

Виклики в економічній діяльності, перш за все у сфері безпеки, вимагають принципово нового бачення і сприйняття інформації як такої. Визначення існування загальноцивілізаційних проблем в частині саме інформаційної вразливості людства повинні привести до розробки і реалізації новітніх технологій і механізмів інформаційного захисту, який враховує інформаційні ризики. З цього приводу слід зазначити:

— існуючі уявлення про систему-інфраструктуру безпеки економічної системи потребує радикального переосмислення;

— запропоновані методи і технології не завжди спроможні реагувати на постійні загрози, особливо інформаційні;

— інвентаризація інформаційних об'єктів та визначення ймовірності виникнення інформаційної загрози дозволить оптимізувати фінансові ресурси, що виділяються на безпеку.

Література

1. Баутов А. Н. Экономический взгляд на проблемы информационной безопасности // Открытые системы. — №2.

2. Иншаков О. В. и др. Информационное развитие экономики региона: Монография / О. В. Иншаков, М. Ф. Мизинцева, А. Э. Калинина, Е. А. Петрова. — М.: Издательский дом «Финансы и кредит», 2008. — 296 с.

3. Петренко С. А., Симонов С. В. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. — М.: Компания АйТи; ДМК Пресс.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2010 р.

УДК 330:51

Ю. В. Коляда, докторант кафедри економіко-математичного моделювання ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

СТРУКТУРНИЙ ПОРТРЕТ НЕЛІНІЙНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ НА ПІДГРУНТІ АДАПТИВНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

АНОТАЦІЯ. Проголошується адаптивна стратегія якісного моделювання економіки, спільно вивчаючи фазові простори змінних та параметрів математичної моделі (ММ). На прикладі однієї із ключових ММ нелінійної економічної динаміки, окремими випадками котрої є ціла низка відомих у

синергетичній економіці моделей, побудовано структурний портрет — каркас взаємодіючих між собою десяти областей фазового простору параметрів ММ, у кожній з яких траєкторії фазових змінних мають свою власну поведінку. Аналітично підтверджується надскладний характер траєкторій можливого розвитку економічної системи.

АННОТАЦИЯ. Провозглашается адаптивная стратегия качественного моделирования экономики исследуя фазовые пространства переменных и параметров математической модели (ММ). На примере одной из главных ММ нелинейной экономической динамики, частными случаями которой является целый ряд известных в синергетической экономике моделей, построено структурный портрет – каркас взаимодействующих между собой десяти областей фазового пространства параметров ММ, в каждой из которых траектории фазовых переменных имеют свое собственное поведение. Аналитически подтверждается сверхсложный характер траекторий возможного развития экономической системы.

ABSTRACT. Pronounced adaptive strategy of qualitative modeling the economy, jointly studying the phase space variables and parameters mathematical model (MM). In the example of one of the key MM nonlinear economic dynamics, which is a special case of a number of known synergistic economy models to construct a portrait - frame interacting ten regions of phase space parameters of MM, each of which trajectory phase variables have their own behavior. Very complicated nature of the possible trajectories of the economic system is analytically proved.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фазовий простір, математична модель, параметричний портрет, структурний, динамічна траєкторія.

KEY WORDS: phase space, the mathematical model, parametric portrait, structural, dynamic trajectory.

Вступ

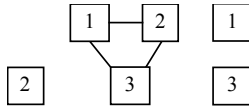
Будучи самостійним видом наукової діяльності, економіко-математичне моделювання (ЕММод) відноситься [1] до переліку фундаментальних досліджень. У згадуваній статті висунуто нову концепцію ролі та місця ЕММод у системі теоретичних і прикладних досліджень, якому належить консолідуюча функція у тріаді «економічна теорія — економічна політика — господарська діяльність».

Складові тріади визначаються таким чином. Економічна теорія — сукупність поглядів на процеси виробництва, розподілу, споживання, їх структуру, тенденції, взаємозв'язки і взаємовпливи.

Економічна політика — економічні рішення, які завжди мають бути своєчасними, адекватними, виваженими і дієвими. Між іншим, правильна економічна політика ґрунтується на осмисленні динаміки еволюції макроекономічних процесів, чим передбачається розгляд кількох варіантів розвитку подій.

Саме за допомогою комп'ютерного ЕММод шукається найбільш прийнятний за наявних обставин і стартових умов варіант, урахувуючи тенденції та закономірності макrorівня. Господарська діяльність — функції та стан народного господарства.

Сучасну економічну науку уже важко уявити без математичного моделювання, особливо динамічних процесів економіки. В літературі відома [1] тріада моделювання, де є методологія і методика побудови моделей; — практика побудови і застосування моделей і блок — теорія моделювання.



Зважаючи на глобальний характер нелінійної динаміки процесів та явищ економічної системи, вочевидь стало зрозуміло, що розглядати тільки економетричні моделі вкрай недостатньо. Епоха лінійної парадигми в економіці закінчилася. Тепер провідна роль у ЕММод нелінійної економічної динаміки належить [2] ММ іншого гатунку — точковим (скупченим) або системам звичайних диференціальних рівнянь з початковими умовами, як це має місце у природознавстві чи техніці.

Насамкінець слід відмітити, що розрізняють моделі економічних теорій і моделі економічних об'єктів.

Аналіз публікацій по темі дослідження

У працях [3—7] зазначається, що сучасній економіці притаманні інтенсивні взаємодії її складових, наявність адаптивних і біфуркативних механізмів на шляху розвитку. Економічній системі, як самоорганізуючій, відкритій, нелінійній, дисипативній та людиновимірній, у процесі еволюції також властиві гетерархія змінюваності, спадковості та відбору, почережність атракторів і гомеостазу, комбінації зворотних зв'язків полярних знаків тощо.

Підкреслюється наступне: а) ортодоксальна теорія економічної рівноваги має обмежене застосування у сучасній динамічній економіці; б) пояснення проблем трансформаційної економіки з позиції лінійного мислення вкрай недостатньо; в) ступінь взаємодії різнорідних складових та компонентів економічної системи вимагають критичного переосмислення домінуючих положень і лінійних принципів економічного аналізу; г) протягом останнього десятиліття активно формується нелінійний стиль економічного мислення.

Привертається увага до того, що розвиток економічної теорії продукує нові постулати, змінюючи базові поняття та ідеї. Створюється парадигма системного і нелінійного наукового економічного мислення, долучаючи здобутки синергетичної економіки. Системна парадигма ставить своєю метою вивчення реального світу економіки по можливості найбільш повно, що стає доступним лише на підґрунті якісного дослідження поведінки розв'язків та кількісного (числового) аналізу адекватних ММ.

Постановка проблеми та підходи до її розв'язання

Стисло причини і результати сучасного якісного аналізу ММ нелінійної економічної динаміки, який окрім традиційних фазових траєкторій включає параметричний портрет — наявність особливих точок і поведінка траєкторій моделі залежно від числових значень її коефіцієнтів, викладено у статті [8]. Між іншим, поняття параметричного портрета вперше зустрічається в ЕМ-Мод, хоча цілком виправдано і успішно фігурує [9] у математичній біології, біофізиці, екології тощо.

Дана стаття, продовжуючи попереднє [8] вивчення нелінійної економічної динаміки, логічно його завершує в тому сенсі, що приводиться найбільш загального вигляду параметричний портрет (для фазового простору трьох параметрів). Дійсно, якщо раніше було розглянуто фазові траєкторії для параметричних пар $\{\alpha, \mu\}$, $\{\alpha, \varepsilon\}$ і $\{\mu, \varepsilon\}$, то тепер належить їх синтезувати у більш повний структурний портрет.

На нашу думку, підхід до розв'язання проблем динаміки нелінійної економіки було вказано ще А. Маршаллом [10], коли у двадцяті роки ХХ ст. він закликав пильно придивлятися до математичної біології.

Разом з тим, приймаючи до уваги слова: «хаотичні явища в нестійких нелінійних динамічних системах можуть бути зрозумілими тільки за допомогою математики і лежать за межами наших інтуїтивних уявлень» [11, с. 18], теоретичний економічний аналіз динаміки нелінійної економіки здійснюється за допомогою однієї ключової ММ [8], що цілком відповідає системній парадигмі моделювання.

Мета статті — на підґрунті якісного аналізу ММ нелінійної економічної динаміки графічно відтворити надскладну біфуркативну поведінку (наявність стійких особливих точок і граничних циклів, їх злиття та руйнацію) динамічних траєкторій, котра спостерігається залежно від числових коефіцієнтів моделі. Результати такого роду у своїй сукупності утворюють структурний портрет динаміки нелінійної економіки.

Виклад основного матеріалу

Розглядається ММ використовуючи безрозмірні змінні u і v (u' , v' — їх похідні по незалежній змінній часу) та чотири параметри (α , ε , μ , γ), причому коефіцієнт γ успадковано від первісної системи рівнянь Вольтерра-Лотки, а три інші коефіцієнти (α , ε , μ)

детермінують динамічну поведінку розв'язків. Моделлю (1) охопуються низка відомих у синергетичній економіці результатів [2] (окремі випадки системи диференційних рівнянь (1) при різних значеннях коефіцієнтів).

$$\begin{cases} u' = u - \frac{uv}{1+au} - \varepsilon u^2 \\ v' = -\gamma v + \frac{uv}{1+au} - \mu v^2 \end{cases} \quad (1)$$

Приймається наступна стратегія якісного [9, 12] вивчення ММ (1): для фіксованого значення $\gamma=1$ будуватиметься трипараметричний портрет $\{\alpha, \varepsilon, \mu\}$, поведінка якого відстежуватиметься при варіації величини γ . Але побудова трипараметричного портрета починається з розгляду двопараметричного — перерізів $\{\alpha, \mu\}$ при фіксованому ε (сталому рівні конкуренції з боку змінної x — так званої жертви). Оскільки для $\varepsilon=0$ портрет $\{\alpha, \mu\}$ відомий [8], то спочатку розглядатиметься двопараметричний портрет при виконанні нерівності $0 < \varepsilon \ll 1$.

Взаємне розташування рівноважних або особливих точок (нуль-ізоклини $u' = v' = 0$) зображено на рис. 1.

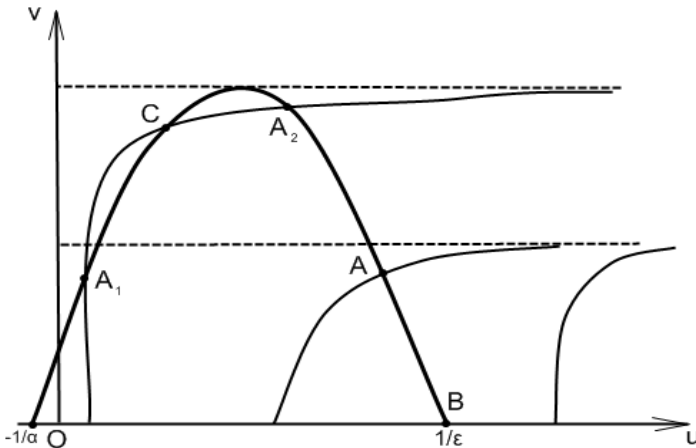


Рис. 1. Можливе розташування точок рівноваги ММ (1)

Вони є точки перетину параболи $y=(1+au)(1-\varepsilon u)$, що впливає з умови $u' = 0$, та гіперболи $v = \frac{1}{\mu} \left(\frac{u}{1+au} - 1 \right)$, оскільки $\gamma=1$ і $v' = 0$. При довільних параметрах початок системи координат uOv і точка $B(1/\varepsilon; 0)$ також рівноважні, причому тривіальна точка завжди сид-

ло, а точка В — глобально стійкий вузол, якщо нуль-ізоклини не перетинаються у першій чверті, та сідло для інших випадків.

Точки A, A_1, A_2 не є сідла, точка C — сідло. Умова злиття точок A_1 і C чи A_2 і C аналітично записується $\mu(1+\alpha u)2(1-\epsilon u)=(1-\alpha)u-1$, прирівнюючи ординати в кожній нуль-ізоклини.

Стійкість особливих точок A, A_1 та A_2 і характер взаємного розташування ліній S_1 і S_2 сідловузлів та ліній N_1 і N_2 нейтральностей з'ясовуються, керуючись міркуваннями [9, 12] і приймаючи до уваги [8] окремі ($\epsilon=0$ або $\mu=0$) випадки ММ (1).

Лініями S_1 і S_2 відповідно для сідловузлів A_1C і A_2C на координатній площині параметрів α і μ утворюється серпоподібна область (рис. 2), для внутрішніх точок якої існують на фазовому портреті при нетривіальних рівноважних точки. Поза межами серповидної області знаходиться одна рівноважна точка.

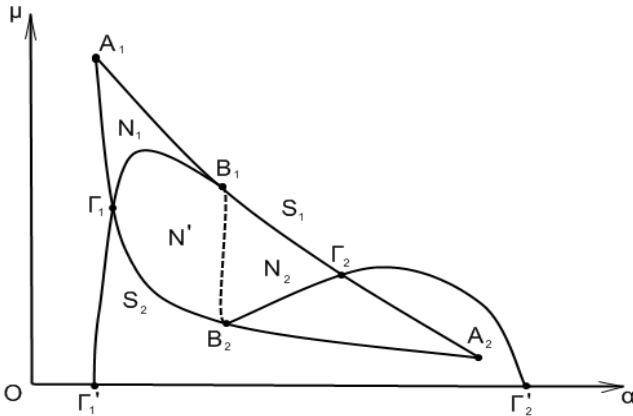


Рис. 2. Лінії сідловузлів та лінії нейтральностей ММ (1)

Лінія нейтральності N_1 дотикається до кривої S_1 в точці B_1 , перетинає вісь абсцис у двох точках Γ_1' і Γ_2' , зустрічається з кривою S_2 в точці Γ_1' . Для всіх значень параметрів, що лежать на $\Gamma_1 \Gamma_1'$, на фазовому портреті відповідає нейтральність єдиної рівноважної точки A ; точкам на ділянці $\Gamma_1 B_1$ — нейтральність A_1 . Точка Γ_1 відповідає злиттю на фазовому портреті сідла C з вузлом A_2 і нейтральності A_1 .

Точка B_1 відповідає бифуркації сідловузла A_1C , при цьому на ділянці $A_1 B_1$ кривої S_1 — існуванню на фазовому портреті стійкого сідловузла A_1C , а $B_1 A_2$ — нестійкості цього ж сідловузла.

Точка A_1 відповідає злиттю на фазовому портреті сідла C і двох стійких вузлів A_1 і A_2 ; точка A_2 — злиттю сідла C з двома нестійкими вузлами A_1 або A_2 . На кривій S_2 лежить точка B_2 така, що ділянка A_1B_2 відповідає існуванню на фазовому портреті стійкого сідловузла A_2C , а ділянка B_2A_2 — нестійкого сідловузла A_2C . У точці B_2 спостерігається дотик лінії нейтральності N_2 та кривої S_2 . Лінія нейтральності перетинає криву S_1 (верхню дугу серповидної області) в точці Γ_2 і входить у вісь абсцис у точці Γ'_2 . Ця точка Γ_2 є злиття на фазовому портреті сідла C з вузлом A_1 та зміни стійкості точки A_2 .

Таким чином, різні ділянки лінії нейтральності відповідають нейтральності різних особливих точок на фазовому портреті ММ: $\Gamma_1 \Gamma'_1$ — нейтральності єдиної рівноважної точки A ; $\Gamma_1 B_1$ — нейтральності A_1 ; $B_1 B_2$ — нейтральності сідла C ; $B_2 \Gamma_2$ — нейтральності A_2 ; $\Gamma_2 \Gamma'_2$ — знову нейтральності єдиної рівноваги A .

Принагідно зауважити, що у класичній економічній теорії рівноважного стану засвідчується лише наявність особливих точок, не зважаючи про досить складний характер їх розмежування та поведінки, наприклад можливість злиття точок.

Окрім біфуркаційних ліній особливих точок, також мають місце лінії біфуркації граничних циклів, що геометрично відображено на рис. 3.

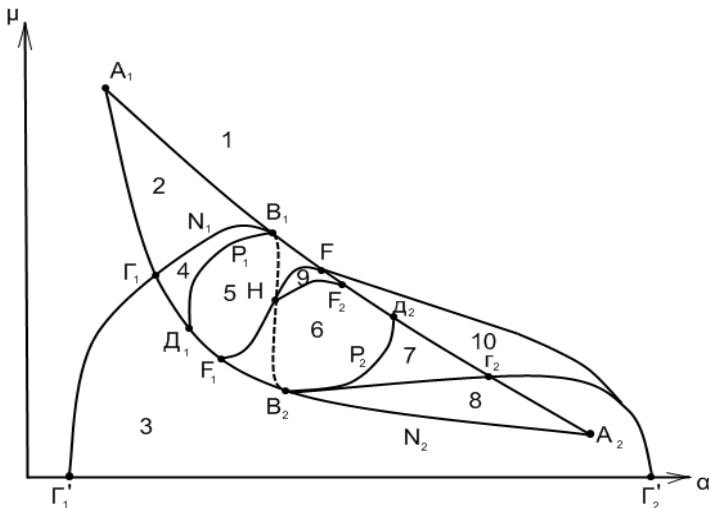
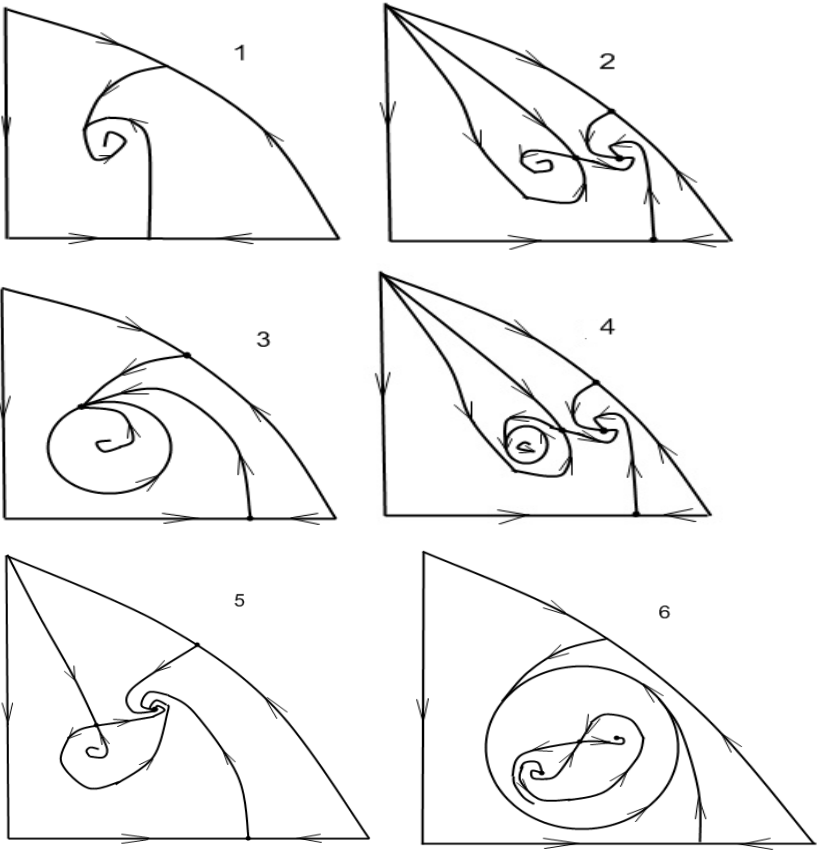


Рис. 3. Параметричний портрет ММ (1) для малих ε

Лінія P_1 — петля сепаратриси сідла C навколо точки A_1 . З точки B_2 до D_2 виходить петля сепаратриси сідла C навколо точки A_2 . Крива B_1B_2 — лінія нейтральності сідла C ; F_1F_2 — лінія великої петлі сепаратриси, а H — точка їх перетину.

Опишемо структуру фазових портретів (рис. 4) для кожної з десяти областей параметричного портрета та надамо характеристику поведінки динамічних траєкторій, що відповідає протіканню перехідних процесів. Області 1 і 5 володіють по одній точці глобального тяжіння. Два нетривіальних стійких рівноважних стани знаходяться в області 2, в один з яких попадає система залежно від стартових умов. Області тяжіння стійких точок A_1 і A_2 розділені вхідною сепаратрисою сідла C . Глобально тяжіючий автоколивний режим притаманний областям 3 і 8.



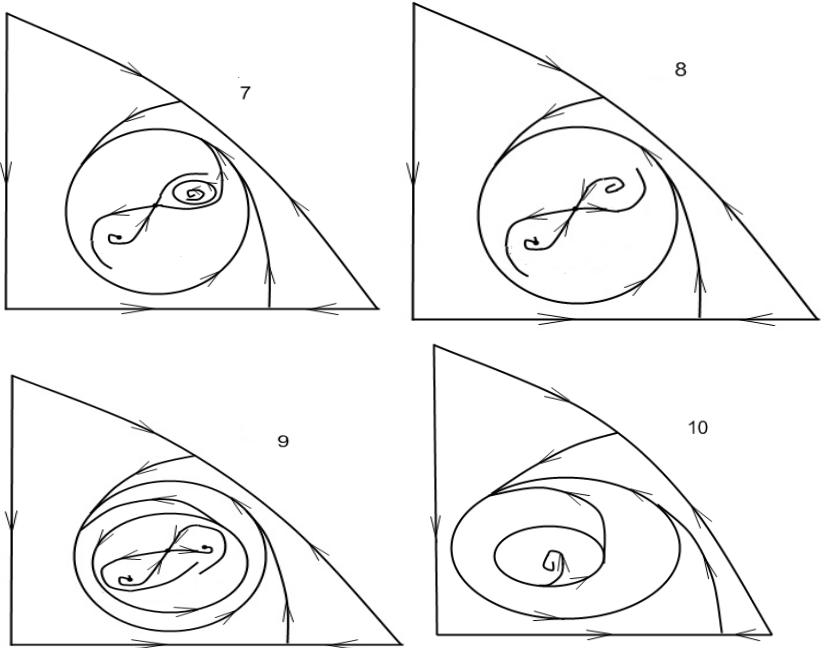


Рис. 4. Грубі фазові портрети ММ (1) відповідно для областей 1—10 параметричного портрета

Для параметричних областей 5 і 6 фазові портрети відрізняються більшим граничним циклом, яким охоплюються всі три рівноважні точки. Якщо перетинати лінію F_1F_2 великої сепаратриси зверху вниз на ділянці F_1H , то на фазовому портреті з петлі сепаратриси народжується стійкий граничний цикл; при зазначеному напрямку руху на ділянці HF_2 руйнується нестійкий граничний цикл.

При переході від області 6 до 5 може мати місце двоякий хід подій: або великий граничний цикл руйнується на петлі сепаратрис, або спочатку всередині стійкого граничного цикла з петлі сепаратрис народжується нестійкий в області 9 і далі обидва цикли анігілюють.

Великий набір режимів динамічної поведінки ММ спостерігається, коли на фазовому портреті одночасно матиме місце стійка рівновага і граничний цикл. Існують дві можливості: стійка рівновага поза областю 4 і в середині циклів 6, 7, 9 і 10. У першому разі поведінка модельованої системи близька до фазового порт-

рета 2, але замість точки A_1 має місце стійкий граничний цикл навколо рівноважної точки. Досить сильне збурення автоколивного режиму переводить систему в сферу тяжіння точки A_2 .

Області 6, 7, 9 і 10 на рис. 3 відповідають ситуації жорсткого режиму збудження автоколивань: досить сильне збурення системи, що знаходиться у рівноважному стані, переводить її у режим автоколивань, причому для параметрів з областей 7, 9, 10 межею області тяжіння буде нестійкий граничний цикл навколо рівноваги; для області 6 — більш складна конфігурація сфери тяжіння, а саме: напівсепаратриси, що розмотуються з нестійкої точки A_1 і входять у сідло C .

Події якого характеру описує ММ (1), варіюючи числові значення параметрів? Що вішуватиме модель економічної системи?

При змінюваності значень параметрів з стійкими рівноважними точками можливі п'ять варіантів розвитку подій.

1) Перехід до нової рівноважної точки характерний для області 2, де лежать точки A_1 і A_2 . При перетині межі $A_1\Gamma_1$ нічого не відбувається, лінії A_1B_1 — зрив рівноваги: стійкий вузол A_1 зливається з сідлом C і відбувається стрибкоподібний перехід до A_2 ; при переході до області 1 від 2 через межу A_1B_2 — стрибкоподібно в точку A_1 .

2) М'яке збудження коливань відбувається при переході від області 1 до 3; також від 2 до 4, при знаходженні в точці A_1 ; при положенні рівноваги у точці A_2 нічого не відбувається.

3) Жорстке збудження коливань спостерігається для переходів від областей 6, 10 до 3; та від 7 до 8.

4) Зрив стійкої рівноваги на віддалений граничний цикл для параметрів від областей 4 до 3 і в рівноважній точці A_2 відбувається зрив на автоколивний режим (вихідні рівноважні значення змінних лежать поза діапазоном варіації змінних для нового усталеного автоколивного режиму).

5) Народження автоколивань з петлі сідловузла відбувається при змінюваності значень параметрів від області 5 до 3. Відразу з'являються коливання значної амплітуди, форма коливань релаксаційна.

При зміні параметрів ММ економічної системи, що перебуває в автоколивному режимі, можуть мати місце чотири типи подій, а саме:

1) м'яке затухання коливань (явище протилежне м'якому збудженню) спостерігається для переходу від області 3 до 1 та від 4 до 2, якщо при параметрах з області 4 система перебувала у режимі автоколивань;

2) жорстке затухання коливань має місце для переходу значень параметрів від області 9 до 5 та від 10 до 1;

3) руйнація автоколивань на петлі сепаратриси відбувається при переході від області 4 до 5, якщо при значеннях параметрів в області 4 система знаходилась в автоколивному режимі.

4) зупинка автоколивань у сідловузлі на циклі — явище, зворотне народженню автоколивань з петлі сідловузла, відбувається при переході від області 5 до 3.

Фазові портрети ключової ММ нелінійної економічної динаміки геометрично відтворюють прикметне у функціонуванні економічної системи, а саме:

а) можливість співіснування економічних станів як у рівноважному, так і коливному режимах;

б) множинність атракторів (притягуючих рівноважних станів), серед яких спостерігаються не тільки точки рівноваги, але й граничні цикли;

в) так звана гістерезисна поведінка, що призводить до різноманітних перехідних процесів залежно від початкових умов і, як наслідок, — парадоксальна реакція економічної системи на деякі діяння (зовнішні та внутрішні).

Висновки

Не тільки відомі у літературі режими економічної динаміки описуються адекватною ММ (1), але їх діапазон значно розширився. Було перелічено біфуркативні події, що спостерігаються у прикладній економіці, варіюючи числові коефіцієнти моделі.

Параметрична систематизація режимів спряжена з біфуркаціями як особливих точок, так і біфуркаціями динамічних траєкторій.

Розбиття простору параметрів на підобласті, кожній з яких відповідає свій фазовий портрет, та проходження межі між областями, сприяли появі різновидів динамічних режимів.

Серед опису всіх можливих фазових портретів ММ економічної системи, множина котрих відповідає десяти областям параметричного портрета, найшлися базові, різноманітними комбінаціями котрих охоплюються реалії практичної економіки.

Структурний портрет нелінійної економічної динаміки покликаний:

а) попереджати про екстремальні режими трансформації економічної системи, наприклад, заздалегідь запобігти так званій шоківій терапії (настанню режиму жорсткого збудження);

б) виключити можливість спонтанного розвитку кризових подій, досягаючи певної керованості;

в) сприяти пошуку закономірностей протікання перехідних процесів, вказуючи порогові або критичні значення параметрів еволюції економіки;

г) систематизувати певним чином і здійснити свого роду класифікацію можливих шляхів руху економіки.

Отже, нині відбувається стратегічного чину розширення і поповнення світоглядних концептів сучасного економіста, позбавляючись стереотипів лінійного мислення.

Література

1. *Клейнер Г. Б.* Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // Экономика и матем. методы. — 2001. — Т. 37. — №3. — С. 111—126.

2. *Милованов В. П.* Синергетика и самоорганизация: Экономика. Биофизика. — М.: Комкнига, 2005. — 168 с.

3. *Корнаи Я.* Системная парадигма // Вопросы экономики. — 2002. — №4. — С. 4—22.

4. *Тарасевич В. М.* Економічна синергетика: концептуальні аспекти // Економіка і прогнозування. — 2002. — №4. — С. 56—69.

5. *Решетило В. П.* Синергетическая парадигма и формирование нелинейного стиля экономического мышления // Экономическая теория. — 2004. — №4. — С. 3—21.

6. *Тарасевич В. М.* Постнеклассический вызов фундаментальной экономической науке // Вопросы экономики. — 2004. — №4. — С. 107—117.

7. *Решетило В. П.* Синергетика потенційного й актуального в становленні і розвитку інституційних систем // Економічна теорія. — 2006. — №1. — С. 24—39.

8. *Коляда Ю. В.* Фазові та параметричні портрети ключових математичних моделей нелінійної економічної динаміки // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Зб. наук. праць. / Відп. ред. В. К. Галіцин. — К.: КНЕУ, 2010. — Вип. 82. — С. 74—90.

9. *Базыкин А. Д.* Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. — Москва-Ижевск: Ин-тут компьют. исслед., 2003. — 368 с.

10. *Маршалл А.* Принципы экономической науки. — М.: Прогресс, 1993.

11. *Занг В. Б.* Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 390 с.

12. *Базыкин А. Д., Кузнецов Ю. А., Хибник А. И.* Портреты бифуркаций: (Бифуркационные диаграммы динамических систем на плоскости). — М.: Знание, 1989. — 48 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»; №3).

Стаття надійшла до редакції 06.12.2010 р.