dynamics theories, the concept of antifragility in complex systems, and the legacy of the Ukrainian school of systems analysis led by Academician H.M. Dobrov. The empirical basis of the study relies on a cleaned dataset representing the shares of industry and the services sector in the GDP of Ukraine, the USA, China, India, and the European Union countries for the 1990-2024 period.

Within the scope of the research, several critical scientific tasks have been resolved. By calculating the parameters of central tendency and variability, the fact of deep cross-country structural polarization of space is proven, which refutes simplified linear hypotheses regarding market convergence. A rapid increase in the sample variance from 394.98 to 567.9 and an increase in the standard deviation to 23.83% are identified as an objective sign of changes in the internal development rates of systems, accompanied by the destruction of old inter-sectoral ties.

The application of quartile analysis apparatus allowed for pinning down the precise threshold limits of structural breakdown irreversibility. A sequential drop in the median distribution axis from 28.5% to an historical low at the level of 16.55% – 16.85% in the 2022-2024 period, combined with a compression of the first quartile to 8.08%, undeniably demonstrates that the outdated industrial component has completely lost its role as a basic macroeconomic stabilizer. The stability of the upper distribution boundary (64% – 66.5%) proves that the market space expands exclusively within the high-technology sector, making attempts to restore old, raw-material-based manufacturing giants futile.

Econometric estimation of higher-order moments of the distribution shape (an increase in right-skewness to ~ 1 and a stably negative platykurtic excess kurtosis at the level of -0.64 to -0.7)

allowed for the mathematical formalization of the non-linear nature of innovation diffusion. The right-sided skewness proves that the structure is subject to a power law, where development is driven by the isolated generation of technological «super-assets». This fully confirms H.M. Dobrov's propositions regarding the exponential accumulation of knowledge at breakthrough points.

The combination of the distribution shape parameters under the conditions of the 2022-2024 global economic crisis became a direct mathematical proof of the manifestation of antifragility within the national economy. The economy proved capable of transforming the energy of physical asset destruction in heavy industry into a factor for the vertical takeoff and capitalization of the digital sector and industrial technologies.

Based on the obtained results, the study substantiates that there is no alternative to deploying the author's «Phoenix-Innovation» model as a tool to transform Ukraine into a leading world-class technological outpost looking toward the 2030-2032 horizon. Scenario modeling confirmed that the success of the structural transition strictly depends on maintaining the control parameter - the structural shift intensity coefficient - at the critical threshold of $\lambda \geq 0.46$. This ensures the exponential growth of four basic clusters («Code», «Iron», «Soft», «Defense») and guarantees achieving a high-tech share in GDP of no less than 36.2%.

Keywords: structural transformations; econometric modeling; skewness; kurtosis; quartile analysis; antifragility; Dobrov school; «Phoenix-Innovation» model; high-tech clusters; post-industrial development.
