УДК 330.341

О. В. Вертелєва,
к. ф.-м. н., доцент, кафедра економічної теорії та конкурентної політики,
Київський національний торговельно-економічний університет
ORCID ID:0000-0002-8343-0297

DOI: 10.32702/2306-6814.2019.12.48

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ПАРАДИГМАЛЬНИХ ЗРУШЕНЬ

O. Vertelieva,
Ph.D., Associate Professor in the economic theory and competition policy department,
Kiev National Trade and Economics University

MATHEMATICAL MODELING OF ECONOMIC PROCESSES IN CONDITIONS OF PARADIGMAL DISPATCHES

Проведений ретроспективний аналіз процесу математизації економіки дозволив виділити основні наукові напрями вирішення економічних проблем за специфікою використання математичних методів та підходів. Виявлено причини, що обмежують, а часом роблять недоцільним застосування багатьох традиційних методів аналізу, оцінювання і прогнозування. Серед сучасних математичних теорій і підходів, які здатні забезпечити адекватність економіко-математичних моделей в умовах нової економічної парадигми, до найбільш перспективних віднесено використання нечітких методів, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, фрактальної геометрії, інтегро-диференціальних рівнянь із запізненням. Запропоновано розглянути фракталізацію як базовий метод інституціональної економіки та запровадити використання нечіткої логіки в процеси державного управління. В основу дослідження покладено наукові праці зарубіжних і вітчизняних математиків, економістів, представників бізнес-середовища, присвячені використанню математичних методів і моделей в економіці в різні періоди часу та за різних умов.

In the context of the transition to post-economic society, the deepening of the processes of globalization, the mental and spiritual evolution of man, changes in our worldview and economic behavior, there is a need for a new system of economic theory that would be adequate to qualitatively new conditions for the development of civilization. Of particular relevance are the review of theoretical and methodological principles and the development of perspective directions of economic and mathematical modeling from the standpoint of the new economic paradigm and outline the effective mechanisms of their application in solving practical problems and problems.

The purpose of the article is to analyze the process of mathematization of the economy in the 17th — 21st centuries, to identify problems and limitations that arise in applying mathematical methods in economic research, to develop proposals for the use of modern mathematical theories and approaches that will ensure the adequacy of economic and mathematical models in the new economic paradigm.

The research is based on the scientific works of foreign and domestic mathematicians, economists, representatives of the business environment, devoted to the use of mathematical methods and models

in the economy in different periods of time and under different conditions. In the article the set of the newest methods of scientific knowledge, system approach and generalization is applied.

The retrospective analysis of the mathematization process of the economy made it possible to distinguish main scientific directions of solving economic problems by the specifics of usage of mathematical methods and approaches. Reasons for limiting and sometimes rendering inappropriate application of many traditional methods of analysis, estimation and forecasting are revealed. Among the modern mathematical theories and approaches that are capable of ensuring the adequacy of economic and mathematical models in the new economic paradigm, fuzzy methods, neural networks, genetic algorithms, fractal geometry, and integro-differential equations with delay are the most promising. It is proposed to consider fractalization as the basic method of the institutional economy and to introduce the use of fuzzy logic in the processes of public administration.

In order to avoid excessive mathematization and inconsistency with the realities of life of abstract models, it is important to avoid the automatic application of existing algorithms without taking into account the peculiarities of national institutions, mentality, ideological foundations of the individual and society. Application of modern economic and mathematical tools and discussion of key economic decisions among leading experts will increase the likelihood of obtaining the desired results and opportunities for practical implementation of theoretical achievements.

Ключові слова: економіко-математичні моделі, соціально-економічна система, фрактал, нечітка логіка, нейромережеві технології, економічна парадигма.

Key words: economic — mathematical models, socioeconomic systems, fractal, fuzzy logic, neural network technology, economic paradigm.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У сучасних умовах розвитку економіки з подальшим міжнародним поділом праці та поглибленням процесів глобалізації, ментальної та духовної еволюції людини, зміни її світосприйняття і економічної поведінки, виникає необхідність критичного перегляду наявної економічної парадигми з позиції здатності загальноприйнятої економічної теорії пояснювати сучасні процеси, що мають місце у світовій економіці.

Динамічні зміни в теорії й методології економічної науки призводять до необхідності переосмислення, серед усього іншого, можливостей, доцільності та перспектив застосування математичних методів при дослідженнях соціально-економічних систем, розвиток яких може бути контрольованим й інертним об'єктом, підвладним цілеспрямованим діям, а може демонструвати непередбачені зміни та біфуркаційні цикли. Постійні структурні та інституційні трансформації, зміна масштабів функціонування й розвитку багатокомпонентних економічних систем вимагає безперервного підтвердження адекватності розроблених економіко-математичних моделей, схем та кваліметричного інструментарію експериментальними даними й перевірками, а також актуалізує застосування нових, альтернативних підходів до математичного моделювання економічних явищ та процесів із застосуванням нестандартного математичного апарату.

Саме тому особливої актуальності набуває перегляд теоретико-методологічних засад та розробка перспективних напрямів економіко-математичного моделювання з позиції нової економічної парадигми та окреслення дієвих механізмів їхнього застосування при вирішенні практичних проблем та задач.

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Результати дослідження етапів становлення та розвитку економіко-математичних методів і моделей знайшли відображення у працях вітчизняних та зарубіжних науковців, зокрема О.Є. Лугініна, В.М. Фомішиної [1], О.Т. Іващука [4], І.І. Скнара [3], О.В. Ставицького, М.О. Мозолевської [8], М.М. Шигун [19] та ін. Проблеми адекватності економіко-математичних моделей та їх відповідності економічним реаліям розглядалися у багатьох наукових статтях та монографіях, серед яких праці Н.Н. Талеба [12], А.А. Гриценка [15], В.М. Тарасевича [16], Стівена А. Маргліна [18], Ло Е [20], К. Айдукевича [23], В.Д. Базилевича, В.В. Ільїна [24], Ю.М. Уманціва [17] та ін. Приклади успішного використання сучасних математичних підходів до вирішення економічних проблем, зокрема використання диференціальних рівнянь із запізненням, нечіткої логіки, нейронних мереж, фрактальної геометрії наведено в роботах Г.К. Піддубної [6], І.Г. Фадєєвої [7], О.В. Ставицького, М.О. Мозолевської [8], О.В. Половцева, А.П. Рачинсь-

кого [9—10], О.М. Сохацької [11], Е. Петерса [13] та ін. Однак в умовах розбудови нової парадигми економічної теорії, покликаної осмислити сутність сучасних економічних відносин, важливо не лише мати чітке уявлення про існуючі класичні методи математичного моделювання економічних процесів, але і усвідомлювати ті ризики та обмеження, які виникають при їх застосуванні. Тому видається актуальним провести ретроспективний аналіз процесу математизації економіки, охарактеризувати існуючі на сьогоднішній день основні наукові напрямки вирішення економічних проблем за специфікою використання математичних методів та інструментів, окреслити причини обмеженості тих чи інших концептуальних моделей, запропонувати нові методологічні підходи до формалізації економічних процесів на основі використання найновіших досягнень точних наук.

МЕТА СТАТТІ

Метою статті є аналіз процесу математизації економіки в XVIII—XXI ст., виявлення проблем та обмежень, що виникають при застосуванні математичних методів в економічних дослідженнях, розробка пропозицій щодо використання сучасних математичних теорій і підходів, які забезпечать адекватність економіко-математичних моделей в умовах нової економічної парадигми.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Сучасні мегатренди економічного розвитку та зміна економічної парадигми, що нині відбувається, призводять до необхідності переосмислення, серед усього іншого і можливостей доцільності та перспектив застосування математичних методів при дослідженнях економічних явищ та систем, які постійно видозмінюються і трансформуються під впливом глобалізації, науково-технічного прогресу, інформатизації, а також ментальної та духовної еволюції людини, зміни її світосприйняття і економічної поведінки.

Традиційно прийнято вважати, що початок процесу математизації економіки було покладено у 1758 р. публікацією економічних таблиць доктора Ф. Кене та розробками І. Тюнена, який у 1826 р. запропонував модель державного господарства, що дозволило в подальшому сформулювати поняття виробничої функції. Більш складна економічна модель, в якій було вперше використано кількісні методи для аналізу конкуренції на дуопольному ринку, належить О. Курно (1838 р.). Пізніше математична інтерпретація економічних явищ лягла в основу наукових доробок Лозанської школи маржиналізму, започаткованої Л. Вальрасом, та Англійської наукової школи маржиналізму під проводом С. Джевонса (кінець XIX ст.).

XX ст. стало періодом розквіту та бурхливого застосування математичних методів в економіці. До найвідоміших досягнень початку XX ст. у цій сфері можна віднести праці американського математика Ч. Кобба та економіста П. Дугласа, які у 1928 р. вперше на підставі статистичних даних зробили спробу встановити залежність між обсягом залученого капіталу та трудових ресурсів і обсягом виробленої продукції, запропоновану у 1928 р. У Рамсеєм модель довгострокового росту економіки, розроблену у 1932 р. Дж. фон Нейманом багатосекторну модель розширеної економіки, появу у 1936 р. моделі міжгалузевого балансу В.В. Леонтьєва, праці одного з перших фахівців у галузі економіко-математичних досліджень у радянський період А.А. Конюса, присвячені, зокрема, проблемам оцінювання індексу вартості життя (1924 р.).

Якщо дослідження окремих економічних проблем у XIX ст. грунтувались переважно на алгебраїчних співвідношеннях та використанні лінійних, квадратичних, експоненціальних, поліноміальних, тригонометричних і комбінованих функціональних залежностей, то на початку XX ст. стали застосовувати диференціальні рівняння, зокрема для загального аналізу динаміки економічної системи. Розроблені наприкінці XIX ст. статистичні методи і підходи до аналізу економічних явищ, описані в працях Р. Гамільтона, К. Пірсона, Р. Фішера, Ф. Еджворта, створили передумови для виникнення економетрії, що стала окремою науковою галуззю після заснування у 1930 р. з ініціативи І. Фішера, Р. Фріша, Я. Тімбергена, Й. Шумпетера, О. Андерсона та ін. економетричного товариства — "Міжнародного товариства для розвитку економічної теорії та її зв'язку зі статистикою і математикою".

На початку 40-х років XX ст. сформувався ще один самостійний науковий напрям — математичне програмування, яке дало змогу використовувати новий науковий інструментарій для розв'язання фундаментальних економічних проблем (теорії ренти, ціноутворення, ефективності капіталовкладень, тощо). Термін "програмування" тут використовується не в значенні програмування на ЕОМ, хоча розв'язання задач великої розмірності без них неможливе, а у зв'язку з отриманням найкращого (оптимального) плану або програми роботи конкретного економічного об'єкта. Найбільш розроблене відгалуження математичного програмування — лінійне програмування (ЛП), яке набуло широкого розвитку і використання на практиці і полягає в пошуку максимуму (мінімуму) лінійної цільової функції за наявності певних обмежень. До цього напрямку відносяться запропоновані Л. Канторовичем у 1939 р. методи розв'язання задач ЛП за допомогою розв'язувальних множників, симплекс-метод розв'язання задачі ЛП Дж. Данціга, транспортна задача організації перевезень із мінімальними витратами Хічкока, метод потенціалів Л.В. Канторовича та М.К. Гавуріна. У наступні роки внесок у розвиток теорії ЛП зробили вчені багатьох країн світу (Т. Кумпас, Р. Гоморі, Ф, Егервері, Д. Кун та ін) [1, с. 19].

З середини 40-х років розвивається теорія ігор, яку вперше систематизовано виклали Дж. фон Нейман і О. Моргенштерн у 1944 р. у контексті аналізу економічної поведінки та прийняття рішень в умовах невизначеності та конфліктних ситуацій. Цим же періодом датується виникнення кібернетики, засновником якої став американський математик, професор Норберт Вінер, ідеї та методи якої, будучи застосовані до дослідження економічних систем, сформувалися в окрему науку — економічну кібернетику.

Першою роботою, що дала поштовх штучним нейронним мережам, була стаття математика У. Піттса та нейрофізіолога У. Мак-Каллока, опублікована у 1943 р. [2], у якій описана модель, що може виконувати будь-

які логічні операції і будь-які перетворення, що реалізуються дискретними пристроями з кінцевою пам'яттю, зроблено припущення щодо здатності такої мережі до самонавчання, розпізнавання образів, узагальнення одержаної інформації. У подальшому значний внесок у створення нейромережевих технологій внесли Д. Хебб, А. Тьюрінг, Г. Уолтер, Ф. Розенблат, Б. Видроу, М. Хофф та ін. (ретроспективний аналіз еволюції концепцій побудови штучних нейронних мереж див. у роботі І.І. Скнара [3]).

У 50—70 роках, у зв'язку із розвитком електронно-обчислювальної техніки, відбувався процес удосконалення економіко-математичних методів і моделей та розширення сфери їх практичного застосування. На зміну статистичним та жорстко детермінованим моделям прийшли динамічні та стохастичні моделі, які враховують фактор випадковості та невизначеності (Р. Фріш, Я. Тінберген, С. Кузнець, К. Ерроу, Л. Клейн та ін.). Розвиваються проекційно-ітеративні та варіаційно-ітеративні методи, які дають змогу розв'язувати задачі великої розмірності (Н.Н. Боголюбов, Н.М. Крилов, М.Ф. Кравчук, А.Ю. Лучка), методи сіткового планування (метод критичного шляху CPM, метод оцінки і аналізу програм PERT), що дозволяють мінімізувати тривалість проектів, виникає новий інструментарій економетричних досліджень у вигляді моделей одночасних рівнянь (Т. Кумпанс, Т. Хаавельмо, Г. Гейл та ін.), удосконалюються моделі економічного розподілу та оцінки ресурсів для планового періоду, зокрема оцінки капіталовкладень з позицій теорії двоїстості, розробляються оптимальні моделі перспективного планування (Л.В. Канторович, В.С. Немчинов, В.Л. Макаров, А.Б. Горстко).

Загалом на кінець XX ст. використання різноманітних математичних методів та підходів до розв'язання економічних задач на мікро— та макрорівнях сформувало наступні наукові напрямки: економетрія (кореляційний аналіз, спектральний аналіз, дисперсійний аналіз, регресійний аналіз, кластерний аналіз, факторний аналіз, панельний аналіз); дослідження операцій у складі аналітичних методів (теорія ймовірностей, теорія марковських процесів, теорія масового обслуговування, динаміка середніх), статистичних методів (послідовний аналіз, метод статистичних випробувань), математичного програмування (лінійне, нелінійне, динамічне, методи мережевого планування), теоретико-ігрових методів (теорія ігор, теорія статистичних рішень); економічна кібернетика, в основі якої є теорія економічних систем і моделей (системний аналіз і моделювання економіки, економічне регулювання), теорія економічної інформації (теорія інформаційних потоків, економічна семіотика), теорія керуючих систем (планування, проектування і впровадження автоматизованих систем керування); математична економіка (статичні та динамічні моделі міжгалузевого балансу, матричні моделі підприємств, лінійно-програмні моделі раціоналізації перевезень, теорії економічного росту, теорії виробничих функцій, аналіз попиту та пропозиції, регіональний та просторовий аналіз, глобальне моделювання); експертні методи економіки (математичні методи аналізу і планування економічних експериментів; імітаційне моделювання; ділові ігри; методи експертних оцінок (метод комісії, дельфійський метод, метод прогнозованого графа)); методи оцінки ризиків; а також методи прогнозування [4, с. 20].

З початку XXI ст. по сьогоднішній день відбувається поглиблення і розширення процесів математизації і комп'ютеризації економічної науки, пов'язане із наростанням складності та абстрактності фундаментальних наукових знань, прискоренням глобальної економічної інтеграції, підвищенням ролі транснаціональних соціально-економічних, інформаційних і технологічних мереж, необхідності адаптації національних соціально-економічних систем до вимог світових економічних трендів.

Актуальною залишається проблема керованості складних соціально-економічних систем та пошук важелів впливу, що переводять їх у бажаний стан. Процес розвитку таких систем з точки зору математики розглядають як динамічну модель, а оскільки при побудові динамічних систем досить часто виникає ефект запізнення — затримка в реакції системи на певний проміжок часу, то при вирішенні проблеми керованості застосовують, зокрема, лінійні та нелінійні диференціальні рівняння із запізненням, теорію яких започаткували В. Вольтерра, А.Д. Мишкіс, Н.Н. Боголюбов, Й. Діблік, В.І. Фодчук [5]. Розробкою і дослідженням математичного апарату для встановлення керованості динамічних систем присвячено статті Д.Я. Хусаїнова, М. Ружічкової, Я. Баштинця, Г.К. Піддубної [6].

Оскільки в економіці причинами ефекту запізнення найчастіше є інертність системи щодо вхідних чинників, то для побудови адекватної динамічної моделі процесу розвитку відповідної соціально-економічної системи необхідно чітко виконати всі етапи попереднього дослідження, а саме: виділити ті складові моделі, які демонструють запізнення в часі та ті, що реагують миттєво, надати початкові умови для задачі Коші, сформулювати попередні оцінки для керуючої функції (наприклад, інвестиційної складової). Як зазначають окремі дослідники, при виконанні вказаних підготовчих етапів, можливо дати оцінку керованості динамічної системи, тобто відповісти на питання, чи можна за наявної системи і заданого вектора керування привести економічну систему до бажаного стану [6, с. 186].

Інший спосіб аналізу поведінки систем полягає у використанні для їх опису замість диференційних рівнянь знань експертів, що формалізуються у вигляді нечітких множин. Основи нечіткої логіки були закладені у працях відомого американського математика Лотфі Заде, і на сьогоднішній день нечітка логіка застосовується, зокрема, при аналізі нових ринків, біржовій грі, побудові політичних рейтингів та прогнозів, виборі оптимальної цінової стратегії, оцінці рівня зрілості процесів захисту інформації та ін. Також нечіткі множини були привнесені в область нейронних мереж, у результаті чого з'явилися моделі нечіткого висновку Мамдані, нечіткі нейронні мережі Такаги-Сугено та Ларсена.

На відміну від традиційних методів аналізу, оцінювання і прогнозування, у випадку застосування нечітких методів існує можливість активного використання різноманітних думок людей, які моделюють ті чи інші економічні процеси та приймають рішення, а також нечіткої інформації у вигляді лінгвістичного опису. Теорія не-

чітких систем, як методологія, дає змогу підвищити точність розрахунків і ефективність бізнесу. За її допомогою можна імітувати інтелектуальну діяльність людини шляхом моделювання різнопланових і складних об'єктів, використовувати неповну інформацію щодо об'єкта і створювати правила на природній мові на основі знань і досвіду експертів [7, с. 15]. Так, успішним прикладом застосування нечіткої логіки стало комплексне моделювання системи охорони здоров'я і соціального забезпечення Великої Британії (National Health Service), що вперше дозволило точно оцінити й оптимізувати витрати на соціальні нестатки. На вітчизняному ринку комерційних систем на основі нечіткої логіки до найбільш популярних пакетів відносяться CubiCalc 2.0 RTC, CubiQuick, RuleMaker, FuziCalc, що широко використовуються в області політичного й економічного аналізу.

До сучасних методів моделювання економічних процесів відносяться і нейромережеві технології, які здатні вирішувати завдання, спираючись на неповну, зашумлену, викривлену інформацію. Важливою перевагою використання нейронних мереж для обробки масивів даних є значне підвищення швидкодії процесу в порівнянні з традиційними математичними методами, можливість навчання нейронної мережі за еталонними зразками, а також зміна топології мережі (добір вхідних параметрів, які гарантують отримання моделі найбільш високої точності). Нейронні мережі доцільно використовувати для вирішення погано формалізованих завдань, які вимагають трудомістких обчислень, зокрема прогнозування (прогнозування поведінки клієнтів, рівня попиту на новий товар або послугу, аналізу надійності фірми і визначення ймовірності її банкрутства, передбачення зміни вартості акцій в певний період часу, прогнозування доцільності впровадження інноваційних проектів) та класифікації об'єктів економічного аналізу (класифікації клієнтів за ступенем ризику надання їм позики та ін.). Прикладом успішного застосування цих підходів є фірма з торгівлі нерухомістю у США Richard Borst, оборот якої з початку використання нейропакета збільшився на 6%, та фінансова корпорація Citicorp, що застосовує великий спеціалізований нейрокомп'ютер для аналізу і короткострокового передбачення коливань курсів валют, сукупна точність прогнозів якого перевершила результати найдосвідченіших брокерів корпорації [8]. До спеціалізованих програм, призначених для роботи з нейромережами, відносяться BrainMaker (один з перших пакетів і лідерів ринку), NeuroShell Day Trader, ST Neural Networks та нейронномережевий пакет фірми StatSoft в пакеті Statistica, спеціальний інструментарій для нейронних мереж у пакеті Matlab.

Актуальним для України є пошук можливостей застосування сучасних методів та підходів до моделювання динаміки соціально-економічних систем в галузі державного управління, що перебуває на стадії активного реформування та трансформації, та визначення шляхів забезпечення належної якості управління. Система державного управління є переплетінням множини структур та процесів різної природи, кожен з яких функціонує у тісній взаємодії та інтеграції з іншими процесами та системами. Прийняття задовільних рішень з прогнозованою ефективністю неможливе без аналітичної підтримки та передбачає використання у той чи інший спосіб формалізованої моделі керованого об'єкта. Модель процесу прийняття рішення в галузі державного управління відображає особливості процедур підготовки та вибору рішень, участь у них адміністрацій та органів самоврядування відповідних рівнів, зв'язок ресурсів та зовнішніх умов із станом керованої соціально-економічної системи та результатами впровадження рішень. При встановленні основних характеристик та вимог, яким має задовольняти ця модель, необхідно брати до уваги, що ефективність формальних методів прийняття рішень значною мірою визначається їх інтеграцією в комп'ютерні системи. Це зумовлено наявністю великої кількості елементів та зв'язків у системах, що моделюються; необхідністю проведення багатьох обчислень та можливістю застосування розвинутих інтерфейсів користувачів, що дає змогу успішно використовувати такі методи управлінцям без спеціальної підготовки щодо формальних математичних методів [9, с. 105—106].

На сьогодні дуже незначна частина завдань, що розв'язуються в процесі державного управління, мають аналітичну підтримку у вигляді моделей керованих процесів та систем. Як зазначають О.В. Половцев та А.П. Рачинський, відсутність адекватних і зрозумілих методологічних підходів до процедур системного аналізу ситуацій, побудови моделей, які є основою для прийняття рішень та оцінювання якості прийнятих рішень, не дають змоги сформувати оптимальне бачення регіонального стратегічного розвитку [10, с. 53]. Найчастіше для розв'язання задач державного управління застосовуються системи автоматичного керування із змінними керуючими впливами, експертні системи та системи підтримки прийняття рішень, проте відкритим залишається питання їх удосконалення, розробки принципово нових моделей з використанням нечіткої логіки, а також математичної формалізації процедур оцінювання якості державного управління із найбільш раціональним використанням кваліметричних методів та підходів.

Загалом на сьогоднішній день такі математичні інструменти, як нечіткі методи, нейронні мережі, генетичні алгоритми і т.п. все частіше застосовуються при аналізі поведінки соціально-економічних систем, оскільки, як показує практика, динаміка економічних процесів і явищ має нелінійний, часто непередбачуваний (хаотичний) характер. Однак при аналізі ринкової динаміки жоден з цих методів не може врахувати таку особливість ринку, як здатність до самоорганізації. Врахувати цей аспект, до певної міри, дозволяє теорія фракталів, описана в працях Б. Мандельброта, Е. Петерса, В. Арнольда, П. Берже, І. Помо, Х. Стенлі, В. Чоу та ін.

Сам термін "фрактал", що в широкому розумінні означає фігуру, малі частини якої в довільному збільшенні є подібними до неї самої, був запропонований французько-американським математиком Бенуа Мандельбротом у 1975 р. У своїх працях Б. Мандельброт, аналізуючи поведінку фінансових ринків у кризові періоди, доказово стверджує хибність таких базових фінансових теорій, як теорії інформаційної ефективності ринку, теорії випадкових блукань цін та курсів, теорії портфельного інвестування та управління ризиками, і за-

значає, що інвестори не є раціональними, що ринки неможливо описати через випадкові процеси, для цього потрібно використовувати інструментарій, який вживають для пояснення явищ у живій природі, а не класичної фізики, а саме фрактальні моделі [11, с. 96]. Пізніше ідеї Б. Мандельброта використав для пояснення своєї теорії "Чорного лебедя" і критики класичного підходу до оцінки ризиків і ймовірності подій відомий математик, економіст, публіцист Н.Н. Талеб. Він досить критично відноситься до широко розповсюдженого використання нормальної моделі розподілу як основи для розрахунку ризику та описує основні типи помилок, що призводять до хибних прогнозів: наративні (запізнілий пошук причини події під час її опису), ігрові (використання ігрових аналогій при моделюванні) і ретроспективні (віра в успішне передбачення майбутніх подій на підставі аналізу тих, що вже сталися) [12].

Загалом така властивість фрактала, як здатність до самоорганізації, дозволяє розглядати його в якості математичного об'єкта, що найбільш точно відповідає системній природі соціальних та економічних процесів, які протікають в умовах нелінійної динаміки багатьох зовнішніх та внутрішніх факторів впливу. Одним із прикладів найбільш ефективного застосування теорії фракталів є фрактальна модель фондового ринку. Перші спроби використати фрактальну геометрію в аналізі фінансових ринків належать Едгару Петерсу, який розпочав дискусію про зміну парадигми при вивченні фінансової теорії. В роботі "Хаос і порядок на ринку капіталу" він вказав на те, що доцільніше використовувати фрактальну розмірність, ніж стандартне відхилення при аналізі фінансових ринків, і висунув гіпотезу щодо можливості відображення фінансового ринку у вигляді фракталів простору і часу. При цьому фрактали часу розглядаються як інвестиційні горизонти, а фракталами простору є графіки зміни ціни протягом певного періоду [13]. Розгляд фінансових ринків як просторових та часових фракталів розширив інструментарій технічного аналізу ринків, у тому числі і ринку Forex. На сьогоднішній день велика кількість практикуючих трейдерів активно використовує синергетичний підхід, теорію хаосу та фрактальну геометрію, зокрема при формуванні прогнозів майбутніх змін цін і курсів. Для оцінки ризиків, властивих певному активу, в сучасній практиці фрактального аналізу фінансових ринків найчастіше використовують алгоритм R/S-аналізу, розроблений англійським гідрологом Г. Херстом, що є дієвим інструментом дослідження фінансових показників у період інтенсивних коливань ринку.

Аналізуючи концептуальні новації в економічній науці ми погоджуємося з думкою А.А. Мазаракі про те, що серед гетеродоксальних наукових напрямків, які претендують на статус нової парадигми, основним слід розглядати інституціоналізм, і саме інституціональна теорія має найвищий потенціал щодо оновлення парадигми економічної науки [14, с. 13]. Яким же чином змоделювати поведінку тих чи інших інститутів в адекватний уніфікований спосіб? Актуальною та перспективною видається пропозиція відомого вітчизняного економіста А.А. Гриценка вважати базовим методом інституціональної економіки фракталізацію, оскільки до сьогоднішнього дня в літературі не було визначено якогось специфічного методу, який би виражав власну особливість інституціоналізму. На його думку, категорія "фракталізація" є, зокрема, адекватним вираженням сутності процесу виокремлення правил і норм діяльності людини як предмета інституціоналізму. Правило як базовий інститут є елементом цілого, який за визначенням повторюється як у кожній окремій людській дії, так і в дії усіх частин суспільства окремо (соціальних груп, економічних суб'єктів) і суспільства в цілому. Наприклад, раціональність, як правило, економічної поведінки є характерною як для окремого індивіда, так і для соціальних груп, фірми, держави і суспільства в цілому. Це означає, що інститут за визначенням є фракталом, і для його адекватного вивчення необхідно використання саме методу фракталізації [15, с. 63]. На нашу думку, такий підхід дозволить дослідити специфіку інституційних змін та віднайти механізми підвищення ефективності вітчизняних інститутів.

Попри те, що математика глибоко проникла в усі сфери економіки і стала невід'ємним та дієвим інструментом пізнання економічних явищ та процесів, десятиліттями точиться дискусія навколо так званої проблеми надмірної математизації економіки. Зокрема В.М. Тарасевич зазначає, що аналізуючи темпи і характер експансії математики в чисту неокласичну теорію, приходиш до думки, що гострота інтересу до отримання істинного знання за допомогою математичних методів обернено пропорційна гостроті вражень від складних економіко-математичних конструкцій, що мають мало спільного з реальністю [16, с. 91]. На думку Ю.М. Уманціва, через те, що економічна теорія з другої половини XX ст. почала наближатися за методологічно-доказовими інструментами до точних (природничих) наук, відбулася певна абсолютизація математичних методів дослідження з нехтуванням значною мірою іншими методологічними методами, при цьому економічна теорія як "чиста" наука перетворилася на одну зі складових математики [17, с. 56].

Відомий американського економіст, професор Гарвардського університету Стівен А. Марглін писав, що нас, в першу чергу, повинна цікавити теорія, а не модель, адже моделі — це лише засоби розуміння теорій, вони не повинні закінчуватися на собі. Проте ми настільки загорнулися у свої моделі, навіть зачарувалися ними, що їхня мета була втрачена з поля зору. Найвищою мірою ми переконуємо себе, що немає значення, чи агенти насправді грають за правилами наших моделей; або гірше, ми наполягаємо на однорідних підставах, що поведінка агентів відповідає формалізму моделі. Емпіричні знання агентів та емпіричні знання теоретиків однаково зникають з нашого поля зору [18, с. 212].

На проблему того, що успіхи математизації викликають бажання заповнити свою працю цифрами і формулами без потреби, щоб надати їй солідність та науковість, у свій час звертали увагу Г. Гегель, А. Пуанкаре, В. Гейзенберг, А.Н. Крилов, В.І. Вернадський. Кожен з цих вчених говорив про те, що математика може бути формою відображення досліджуваного процесу, але не може відображати його змісту, а математичні методи слід застосовувати розумно, щоб не опинитись у штучно створеній знаковій системі, яка не дозволяє осягнути живий, реальний матеріал дійсності [19, с. 428].

Обгрунтуванню необхідності підтвердження своїх ідей фактами, врахування сутності економічних явищ при їх математичній обробці присвячені праці Р. Нельсона "Економіка як релігія" (2001), Т. Маєра "Істина проти точності в економічній науці" (1992), Д. Макклоскі "Риторика економіки" (1998), Пола Флейдерера "Хамелеони: зловживання теоретичними моделями у фінансах та економіці" (2014), Поля Ромена "Математизованість у теорії економічного росту" (2015), Ло Е. "Адаптивні ринки. Фінансова еволюція на швидкості думки" (2018) [20]. У статті лауреата Нобелівської премії Пола Кругмана говориться не лише про невідповідність реаліям життя абстрактних моделей, що містять складний математичний апарат, а і про шкідливість деяких із них [21]. Натомість інші відомі економісти, зокрема Джон Х. Кохран, вважають, що проблема не у надмірі математики, а, радше, в тому, що "у нас її недостатньо".

Дійсно, труднощі кількісної оцінки великого числа економічних явищ, непередбачуваність проходження економічних процесів, важкість виявлення причин і впливів на економічну діяльність ускладнює застосування математичних методів в економіці. Це не враховується тими із сучасних дослідників, які намагаються формально насаджувати математизацію в економіці, пропонують розрахунки на основі цілого ряду припущень та без особливих обгрунтувань вибору тієї чи іншої моделі для оцінки явища, через що поданий матеріал сприймається без особливої довіри до його корисності у реальних економічних ситуаціях. Проте ця проблема лежить на поверхні і навряд чи може бути подолана конструктивним шляхом, адже рівень економічної обізнаності, математичної грамотності та практичного досвіду завжди залишатиметься різним у різних дослідників, так само різнитиметься їх мотивація, рівень фінансування та особливості установ, що є роботодавцями та замовниками тих чи інших досліджень.

Значно глибшою є проблема того, чи можливо в принципі, використовуючи моделювання економічних процесів за допомогою тих чи інших математичних методів та підходів, пояснити закономірності поведінки економічних агентів і передбачити викликані ними наслідки. Як зазначалося раніше, дати позитивну відповідь на це запитання дозволяють такі сучасні математичні теорії і підходи, як теорія ігор, фрактальна геометрія, нечітка логіка, нейронні мережі, рівняння із запізненням та ін. Проте є і інша сторона медалі.

Повертаючись до методології економіко-математичного аналізу ми бачимо, що в основі будь-якої теорії (та, відповідно, моделі) лежать ті чи інші припущення, які вважаються "самоочевидними", раз і назавжди прийнятими та такими, що апріорі відповідають економічній дійсності. Наявність альтернативних позитивних теорій побудови світу і різних світоглядних цінностей, а отже, і різних припущень, які передують теорії, значно глибше, на наш погляд, розкривають причини протиріч в економічній науці та дискусій стосовно адекватності математичних моделей, ніж просто неможливість відображення всіх сторін економічного явища в процесі моделювання. Ці протиріччя навряд чи можна обійти шляхом створення ефективної моделі методологічного плюралізму в економічній теорії, відмовою від бінарного аналізу та синтезу на користь тріалектики, чи переходом від спрощеної моделі "економічної людини" до нової, що враховувала б складну біосоціальну природу господарюючих суб'єктів, які в реальному житті часто є носіями ментальних моделей ірраціональної економічної поведінки [22, с. 45].

З точки зору прихильників конвенціоналізму А. Пуанкаре, П. Дюгема аксіоми, що лежать в основі теорій, в принципі не можуть розглядатися як істинні або помилкові, адже насправді вони є конвенціями — домовленостями, або погодженням вчених, вільний вибір яких обмежений лише міркуваннями простоти, гармонії, відсутності протиріч. Вибір між науковими теоріями визначається доцільністю їх застосування для вирішення тієї чи іншої проблеми. Поділяючи знання на емпіричні і теоретичні, конвенціоналісти наголошують на тому, що засоби їх здобування є неспівмірними, адже стосовно емпіричних даних головною ознакою науковості є досягнення об'єктивності, а стосовно теоретичних положень — науковість визначається тільки згодою розуму з самим собою (логічна несуперечливість) та фактами; припускається суб'єктивізм в організації знання у систему, а отже, і в побудову тієї чи іншої економіко-математичної моделі. Автор так званого радикального конвенціоналізму Айдукевич стверджував, що не тільки деякі, але всі судження, які ми приймаємо і які створюють увесь наш образ світу, ще не однозначно визначені даними досвіду, але залежать від вибору понятійного апарату, за допомогою якого ми відображаємо дані досвіду [23].

Застосовуючи метафізичну інтерпретацію економічних явищ та процесів В. Базилевич, В. Ільїн зазначають, що коли виникає потреба відкоригувати протиріччя в економічній теорії, що починає втрачати свою відповідність реальній дійсності, не потрібно, щоб принципи даної теорії були істинними чи випливали з істинних припущень. На їх думку, оскільки кожна економічна концепція не може бути дедуктивно виведена із самоочевидних припущень, її обгрунтування — завдання взаємної підтримки багатьох підходів, внаслідок чого різні інтерпретації поєднуються в одну узгоджену точку зору. Головне, щоб одержана концепція чи модель була найбільш ефективною при вирішенні даної проблеми [24, с.178].

Одним із способів досягнення консенсусу та узгодження інтерпретацій може стати залучення до процесу розробки економіко-математичних моделей спеціалістів різного фаху (математиків, економістів, соціологів, політологів, психологів та ін.), доповнення формалізованих методів аналізу та прогнозування емпіричними методами, що враховують практичний досвід, інтуїтивні підходи, можливий конфлікт інтересів сторін в рамках економічних відносин, оцінювання впливу традицій, звичок, менталітету, культури, що склалась у країні чи регіоні на процес і наслідки прийняття економічних рішень.

Загалом же можемо впевнено констатувати, що у XXI ст. започатковано принципово нову парадигму вивчення економічних процесів, і зокрема ринків, за якою порядок зароджується з хаосу, коливання лежать в основі організації, а випадковість відіграє конструктивну роль в еволюційних процесах. І поки теоретики спе-

речаються щодо доцільності математизації економіки, практики успішно використовують найновіші досягнення точних наук: теорію хаосу, нейронні мережі, нечіткі множини, фрактальну геометрію, теорію ігор при аналізі поведінки соціально-економічних систем та розробці ефективних стратегій їхнього розвитку.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз процесу математизації економіки в XVIII—XXI ст. засвідчив, що на сьогоднішній день сформувалися основні наукові напрямки, зокрема економетрія, дослідження операцій, економічна кібернетика, математична економіка, експертні методи економіки, що містять специфічний математичний інструментарій, який використовується для вирішення економічних проблем. Проте в умовах постійних структурних та інституційних трансформацій, зміни масштабів функціонування й розвитку багатокомпонентних економічних систем застосування багатьох традиційних методів аналізу, оцінювання і прогнозування стає суперечливим, а часом і недоцільним через невідповідність класичних економіко-математичних моделей та методів реаліям сьогодення.

Серед сучасних математичних теорій і підходів, які здатні забезпечити адекватність економіко-математичних моделей в умовах нової економічної парадигми, нам видається найбільш перспективним використання нечітких методів, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, фрактальної геометрії, інтегро-диференціальних рівнянь із запізненням.

Також пропонується розглянути фракталізацію як базовий метод інституціональної економіки та запровадити використання нечіткої логіки в процеси державного управління.

З метою уникнення надмірної математизації та невідповідності реаліям життя абстрактних моделей, що містять складний математичний апарат, важливо уникати автоматичного перенесення існуючих алгоритмів і намагань впровадження різноманітних економічних рішень і моделей без врахування "самоочевидних", припущень, що лежать в їхній основі, особливостей національних інститутів, менталітету, світоглядних засад окремого індивіда та суспільства в цілому.

Кожна економіко-математична модель, що пропонується до реалізації, має бути результатом копіткого дослідження економічного явища, його відчуття та розуміння, інтуїтивних здогадок, спостережливості та винахідливості дослідника. Крім того, необхідно широке обговорення ключових економічних рішень у середовищі провідних експертів та фахівців, досягнення консенсусу із врахуванням емпіричних знань та досвіду, чітка прив'язка до конкретного часового проміжку, регіональних та інших особливостей. Це підвищить ймовірність одержання бажаних результатів та можливостей практичного впровадження теоретичних здобутків.

Література:

1. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. / О.Є. Лугінін, В.М. Фомішина. — К.: Знання, 2011.— 342 с.

2. McCulloch W. S., Pitts W. H. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 1943. — №5. — p.115—133.

3. Скнар І.І. Концепція побудови біологічно правдоподібної штучної нейронної мережі / І.І. Скнар // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2014. — №3. — С. 188—218.

4. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. / За ред.О.Т. Іващука. — Тернопіль: ТНЕУ "Економічна думка", 2008.— 704 с.

5. Фодчук В.И. Исследование сингулярно возмущенных дифференциально-функциональных уравнений методом интегральных многообразий / В.И. Фодчук, И.М. Черевко // Асимптотическое интегрирование нелинейных уравнений. — К.: Ин-т математики АН Украины, 1992. — С.124—127.

6. Піддубна Г.К. Застосування керованості лінійних диференціальних рівнянь із запізненням в економіці / Г.К. Піддубна // Причорноморські економічні студії. — 2017. — Вип. 13-1. — С.184—187.

7. Фадєєва І.Г. Основні напрями удосконалення бізнес-процесів та сучасна методологія їх моделювання та регламентації на засадах нечіткої логіки / І.Г. Фадєєва // Економіка і держава, 2014. — № 11. — С. 11—18.

8. Ставицький О.В., Мозолевська М.О. Використання нейронних мереж для прогнозування у фінансовій сфері / О.В.Ставицький, М.О. Мозолевська // Актуальні проблеми економіки та управління, 2017. — № 11.

9. Половцев О.В. Методи моделювання динаміки соціально-економічних систем / О.В. Половцев // Вісник НАДУ. Серія: Державне управління. — 2010. — №1. — С. 105—111.

10. Половцев О.В., Рачинський А.П. Сучасні підходи до формування методологічного змісту механізмів трансформації управлінських рішень в системі державного управління / О. В. Половцев, А. П. Рачинський // Вісник НАДУ. Серія: Державне управління. — 2018. — №1. — С. 52—60.

11. Сохацька О.М. Новий порядок на світовому фінансовому ринку: післякризові проекти і реалії / О.М. Сохацька // Журнал європейської економіки. — 2010. — Т. 9. — № 1. — С. 93—107.

12. Taleb N.N. The black swan: the impact of the highly improbable. — New York: Random House, 2007.

13. Петерс Э. Хаос и порядок на рынке капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка: Пер. с англ. — М: Мир, 2000. — 333 с.

14. Мазаракі А.А. Потенціал парадигмальних та концептуальних змін в економічній науці XXI ст. / А.А. Мазаракі // Теоретико-методологічні трансформації економічної науки у XXI ст.: перспективи нової парадигми: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 28—29 трав. 2019 р.). — Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. — 344 с.

15. Гриценко А.А. Економічна освіта: шлях від теорії до практики / А.А. Гриценко // Економіка України. — 2018. — № 10 (683). — С. 53—70.

16. Тарасевич В.М. Проблематика істини у світовій економічній науці / В.М. Тарасевич // Економіка України. — 2018. — № 10 (683). — С. 88—99.

17. Уманців Ю.М. Економічна теорія у новітньому методологічному дискурсі / Ю. Уманців // Вісник КНТЕУ. — 2019. — №2 (124). — С. 51—63.

18. Стівен А. Марглін. Економіка: гнітюча наука. Як економічний спосіб мислення розхитує засади спільноти. — К.: Темпора, 2012. — 520 с.

19. Шигун М.М. Застосування математичних методів в економіці: специфіка, проблеми, перспективи / М. Шигун // Вісник ЖДТУ. Серія: Економічні науки. — 2007. — №1 (39). — С. 425—433.

20. Ло Е. Адаптивні ринки. Фінансова еволюція на швидкості думки / Пер. з англ. І. Терещенка, В. Зенгви, Н. Мочалової. — Київ: Форс Україна, 2018. — 560 с.

21. Paul Krugman. How did economists get it so wrong? / The New York Times / URL: http://www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economict.html?_r=1. 02.09.2009.

22. Вертелєва О.В. Мікроекономічний аналіз: припущення та застереження / О.В. Вертелєва // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова. — Серія №18 Економіка і право. — 2015. — Вип. 29. — С. 43—51.

23. Ajdukiewicz K. Das Weltbild und die Begriffsapparatur // "Erkenntnis". Bd. IV. Leipzig, 1934. — s. 259—287. https://books.google.com.ua/

24. Базилевич В.Д., Ильин В.В. Метафизика экономики / В.Д. Базилевич, В.В. Ильин. — 2-е изд., испр. и доп. — К.: Знання; М.: Рыбари, 2010. — 925 с.

References:

1. Luhinin, O.Ye. and V.M. (2011), Fomishyna Ekonomiko-matematychne modeliuvannia [Economic and mathematical modeling], Znannia, Kyiv, Ukraine.

2. McCulloch, W.S. and Pitts, W.H. (1943), "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics", vol. 5, pp. 115—133.

3. Sknar, I.I. (2014), "The concept of building a biologically plausible artificial neural network", Nejronechitki tekhnolohii modeliuvannia v ekonomitsi, vol. 3, pp. 188-218.

4. Ivaschuk, O.T. (2008), Ekonomiko-matematychne modeliuvannia [Economic and mathematical modeling], TNEU "Ekonomichna dumka", Ternopil', Ukraine.

5. Fodchuk, V.Y. and Cherevko, Y.M. (1992), "Investigation of singularly perturbed differential-functional equations by the method of integral manifolds", Asymptotycheskoe yntehryrovanye nelynejnykh uravnenyj [Asymptotic integration of nonlinear equations], Yn-t matematyky AN Ukrayny, Kyiv, Ukraine, pp. 124—127.

6. Piddubna, H.K. (2017), "Application of controllability of linear differential equations with delay in economy", Prychornomors'ki ekonomichni studii, vol. 13-1, pp. 184—187.

7. Fadieieva, I.H. (2014), "Main directions of improvement of business processes and modern methodology of their modeling and regulation on the basis of fuzzy logic", Ekonomika i derzhava, vol. 11, pp. 11—18.

8. Stavyts'kyj, O.V. and Mozolevs'ka, M.O. (2017), "Use of neural networks for forecasting in the financial sphere", Aktual'ni problemy ekonomiky ta upravlinnia, vol. 11.

9. Polovtsev, O.V. (2010), "Methods of modeling the dynamics of socio-economic systems", Visnyk NADU. Seriia: Derzhavne upravlinnia, vol. 1, pp. 105—111.

10. Polovtsev, O.V. and Rachyns'kyj, (2018), "Modern approaches to the formation of methodological content of the mechanisms of transformation of managerial decisions in the system of public administration", Visnyk NADU. Seriia: Derzhavne upravlinnia, vol. 1, pp. 52—60.

11. Sokhats'ka, O.M. (2010), "A new order in the world financial market: post-crisis projects and realities", Zhurnal ievropejs'koi ekonomiky, vol. 9, no. 1, pp. 93—107.

12. Taleb, N.N. (2007), "", The black swan: the impact of the highly improbable, Random House, New York, USA.

13. Peters, E. (2000), Khaos y poriadok na rynke kapytala. Novyj analytycheskyj vzghliad na tsykly, tseny y yzmenchyvost' rynka [Chaos and order in the capital market. New analytical look at cycles, prices and market volatility], Myr, Moscow, Russia.

14. Mazaraki, A.A. (2019), "Potential of paradigmatic and conceptual changes in economic science of XXI century", Teoretyko-metodolohichni transformatsii ekonomichnoi nauky u XXI st.: perspektyvy novoi paradyhmy: materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. [Theoretical and Methodological Transformations of Economic Science in the XXI Century: Perspectives of a New Paradigm: Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference], Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, Kyiv, Ukraine, 28—29 May.

15. Hrytsenko, A.A. (2018), "Economic education: the path from theory to practice", Ekonomika Ukrainy, vol. 10 (683), pp. 53—70.

16. Tarasevych, V.M. (2018), "The problem of truth in world economic science", Ekonomika Ukrainy, vol. 10 (683), pp. 88—99.

17. Umantsiv, Yu.M. (2019), "Economic theory in the latest methodological discourse", Visnyk KNTEU, vol. 2 (124), pp. 51—63.

18. Marhlin, S.A. (2012), Ekonomika: hnitiucha nauka. Yak ekonomichnyj sposib myslennia rozkhytuie zasady spil'noty [Economics: oppressive science. How the economic way of thinking shakes the foundations of the community], Tempora, Kyiv, Ukraine.

19. Shyhun, M.M. (2007), "Application of mathematical methods in the economy: specifics, problems, perspectives", Visnyk ZhDTU. Seriia: Ekonomichni nauky, vol. 1 (39), pp. 425—433.

20. Lo, E. (2018), Adaptyvni rynky. Finansova evoliutsiia na shvydkosti dumky [Adaptive markets. Financial evolution on the speed of thought], Fors Ukraina, Kyiv, Ukraine.

21. Krugman, P. (2009), "How did economists get it so wrong?", The New York Times, available at: http://www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economict.html?_r=1 (Accessed 30 May 2019).

22. Vertelieva, O.V. (2015), "Microeconomic analysis: assumptions and reservations", Naukovyj chasopys NPU im. M.P. Drahomanova. Seriia №18 Ekonomika i pravo, vol.29, pp. 43—51.

23. Ajdukiewicz, K. (1934), "Das Weltbild und die Begriffsapparatur", Erkenntnis, Leipzig, vol. IV, pp. 259—287, available at: https://books.google.com.ua/ (Accessed 30 May 2019).

24. Bazylevych, V.D. and Yl'yn, V.V. (2010), Metafyzyka ekonomyky [Metaphysics of Economics], 2-d ed., Znannia, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2019 р.