

7. Fisher R. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems // Annals of Eugenics. — 2009. — V. 7.
8. Huysmans J., Baesens B., Vanthienen J., Gestel T. Failure Prediction with Self Organizing Maps // Computer Journal of Expert Systems with Applications. — 2006. — Vol. 30. — No. 4.
9. Kohonen T. Self Organizing Maps (2nd edition). — Springer Verlag, 1997. — 426 p.
10. Mangasarian O. L. Linear and nonlinear separation of patterns by linear programming // Operation Research. — 1965. — V.13.
11. Nath R., Jones T. W. A variable selection criterion in the linear programming approaches to discriminant analysis // Decision Sciences. — 1988. — V. 19.
12. Thomas L., Edelman D., Croock J. Credit scoring and its application. — SIAM Monographs on Mathematical Modeling and Computation, 2001. — 248 p.
13. West D., Dellana S., Qian J. Neural Network Ensemble Strategies for Financial Decision Applications // Computer Journal of Operations Research. — 2005. — Vol. 32. — No. 2.
14. Zadehn L. A. Fuzzy logic, neural network and soft computing // Communications of the ACM. — 1994. — Vol. 37. — No 3.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2011 р.

УДК 330:51(075.8)+519.86

В. В. Вітлінський, д-р екон. наук, проф.,
зав. кафедри економіко-математичного
моделювання (ЕММ),

Ю. В. Коляда, докторант кафедри ЕММ,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

А. Я. Махоткіна, співробітник кафедри інформатики
ДВНЗ «КНЕУ імені В. Гетьмана»

КОНЦЕПЦІЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ НЕЛІНІЙНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ НА ПІДГРУНТІ АДАПТИВНИХ НЕПЕРЕРВНИХ СИНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

АНОТАЦІЯ. Описано підґрунтя моделювання динаміки нелінійної економіки, у якості інструментарію якого фігурують модифікації однієї відносно простої синергетичної моделі. Розглянуто адаптологія математичних моделей (ММ), приведено окремі результати обчислювального експерименту. Сформульовано концептуальні положення адаптивного синергетичного моделювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. Моделювання економіки, синергетична модель, нелінійна динаміка, адаптація.

АННОТАЦИЯ. Описаны основания моделирования нелинейной экономической динамики, инструментарием которого выступают модификации одной относительно простой синергетической модели. Рассматривается адаптология математических моделей (ММ), приводятся отдельные результаты вычислительного эксперимента. Сформулированы концептуальные положения адаптивного синергетического моделирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Моделирование экономики, синергетическая модель, нелинейная динамика, адаптация.

ABSTRACT. We describe the basis of modeling nonlinear economic dynamics, the tools which are the modification of a very simple synergetic model. Adaptolog considered mathematical models (MM) are some results of computer simulation. Formulated conceptual adaptive synergistic modeling.

KEYWORDS. Economic modeling, synergetic model, nonlinear dynamics, adaptation.

Вступ

Сучасну науку, зокрема економічну, в наш час важко уявити без математичного моделювання. Економіко-математичне моделювання вважається [1] важливим видом наукової діяльності і відноситься до фундаментальних досліджень. Розрізняють не лише моделі економічних теорій і моделі економічних об'єктів [1, 2], але й способи математичного опису, котрими, зокрема, є неперервні або дискретні методи та моделі аналізу нелінійної економічної динаміки (НЕД). Кожен із цих способів має свої позитивні якості і вади. Але традиційно (в історичній ретроспективі) перевага надається неперервним моделям (звичайним диференціальним рівнянням (ЗДР), наприклад Харрода—Домара, Солоу), котрі дозволяють описати закономірності економічних процесів. У випадку лінійних неперервних моделей такий підхід надавав можливість отримати аналітичні розв'язки і сприяв становленню економіко-математичного моделювання, а також відносно легко здійснювати наближене прогнозування числових значень ключових показників досліджуваної системи. Але все кардинально змінилось, коли виникла нагальна потреба враховувати (вже не можна було ігнорувати) нелінійний характер перебігу подій. Відповідно до потреб і вимог теоретичної і прикладної економіки, нелінійна динаміка економічних процесів, будучи більш адекватною щодо прийняття належних управлінських рішень в економіці, потребує поглиблення своєї концепції та інструментарію. На сьогодні більш адекватними є синергетичні моделі, на підґрунті яких розбудовують синергетичну економіку [3]. Узагальнюю-

чи, говорити про економічну синергетику можна спираючись на низку наукових праць, зокрема [4, 6, 7].

Аналіз публікацій. У низці наукових праць, зокрема в [2], зазначається, що сучасна економіка характеризується інтенсивними і глибокими взаємодіями як своїх складових, взаємовпливами між ними, так і з ключовими показниками зовнішнього середовища. Економічній системі, як відкритій, яка самоорганізовується, нелінійній і дисипативній, антропоцентричній, також властива гетероархія змінюваності, спадковості й відбору, почерговість атракторів і гомеостазу, комбінації зворотних зв'язків полярних знаків тощо. Не виключаються моменти появи біфуркацій, хаосу (дивного атрактора). Тобто, розвитку економічної теорії, та зокрема економіко-математичного моделювання, в даний період притаманна мультипарадигмальність, де домінує системне і нелінійне мислення. Цей процес потребує прийняття нових (інколи досить сміливих або несподіваних) гіпотез, постулатів, базових понять, ідей тощо. З огляду на думку: «... хаотичні явища в нестійких нелінійних динамічних системах можуть бути більш зрозумілими тільки за допомогою застосування економіко-математичного моделювання і знаходяться поза межею інтуїтивних уявлень» [3, с. 18], повнота вивчення реального світу економіки може досягатись лише на підґрунті якісного і кількісного дослідження [11] адекватних синергетичних моделей. Варто зауважити, що множина математичних моделей (ММ) має охоплювати увесь спектр проблем моделювання нелінійної економічної динаміки (НЕД). До цього слід прагнути.

Постановка проблеми. Практично завжди відчувається потреба володіння досить потужною множиною ММ НЕД — банків та баз комп'ютерних моделей. Адже кожна з ЕММ відтворює певні грані, що характеризують об'єкт моделювання. Отже, з'являється проблема гнучкого і релевантного вибору адекватної ММ. Акцентуємо увагу, що відома [1] тріада моделювання «методологія і методика побудови моделей — практика побудови і застосування моделей — теорія моделювання» також має бути адаптивною за своїм змістом (функціональним наповненням).

Мета статті полягає у наступному: розробити концепцію щодо створення альтернативної множини ММ НЕД, що сприяло б адаптивному процесу моделювання; висвітлити концептуальні положення організації адаптивного ЕММ.

З огляду на гетероархічність економіки та мету більш повного і адекватного математичного опису об'єкта моделювання в прикладній економіці сформулювалась думка про доцільність воло-

діння альтернативною множиною ММ-комплексом моделей. Комплекс моделей має бути гнучким згідно вимог процесів моделювання ЕММ, тобто адаптивним. Моделюванню органічно притаманна також адаптивна організація обчислювального експерименту на підґрунті використання бази аналітичних моделей.

Виклад основного матеріалу. Основні концептуальні положення адаптивного синергетичного підходу у моделюванні економічної динаміки характеризуються наступним:

1) потребою подолання некоректності ЕММ, викликаної, зокрема, наближеними вимірюваннями економічних показників;

2) недостатністю апріорної інформації стосовно вибору низки суттєвих чинників, які визначають поведінку досліджуваного об'єкта, що може призвести до викривлення функціональних залежностей у процесі моделювання;

3) наближеним характер рівнянь, які складають математичну модель за рахунок апроксимації нелінійних взаємозв'язків і ефектів лінійними;

4) обмеженістю гіпотези про незмінність структури економічної системи, оскільки насправді економічним процесам притаманні як інерційність, так і дрейф її елементів;

5) багатоваріантність можливих траєкторій розвитку соціально-економічної системи (СЕС), іманентній онтології об'єкта моделювання, причому конкретний вибір на практиці не завжди є вдалим;

6) адаптованість СЕС, як здатність поглинати певної сили зовнішні збурення без суттєвих негативних наслідків або наслідків екстремального характеру;

7) виокремлення небагатьох ключових системовірних параметрів, що дає змогу уникнути «прокляття розмірності» за влучним висловом Р. Беллмана.

Спираючись на зазначене вище, можна дійти висновку, що ступінь адекватності математичного опису економічних процесів та явищ досягається на підґрунті врахування якостей адаптації й ефектів синергізму.

Розрізняють [11] адаптацію ендогенного і екзогенного характеру. Перше означає різноманітне застосування однієї і тієї ж ММ у межах однієї сфери знань, наприклад економіки, а друге передбачає розвиток базової моделі, у якій кожен новий доданок відображає нову грань об'єкта моделювання.

Математичні моделі (ММ) економічних систем, які мають ієрархічну структуру, повинні будуватися на підґрунті знаходження для кожного рівня ієрархії небагатьох системовірних (визна-

чальних) змінних (параметрів порядку), що є агрегованими характеристиками об'єкта моделювання як цілого (холістичного).

Означення 1. Неперервна нелінійна економічна динаміка (НED) є розділом математичного моделювання нелінійних процесів і явищ економіки, котре ґрунтується на використанні звичайних систем диференційних рівнянь:

— точкові моделі або з зосередженими параметрами і в частинних похідних;

— з розподіленими параметрами.

Такий підхід є головним для природознавства, бо тим самим адекватно описуються закономірності перебігу процесів у деякому просторі подій. Саме так здобувається не лише поточна додаткова інформація, але й з'являються підстави для певного горизонту прогнозування еволюційного розвитку, розробляти можливі сценарії розвитку подій залежно від параметрів та кількісних оцінок об'єкта моделювання. У деяких випадках, наприклад вивчення закономірностей функціонування тіньової економіки (ТЕ) суспільства, економіко-математичне моделювання з використанням неперервних моделей абсолютно необхідно. Дійсно, у діяльності ТЕ відсутня статистична інформація, що унеможливорює застосування економетричного моделювання або дискретного аналізу. Існують й інші, досить вагомні причини використання неперервних ММ економічної динаміки.

Розвиток та узагальнення інструментарію нелінійної економічної динаміки (НED) з використанням диференційних рівнянь відображено у табл. 1.

Таблиця 1

ЕВОЛЮЦІЯ КЛЮЧОВИХ ЕММ ДИНАМІКИ

Назва рівняння	Харрода-Домара (Мальгуса)	Логістичне (Ферхюль)	Солоу	Гудвіна	Вольтера-Лотки	Лоренца модель	Колмогорова-Петровського-Піскунова (КПП)
Розмірність ММ	1	1	1	1	2	3	Одне рівняння параболічного типу в частинних похідних з просторовими координатами модель з розподіленими параметрами
Тип моделі	Звичайне диференціальне рівняння (ЗДР) 1-го порядку — точкові моделі			ЗДР 2-го порядку	Системи ЗДР 1-го порядку		

Зауваження. Від ММ параболічного типу легко перейти до рівняння еліптичного типу з однією чи двома просторовими координатами, котрим описується стан економічної системи з урахуванням місця подій, не зважаючи на плинність часу.

Зважаючи на калейдоскопічний характер трансформації, прагнення економічної теорії пізнати закономірності економіки за допомогою економіко-математичного моделювання, на підґрунті обчислювального експерименту, цілком виправдане і багатообіцяюче в сенсі глибокого сценарного аналізу економічної еволюції, повною мірою користуючись здобутками теорії моделювання, якісного аналізу ЗДР, прикладних методів числового інтегрування, пакетами програм призначених для комп'ютерного моделювання.

Означення 2. Альтернативна множина адаптивних неперервних синергетичних моделей економіки, зокрема, є системою ЗДР 1-го порядку, котра агреговано описує стан та динаміку досліджуваної системи, не застосовуючи декомпозицію останньої й редукцію математичного опису.

Зазначена дефініція відображає важливий методологічний принцип (позицію Акоффа [5]): «Суттєві властивості системи, взятої як ціле, впливають зі взаємодії її частин, а не з їх дій, взятих окремо. Тому, коли система розділена, вона втрачає свої сутнісні властивості. З цієї причини, і це головне, система є цілим, яке не можна зрозуміти лише за допомогою аналізу».

Перевага адаптивно-синергетичного підходу проявляється у тому, що, використовуючи агреговані самою економічною системою характеристики, обирають кілька чинників, які вдало описують поведінку об'єкта дослідження і можуть називатись системоутвірними.

Економічна система не тільки адаптується до зовнішнього середовища, але здатна його пристосувати до власних цілей, що надає змогу кваліфікувати її як адаптивно-адаптуючу [5].

Зупинімося на одній досить простій (з першого погляду і за своєю структурою) неперервній ММ нелінійної динаміки, котра записується [13]:

$$\begin{cases} x_1 = 1 + A_{x_2 x_3}; \\ x_2 = x_1 - x_2; \\ x_3 = 1 - x_1 x_2, \end{cases} \quad (1)$$

де $x_i = \frac{dx_i}{dt}$ ($i = 1, 2, 3$); A — числовий параметр.

Система (1) ЗДР, як і парадигмальні для синергетики моделі Лоренца і Ресслера, описує процеси дисипації (фазовий обсяг зменшується, бо дивергенція ММ від'ємна) та інерційного збудження, але володіє лише одним скалярним коефіцієнтом (параметром).

Цей факт значно полегшує пошук відповідей на два головні запитання: коли з'являються того чи іншого типу коливання (періодичні, квазіперіодичні, регулярні, хаотичні тощо); за якого значення A і як деформується дивний атрактор?

Варто зауважити наступне: а) якщо модель Ресслера описує гіпотетичні хімічні реакції, то для моделі Лоренца, що має реальне фізичне походження і широке застосування, відомі [3, 14] економічні інтерпретації; б) модель (1) вдало поєднує визначальні властивості розв'язків згадуваних фундаментальних рівнянь синергетики; в) структурно ММ (1) складається з трьох рівнянь, у двох із яких відображається найпростіша нелінійність (білінійного типу — елементарний закон кінетики), та з одного лінійного рівняння.

Нами пропонується також розглядати синергетичну модель нелінійної динаміки наступного вигляду:

$$\begin{cases} x_1 = 1 + x_2 x_3; \\ x_2 = x_1 - x_2; \\ x_3 = 1 - A_{x_1 x_2}, \end{cases} \quad (2)$$

що цілком правомірно на підставі рівнозначності координат простору подій.

Відштовхуючись від групи змінних (x_1, x_2, x_3) і користуючись їх циклічною перестановкою, для кожної з синергетичних моделей (1) і (2) отримуються кілька модифікацій базової моделі, котрі за своєю сукупністю утворюють сімейство ММ (певного класу) теорії нелінійних динамічних ММ (множину моделей кількістю 10). Зауважимо, що ліву частину ММ можна записати: а) у стандартному порядку змінних, тобто x_1, x_2, x_3 , або б) згідно чинної перестановки змінних.

Для окремих елементів згадуваної множини синергетичних моделей нижче наводяться результати обчислювального експерименту — інтегральні криві та фазові портрети, які докорінно різняться між собою, засвідчуючи багатство різноманітної поведінки розв'язків ММ нелінійної економічної динаміки.

На рис. 1 і 2 графічно відображено результати числового моделювання відповідно для синергетичних моделей (1) і (2), якщо числове значення параметра $A = 23,3$ і початкова умова $[1; 1; 1]^T$, де T — індекс транспонування вектор-стовпчика.

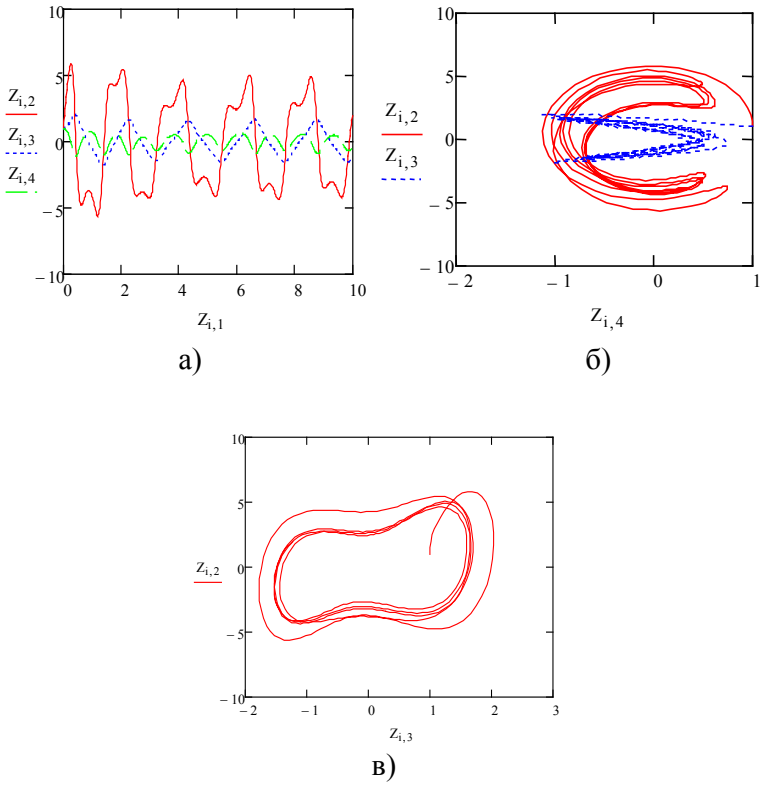
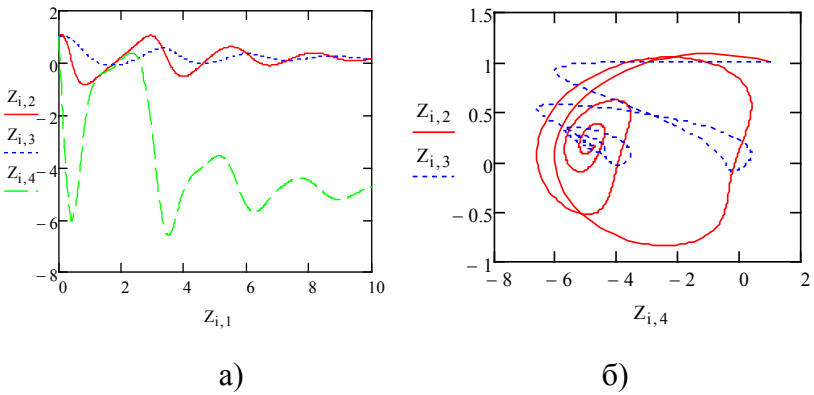
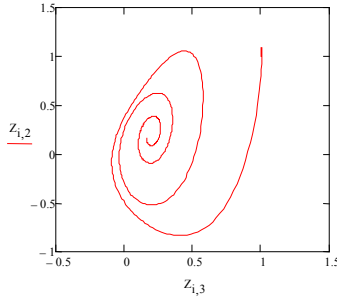


Рис. 1. а) інтегральні криві; б), в) фазові портрети



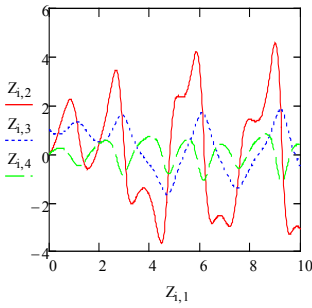


в)

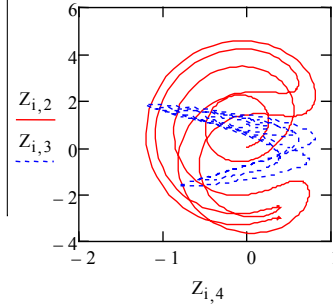
Рис. 2

Спостерігається принципово різна поведінка графіків.

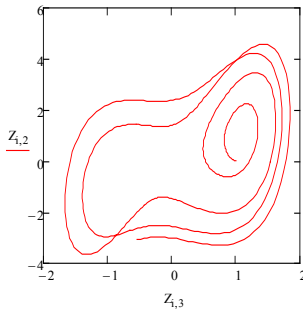
Для зазначених вище ММ (1) і (2) при початковій умові $[0;1;0]^T$ і $A = 12,15$ отримано наступні (рис. 3 і 4) графічні результати, контрастні щодо попередніх.



а)



б)



в)

Рис. 3

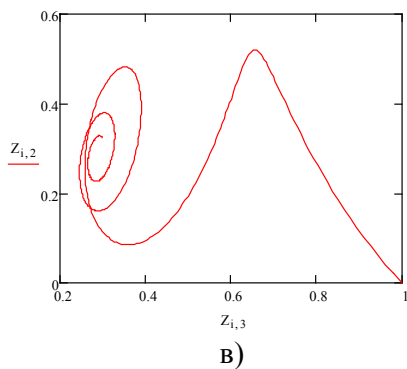
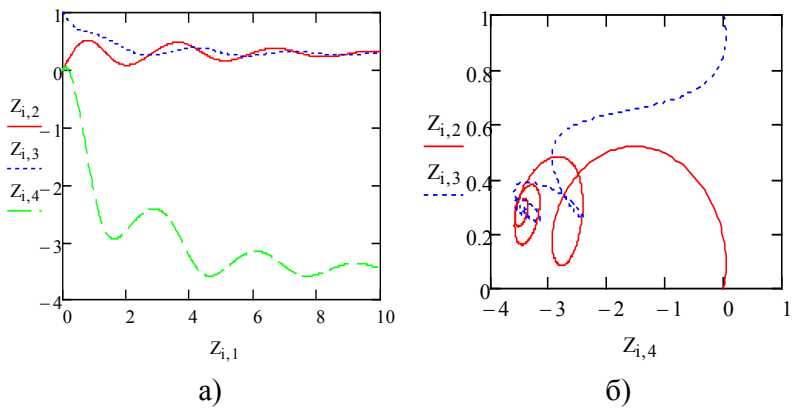


Рис. 4

Для систем ЗДР

$$\begin{cases} x_1 = x_3 - x_1; \\ x_2 = 1 - x_3 x_1; \\ x_3 = 1 + Ax_1 x_2, \end{cases} \quad (3)$$

i

$$\begin{cases} x_1 = 1 + Ax_1 x_2; \\ x_2 = x_3 - x_2; \\ x_3 = 1 - x_1 x_3 \end{cases} \quad (4)$$

якщо $A = 1,978$ і початкова умова $[1; 1; 1]^T$, то графічні результати числового моделювання відображено на рис. 5 і 6 відповідно. Тут має місце суттєва відмінність у поведінці розв'язків ММ.

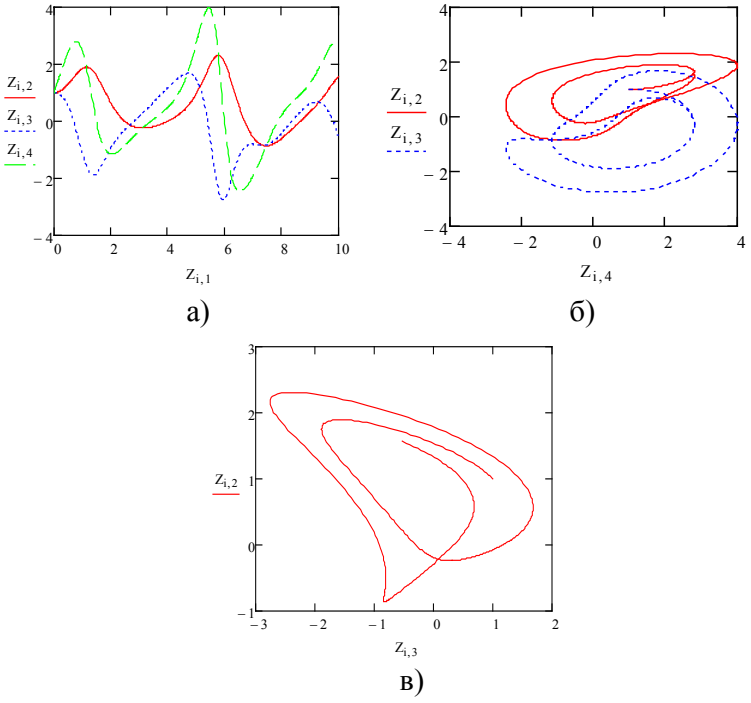
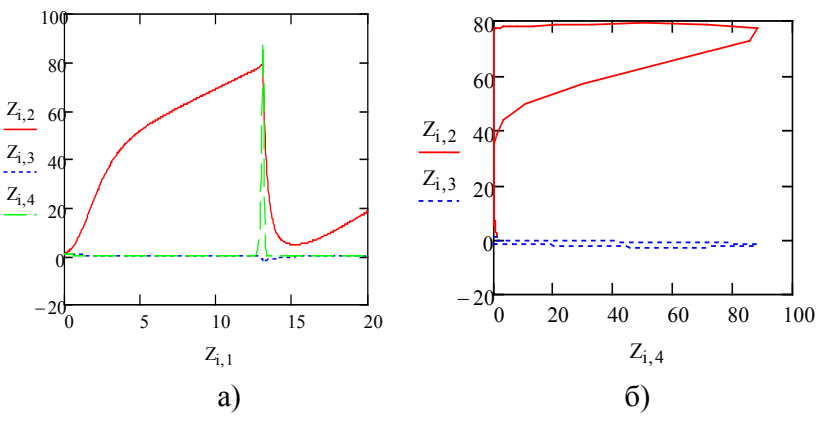
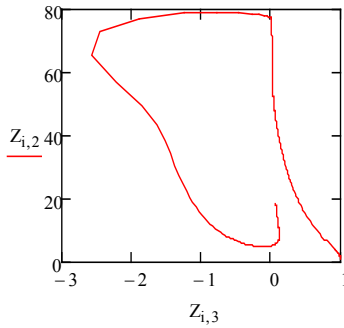


Рис. 5

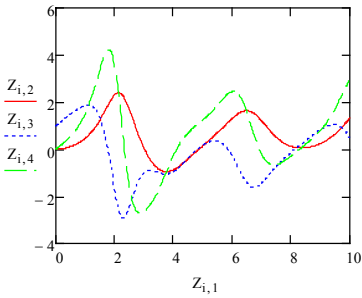




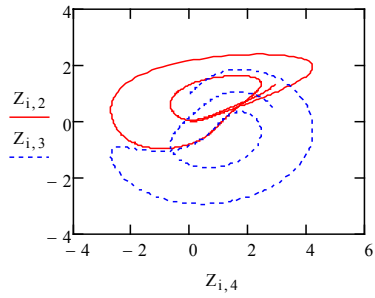
в)

Рис. 6

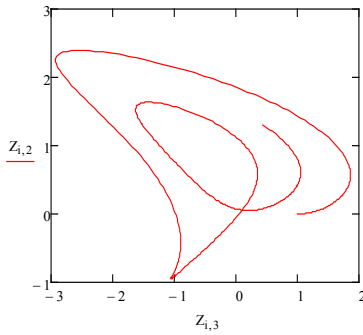
Для ММ (3), за іншої початкової умови $[0; 1; 0]^T$ і $A = 1,978$, отримано (рис. 7) принципово інші графіки, ніж на рис. 5.



а)



б)



в)

Рис. 7

Для цієї ж ММ (3) і початкової умови, але зі зростанням значень числового параметра A спостерігається детермінований хаос (рис. 8 і 9) зі всіма притаманними йому характеристиками (зони перемішування).

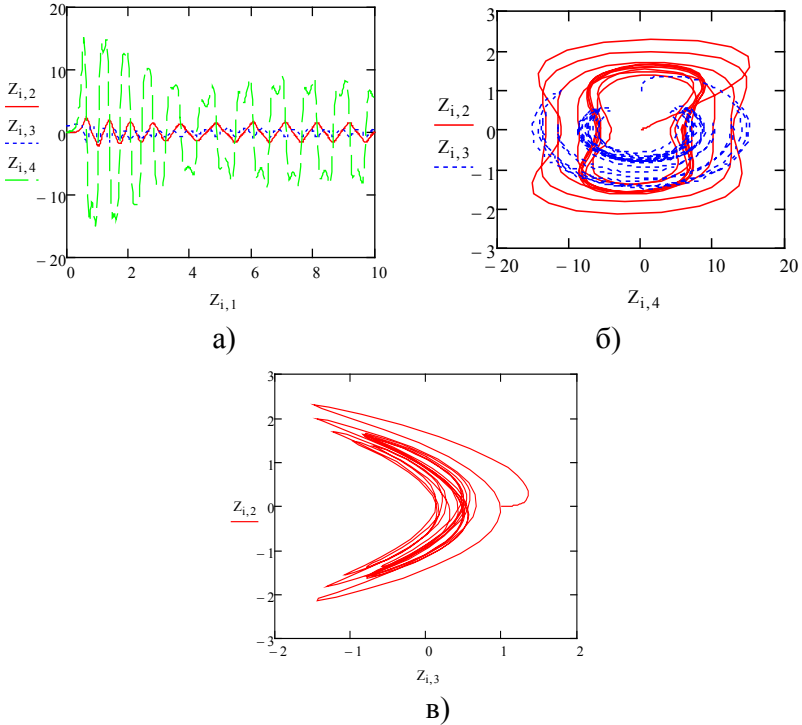
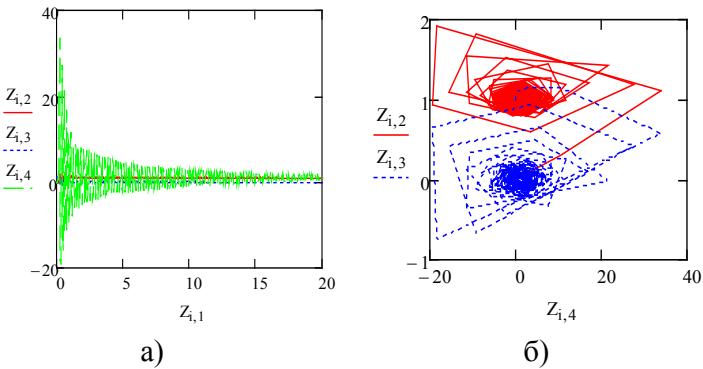


Рис. 8. ($A = 100$)



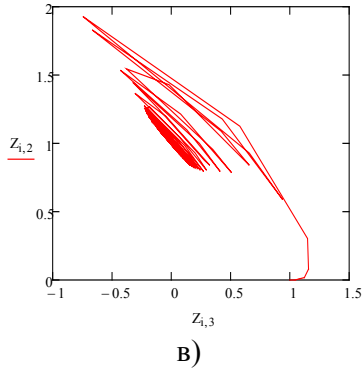


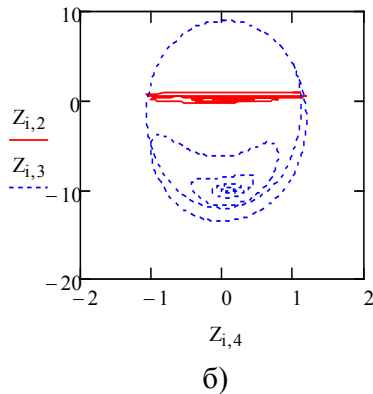
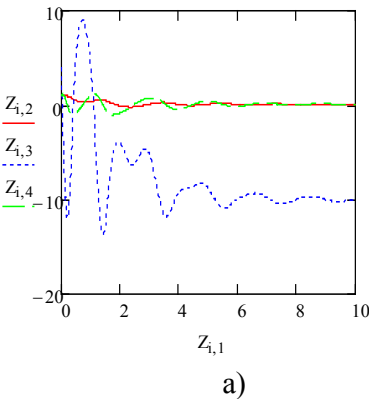
Рис. 9. ($A = 1000$)

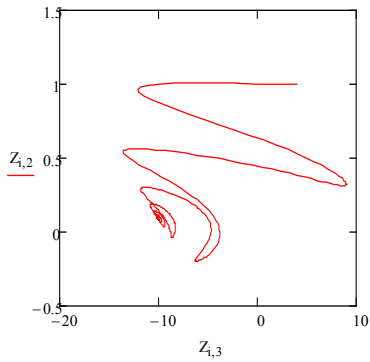
Необхідно відмітити, що для ММ (4) ($A > 10$) обчислювальний експеримент не здійснювався через переповнення розрядної сітки.

Для синергетичної моделі:

$$\begin{cases} x_1 = x_3 - x_1; \\ x_2 = 1 - Ax_1x_3; \\ x_3 = 1 + x_2x_1, \end{cases} \quad (5)$$

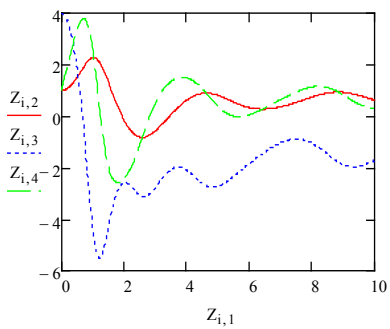
за початкової умови $[1;4;1]^T$ та числових значень параметра $A = 100$ і $A = 1,978$, результати обчислювального експерименту наведено відповідно на рис. 10 і 11.



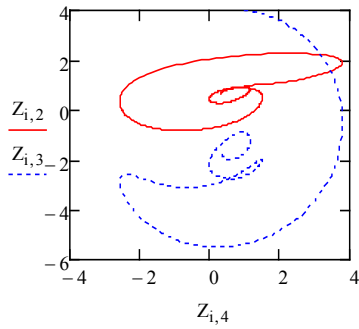


В)

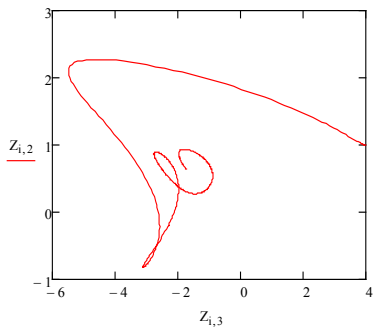
Рис. 10



а)



б)



В)

Рис. 11

На завершення викладу деяких результатів числового моделювання на підґрунті запропонованої у статті множини синергетичних моделей зазначимо, що скалярний параметр A набував числових значень аналогічних, як у праці [13] для ММ (1) для того, щоб здійснити порівняльний аналіз якостей моделей.

Висновки. Методологія та інструментарій адаптивного ЕММ, котре складається з адаптивних (синергетичних моделей) і передбачає адаптивну організацію якісного аналізу на підґрунті аналітичних нелінійних моделей і адаптивного числового інтегрування рівнянь моделі, розробляються з метою здобуття інформації (знань), щоб можна було враховуючи їх уникнути спонтанного розвитку досліджуваної економічної системи, досягти певної керованості еволюційної економіки і бажаного розвитку (перебігу) подій.

Література

1. *Клейнер Г. Б.* Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // Экономика и матем. методы. — 2001. — Т. 37. — № 3. — С. 111—126.
2. *Вітлінський В. В.* Моделювання економіки: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 408 с.
3. *Занг В. Б.* Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 390 с.
4. *Тарасевич В. М.* Економічна синергетика: концептуальні аспекти // Економіка і прогнозування. — 2002. — № 4. — С. 56—69.
5. *Кульчицький В. Б.* Економічні системи суспільства: теорія, методологія, типологізація: Монографія. — Львів: Видав. центр Львівськ. нац. ун-тету ім. І. Франка, 2003. — 392 с.
6. *Решетило В. П.* Синергетическая парадигма и формирование нелинейного стиля экономического мышления // Экономическая теория. — 2004. — № 4. — С. 3—21.
7. *Гальчинський А.* Методологія складних систем / А. Гальчинський // Економіка України. — 2007. — № 8. — с. 4—18.
8. *Вітлінський В. В.* Зміна парадигми в сучасній теорії економіко-математичного моделювання / В. В. Вітлінський, А. В. Матвійчук // Економіка України. — 2007. — № 11. — С. 35—43.
9. *Кривцун Л. А.* Структурні зрушення в нерівноважних економічних системах: Монографія. — Харків: НТУ «ХП», 2007. — 428 с.
10. *Гражевська Н. І.* Економічні системи епохи глобалізаційних змін: монографія / Н. І. Гражевська. — К.: Знання, 2008. — 431 с.
11. *Коляда Ю. В.* Адаптивна парадигма моделювання економічної динаміки: Монографія. — К.: КНЕУ, 2011. — 297 с.

12. Вітлінський В. В. Адаптивні економіко-математичні моделі / В. В. Вітлінський, Ю. В. Коляда // Тези доповідей: Х наук.-метод. конф. «Проблеми економічної кібернетики» з нагоди 40-ї річниці «Економічної кібернетики» в Україні, (Київ 15—17 вересня, 2005 р.) / Укр. асоціація екон. кібернетики. — Донецьк: Апекс, 2005. — С. 105—107.

13. Новиков М. Д. Об одной нелинейной модели со сложной динамикой / М. Д. Новиков, Б. М. Павлов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 15: Вычисл. матем. и киберн. — 2000. — № 2. — С. 3—7.

14. Захарченко В. П. Модели экономики курортно-рекреационных систем: Монография / Науч. ред. проф. А. И. Черняк. — Бердянск: Издатель Ткачук А. В., 2010. — 392 с.

Стаття надійшла до редакції 05.05.2011 р.

УДК 519.7

І. А. Джалладова, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

НА ШЛЯХУ ДО КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ

АНОТАЦІЯ. Наведено результати дослідження нового напрямку сучасної науки — комп'ютерної математики — з точки зору історичних, філософських, психологічних, методологічних та інших аспектів. Узагальнено різні підходи до побудови комп'ютерної математики, її місце в системі математичних дисциплін і місце в ній математичного моделювання, інформаційних технологій, системного аналізу, експертних систем, методів індуктивного висновку, теорії та методів оптимізації.

ANNOTATION. The results of the study the new trend of modern science — computer mathematics — in terms of historical, philosophical, psychological, methodological and other aspects. Generalized different approaches to building computer mathematics and its place in mathematics and place it in mathematical modeling, information technology, systems analysis, expert systems, and methods of inductive conclusion, theory and optimization methods.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. Комп'ютерна математика, інформаційні технології, системний аналіз, експертні системи, методи індуктивного висновку, теорія та методи оптимізації, САЕ-програми, кібернетика, «комп'ютерний розум».

Вступ

Комп'ютерна математика — новий науковий і прикладний напрям, який виник на перетині математики і інформати-