
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ, СТІЙКОСТІ Й РІВНОВАГИ

Модели и методы экономической динамики, устойчивости и равновесия
Models and methods of economic dynamics, stability and equilibrium

УДК 519.86

Г. І. Великоіваненко
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Протягом останнього десятиріччя суттєво збільшилась кількість фінансових криз та їх масштаби на провідних фондових ринках. Ринкові кризи 2000–2003, 2008–2009 років, які принесли інвесторам по всьому світу збитки більш ніж на сто трильйонів доларів, красномовно свідчать про те, що використовувані досі теорії фінансового аналізу емітентів цінних паперів та прогнозування розвитку фінансових показників практично вичерпали себе. Проте необхідних висновків із цих криз (перегляд методів фінансового аналізу та прогнозування) дотепер було зроблено недостатньо, що не дозволяє у сучасних умовах ефективно запобігати виникненню нових кризових явищ.

Міжнародний валютний фонд витратив значну кількість ресурсів і часу на створення Системи раннього попередження після фінансової кризи 1998 року. Проте у 2005 році сам МВФ констатував у статті, опублікованій у журналі «IMF Staff Papers», провал таких систем раннього попередження, що базуються на класичному математичному інструментарії. Відповідно, для здійснення обґрунтованих економічних прогнозів у сучасних умовах є нагальна необхідність в істотному переосмисленні використовуваних на практиці методів економіко-математичного моделювання.

На підтвердження цього О. О. Недосекін у своїй докторській дисертації [6] охарактеризував період 2000–2002 рр. у світовій економіці як парадигмальний епістемологічний розрив, унаслідок чого взагалі викликає сумніви можливість використання ретроспективних даних для отримання прогнозу через якісний перелом ринкових тенденцій.

Якщо здійснити аналіз причинно-наслідкових зв'язків такої непередбачуваної поведінки фінансових систем як розвинутих країн, так і країн з перехідною економікою, то можна дійти висновків, що, з одного боку, наслідком зазначених різких коливань фінансових показників є неможливість їх адекватного прогнозування із використанням класичних математичних підходів. А з іншого боку, саме зростаюча неспроможність широко розповсюджених економіко-математичних методів і моделей адекватно здійснювати аналіз та прогнозування розвитку фінансово-економічних систем стає однією з головних причин виникнення таких значних криз на фондових ринках. Адже, який інвестор вкладав би кошти в акції, якщо би міг передбачити подальше значне падіння їхнього курсу або виявити значну їх переоцінку, використовуючи адекватні методи фінансового аналізу?

Окрім того, у праці [4] наголошується, що виникнення криз на фондових ринках пов'язано не тільки з низькою здатністю використовуваного дотепер економіко-математичного інструментарію прогнозувати розвиток фінансових показників, але й з неадекватністю методів аналізу фінансового стану емітентів. Подібна ситуація потребує перегляду математичного апарату, що застосовується в управлінні фінансами, і не лише на фондовому ринку.

Подібна все зростаюча невідповідність розповсюджених економіко-математичних методів новим економічним умовам була описана Томасом Куном у теорії кризових ситуацій у праці [3], згідно з якою старі системи «очевидностей» замінюються новими,

отриманими евристично, у результаті так званих «наукових революцій» або «змін парадигм». Так, відповідно до циклів розвитку науки за Куном, нормальна наука (коли кожна нова подія підлягає поясненню з позицій пануючої теорії) змінюється екстраординарною наукою (кризою в науці, появою аномалій, непояснених фактів). Збільшення кількості аномалій сприяє виникненню альтернативних теорій, що врешті приводить до наукової революції — формування нової парадигми.

Щодо неможливості пояснення багатьох процесів та змін у новітній економіці з позицій існуючої економічної теорії зауважують багато дослідників. Зокрема, як було зазначено у праці [2], сучасний стан економічної науки підтверджує доцільність і необхідність розробки нової парадигми управління соціально-економічними об'єктами, яка б урахувала ті колосальні зміни у сучасному світі, що відбулися та відбуваються з наростаючою динамікою, і які пов'язані з посиленням взаємозалежності та взаємодії реальних процесів у різних сферах практичної діяльності.

Про незворотні зміни, зокрема в економічній науці, зазначав ініціатор створення міжнародної наукової організації «Римський клуб» А. Печчеї [9]: «Немає більше економічних, технічних або соціальних проблем, що існують окремо, незалежно одна від одної, котрі можна було б обговорювати в межах однієї спеціальної термінології та вирішувати не поспішаючи, послідовно. У нашому штучно створеному світі майже все досягло небувалих розмірів і масштабів: динаміка, швидкість, енергія, складність — і наші проблеми також. Вони тепер одночасно і психологічні, і соціальні, і економічні, і технічні, до того ж ще й політичні. Крім того, тісно переплітаючись і взаємодіючи, вони пускають коріння і дають паростки в суміжних і віддалених сферах».

В огляді [7], підготовленому за результатами проведення II Всеросійського симпозіуму з економічної теорії, який проходив за участі провідних російських учених-економістів, академіків РАН, узагальнюючим висновком була теза: «Вагоме місце у розвитку економічної теорії в найближчому майбутньому займатимуть міждисциплінарні підходи, що базуються на широкому застосуванні апарату синергетичного моделювання, економіко-математичних, економіко-соціологічних, економіко-історичних та економіко-психологічних та інших моделей і методів» [7].

Розвиваючи наведені цитати, від себе додамо, що сучасні економічні, соціальні, юридичні та інші проблеми часто характеризуються суто теоретичними міркуваннями, описовими послідовностями щодо їх вирішення без застосування будь-яких кількісних показників. Через ці особливості стає неможливим для розв'язання подібних задач використовувати класичні числові підходи, у підґрунтя яких покладено економетричні моделі, побудовані за принципами регресійних функцій. Проте логічно зауважити, що немає сенсу штучно відмовлятися від певної важливої інформації лише тому, що існуючі поширені математичні методи обробки інформації та прийняття рішень не здатні оперувати якісними показниками.

Відповідно, аналітики змушені частіше використовувати звичайні методики якісного аналізу соціальних та економічних систем, що усуває кількісні методи математичного моделювання з процесу планування та оптимізації їх діяльності. Проте зробимо наголос на тому, що використання адекватних математичних підходів для аналізу та прогнозування розвитку соціально-економічних систем дає змогу підвищити ефективність їх функціонування та сприятиме отриманню додаткового економічного ефекту. Відповідно, відмова від математичних методів моделювання економіки на користь звичайного експертного аналізу є згубним шляхом розвитку як економічної науки, так і практики управління економічними системами.

Як зазначав у висновках до статті [1] професор В. В. Вітлінський: «Усе це потребує залучення відповідного економіко-математичного інструментарію, зокрема, топології, функціонального аналізу, теорії нечітких (розпливчастих) множин, а також відповідних інформаційних технологій, що дозволило б із загальних концептуальних позицій

здійснити опис як кількісно, так і якісно поданої інформації щодо об'єктів і процесів, урахувавши семантичні модальності інформаційних одиниць, нечіткість даних, мультиплікативний вплив чинників невизначеності та конфліктності, синергетичні ефекти, вплив різних видів і типів ризику на його інтегральну оцінку, а також суб'єктивного чинника та низку інших аспектів, які підвищують адекватність і точність відповідних оцінок, прогнозів, планів та рішень».

Отже, останнім часом з'являється все більше прибічників переходу від економетричного моделювання економіки до синергетичного підходу, згідно з яким для аналізу поведінки економічних систем залучаються знання із найрізноманітніших галузей науки — від психології і філософії до математики, фізики, біології тощо.

Так, шукаючи нові методологічні підходи та методи математичного моделювання складних систем, дослідники дедалі частіше звертають увагу на навколишній світ, живу природу, відкриваючи там нові ідеї. Таким чином і з'явилися методи нейронних мереж (сукупність запозичених з нейрофізіології моделей паралельних обчислювальних структур), теорії нечітких множин та нечіткої логіки (механізм реалізації формально-логічних мовних конструкцій, що відтворюють процеси мислення людини за допомогою лінгвістичних категорій та логічних правил прийняття рішень), генетичні алгоритми (що застосовуються для пошуку глобального оптимуму в складних системах, ґрунтуючись на теоретичних дослідженнях синтетичної теорії еволюції, що вивчає мікробіологічні механізми наслідування ознак у популяціях живих організмів), еволюційне програмування (генерація за принципами генетичних алгоритмів альтернативних кодів комп'ютерних програм або функцій визначеного вигляду, на зразок МГУА, що здатні підвищити точність відтворення шуканої залежності), інтелектуальні методи мультиагентної оптимізації (методи мурашиних колоній, бджолоїної колонії, оптимізації з використанням рою часток та на основі моделювання переміщення бактерій, в основу яких закладено принципи функціонування колоній суспільних тварин, комах та інших живих істот, реалізуючи таким чином колективний інтелект) та ін.

Важливим завданням в контексті вибору математичного інструментарію для моделювання процесів та явищ будь-якої природи є формування спільної концепції, яка б ґрунтувалась на загальних принципах, що знаходяться в основі феноменів різного походження та об'єднують різноманітні явища нашого світу. В деякій мірі така концепція, що синтезує різні сторони реальності, може бути сформована в рамках сучасної теорії нелінійних динамічних систем. Низка властивостей таких систем, зокрема, нестійкість, нелінійність, відкритість, дисипація породжують режими існування та еволюції, притаманні широкому класу складних систем від механічних, термодинамічних, хімічних тощо до живих організмів та їх спільнот, якими є соціально-економічні системи. В першу чергу, це хаотичні режими, які зараз прийнято вважати характерними етапами розвитку будь-якої достатньо складної нелінійної системи, та явища самоорганізації, механізм яких може пояснити різноманітні асиметрії фізичного світу, природу соціальних революцій, зокрема, економічних криз тощо.

Надзвичайно висока чутливість систем, що перебувають на етапі хаотичного розвитку, дає ключ до розуміння різких стрибкоподібних переходів, визначає межі передбачуваності їхньої поведінки, а також і горизонт реконструкції попередніх станів. Аналіз складних нелінійних систем дозволяє зрозуміти конструктивну роль криз у розвитку цих систем, визначити динаміку поведінки або встановити етапи управління системою як у періоди криз, так і у період спокійного розвитку між етапами якісних перебудов.

Один із широко вживаних підходів до моделювання динаміки економічних систем полягає в описі їх поведінки системою рівнянь, що визначають зміну координат (параметрів) системи у часі, із заданими початковими умовами.

Однак при дослідженні поведінки складних нелінійних систем, що включають велику кількість взаємопов'язаних елементів, зазвичай використовується деякий спрощений опис, оскільки математичне моделювання всієї системи шляхом врахування стану кожної її складової приводить до надто великої розмірності моделі. Зауважимо, що процесу обчислення параметрів, які визначають стан складних нелінійних систем з великою кількістю змінних, притаманна неточність (невизначеність, розпливчастість) внаслідок нестійкості систем і неможливості абсолютно точного визначення початкових умов та еволюційних рівнянь, а також внаслідок наблизеності та великої трудомісткості використовуваних чисельних алгоритмів.

При описі динаміки економічних процесів часто використовують параметри, які відображають узагальнену або усереднену поведінку кожної складової, причому важливим є те, що такі параметри є не абстрактними величинами, а такими, які можна спостерігати. За використання у процесі моделювання такого спрощеного опису, еволюційні рівняння для параметрів системи можна отримати шляхом усереднення (як це робиться, наприклад, у статистичній фізиці) або ж за рахунок створення евристичних моделей, які ґрунтуються на спостереженнях за параметрами складних систем (що часто зустрічається в економіці у зв'язку з відсутністю розроблених детальних математичних моделей окремих складових системи).

За першого підходу опис є наближеним, оскільки в реальних системах завжди спостерігаються флуктуації параметрів, що унеможлиблює абсолютно точне визначення фазових координат системи, а отже викликає необхідність пошуку принципів моделювання, відмінних від опису поведінки систем у вигляді детермінованих диференціальних рівнянь чи інших еволюційних рівнянь. Зокрема, завдяки флуктуаціям фазових координат (параметрів) системи руйнуються детерміновані фазові траєкторії, зникають особливі точки, система «блукє» навколо стану, який передбачений розв'язком детермінованого еволюційного рівняння. За другого підходу неточність обумовлена тим, що обчислення ґрунтуються на узагальненні та аналогії, у той час як кожна система може мати деякі індивідуальні властивості (риси).

Існують різні підходи до усунення невизначеності у процесі моделювання складних систем. Найбільш розповсюдженим є стохастичний підхід до опису невизначеності при побудові математичних моделей економічних систем, явищ чи процесів. Згідно такого підходу на множині параметрів задається ймовірнісний розподіл, який має наступну інтерпретацію: ймовірність тієї чи іншої події прирівнюється до частоти її появи в (нескінченній) послідовності незалежних випробувань. Тобто, для коректного застосування інструментарію теорії ймовірностей з метою моделювання економічної системи чи явища необхідно аби величина, яку ми спостерігаємо (деякий параметр системи), була результатом усереднення незалежних випадкових величин. Однак, коли мова йде про моделювання унікальних явищ, про опис експериментів, що не повторюються, про наслідки (результати), які можуть бути отримані лише один раз, або про прийняття рішення у даній конкретній ситуації, яка взагалі можливо ні до цього, ні після цього ніколи більше не повториться, то описувати такі події в термінах імовірності, пов'язаної з їхньою частотою у серії незалежних випробувань, некоректно.

Якщо експеримент принципово не можна повторити багаторазово, то при стохастичному підході зазвичай пропонується інтерпретація результатів моделювання шляхом розігрування «уявного» експерименту, результати якого, однак, тепер вже не пов'язані з реальними процесами, які описуються.

Зауважимо, що при використанні теоретико-імовірнісного підходу до моделювання здійснюється не прогнозування поведінки системи, а оцінювання частоти тієї чи іншої її поведінки, пов'язаної з імовірністю, причому робиться припущення, що частота не змінюється за заданих умов, що характеризує так звану стохастичну стійкість. Однак у складних ситуаціях самі умови змінюються досить швидко і не підлягають оцінюванню, а, отже, втрачається сенс говорити про частоти подій. У таких ситуаціях можна говорити лише про певні тенденції — наприклад, стверджуючи, що «якщо тенденція змін в умовах

збережеться, то імовірність подій збільшиться». Значення ймовірностей у такій ситуації не мають сенсу для прогнозування стану системи. Відповідно, більш природно описувати лише ці тенденції і переваги, причому не в абсолютній, а у ранговій шкалі, оцінюючи можливість тієї чи іншої поведінки системи.

Неадекватність імовірнісних моделей виявляється і при описі думки експерта, оскільки його вислови не являються стохастично стійкими: в різні моменти експерт може приймати різні рішення за одних і тих самих, здавалось би, незмінних ситуацій.

Поєднуючи наведені вище тези та враховуючи неспроможність поширених нині економіко-математичних методів здійснювати адекватний аналіз та прогнозування (що стало однією з головних причин виникнення такого значного та тривалого кризового періоду на розвинутих фондових ринках), дозволимо собі зробити висновок про необхідність перегляду концептуальних засад моделювання фінансових і соціально-економічних систем та формулювання нової економічної парадигми. Ця парадигма має передбачати застосування такого математичного інструментарію, який надасть можливість здійснювати фінансово-економічний аналіз та прогнозування з урахуванням усієї наявної інформації про об'єкт дослідження (зокрема експертних знань) та проводити ефективне налагодження економіко-математичних моделей на підґрунті реальних статистичних даних.

На доцільності зміни парадигми моделювання економіки також наголошував Едгар Петерс [8], причому здійснивши значний внесок у розвиток теорії хаосу та фрактального аналізу, а також їх застосування для аналізу ринків капіталу, він робить наголос на тому, що подальші свої дослідження буде проводити у напрямку моделювання економіки на підґрунті теорії нечіткої логіки [8].

Такий підхід до моделювання економічних систем та процесів дає можливість описувати неточність (невизначеність) параметрів системи у термінах можливості. Якщо при детермінованому підході поведінку складних систем описують фазовою траєкторією, при ймовірнісному — випадковим процесом, то при нечіткому підході поведінка системи може бути описана множиною траєкторій із заданою на повній множині можливих станів функцією можливості (належності). Така міра визначає порядок на множині траєкторій, за яким деякі траєкторії більш можливі, деякі — у меншій мірі, а інші неможливі взагалі. Поведінку системи при цьому можна визначити як нечіткий процес, який описується початковим розподілом можливості (належності) та розподілом можливості переходу системи з одного стану в інший як функції часу, початкового та кінцевого стану.

Теорію нечітких (розпливчастих) множин та нечіткої логіки можна розглядати як спосіб формалізації суб'єктивних суджень, що дозволяє охарактеризувати ступінь можливості та достовірності подій, а також кількісно описати наявну якісну інформацію про об'єкт дослідження.

Окрім того, теоретико-розпливчасті методи моделювання є інваріантними відносно будь-якого перетворення шкали значень можливості (функцій належності), що зберігає порядок. А, отже, можливість не має частотної інтерпретації, яка властива ймовірності і пов'язує її з експериментом. Тим не менш, теорія нечіткої логіки дозволяє математично моделювати дійсність на підґрунті фактів, знань, гіпотез і суджень дослідників та перевіряти адекватність побудованих моделей. Відповідно, підхід до моделювання поведінки складних економічних систем в термінах нечіткості (розпливчастості, можливості) дозволяє враховувати думку експертів про можливість тої чи іншої поведінки системи. Це є важливим, зокрема, при створенні сучасних засобів моделювання складних соціально-економічних систем та процесів на макрорівні, що ґрунтуються на судженнях експертів про можливі ситуації та стани системи, про тенденції у її поведінці, про закономірності, що пов'язують параметри системи.

Зважаючи на зазначене, вважаємо за доцільне застосування для моделювання економічних систем методів нечіткої логіки, що надають інструментарій для обробки якісної інформації та врахування експертних знань у предметній області. Залучення ж

інструментарію нейронних мереж до моделей на нечіткій логіці забезпечить можливість оптимізації їх параметрів на реальних кількісних та якісних показниках діяльності досліджуваної системи, об'єкта чи процесу. Як наголошується у дослідженні [5], між нейронними мережами та нечіткими системами існує певний синергізм, який робить їхню гібридизацію ефективним інструментом математичного моделювання та інтелектуального управління економічними системами і процесами в умовах невизначеності.

Зокрема, гібридні нейро-нечіткі системи, які є синтезом обох підходів, забезпечують поєднання властивостей адаптивності й робастності, характерних нейронним мережам, з поданням знань, логічністю та універсальністю систем нечіткої логіки. Крім того, нелінійні моделі, що ґрунтуються на синтезі елементів нечіткої логіки та нейронних мереж, здатні ефективно здійснювати розрахунок результативного показника на підставі пояснюючих змінних навіть за умови, коли між ними відсутній значимий кореляційний зв'язок. Для застосування нейро-нечітких моделей немає необхідності дотримання гіпотези про стаціонарність досліджуваних випадкових процесів або незмінність зовнішніх умов, що особливо важливо для молодих ринків, які активно розвиваються, зокрема українського.

Нейро-нечіткі технології є тим математичним інструментарієм, який з успіхом може бути застосований для розв'язання практично будь-яких економічних задач. Вони являють собою методологію та математичний апарат, що надає можливість ставити та математично-обґрунтовано розв'язувати навіть такі задачі, для яких відсутня скільки-небудь повноцінна статистика, або коли серед інформативних факторів є лише якісні показники, забезпечуючи при цьому можливість адаптації економіко-математичних моделей до мінливих умов економіки.

Вказане вище обґрунтовує доцільність упровадження в економічну науку методів теорій нейронних мереж та нечіткої логіки, які є потужним математичним апаратом, здатним з успіхом замінити поширені морально-застарілі математичні підходи. Наразі для цього є всі необхідні передумови, що дає підстави сподіватись на провідну роль нейро-нечітких технологій у створенні підґрунтя для започаткування нової парадигми розвитку економічної науки та, зокрема, теорії економіко-математичного моделювання.

Література

1. Вітлінський В. В. Актуальні питання розвитку теорії ризику / В. В. Вітлінський // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — К. : КНЕУ, 2006. — Вип. 74. — С. 30–38.
2. Галіцин В. К. Інформаційний менеджмент: наука про інформаційні процеси та управління ними, перспективи його розвитку / В. К. Галіцин, С. Ф. Лазарева // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — К. : КНЕУ, 2006. — Вип. 74. — С. 5–29.
3. Кун Т. Структура научних революцій / Т. Кун. — М. : Прогресс, 1975. — 288 с.
4. Матвійчук А. В. Моделювання фінансової стійкості підприємств із застосуванням теорій нечіткої логіки, нейронних мереж і дискримінантного аналізу / А. В. Матвійчук // Вісник НАН України. — 2010. — № 9. — С. 24–46.
5. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук. — К. : КНЕУ, 2011. — 439 с.
6. Недосекин А. О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний : дис. ... докт. экон. наук: 08.00.13 / А. О. Недосекин ; СПбГУЭФ. — СПб., 2003. — 280 с.
7. Некипелов А. Д. Приоритеты развития современной экономической теории / А. Д. Некипелов, А. И. Татаркин, Е. В. Попов // Экономическая наука современной России. — 2006. — № 3. — С. 127–141.
8. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / Э. Петерс. — М. : Мир, 2000. — 333 с.
9. Печчеи А. Человеческие качества : изд. 2-е. / А. Печчеи. — М. : Прогресс, 1985. — 312 с.