

УДК 334.716

А. В. Усов, д-р техн. наук, проф.; О. М. Гончаренко, канд. екон. наук, доц.

## АНАЛІЗ СИНЕРГЕТИЧНИХ ЯВИЩ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У СТІЙКОСТІ ЇЇ РОЗВИТКУ

*Проведено аналіз синергетичного впливу на стійкий розвиток підприємства. Запропоновано модель управління економічною системою для збереження стійкості її розвитку.*

### Вступ

З позицій підприємств стійкість можна розглядати як здатність системи зберігати свій працездатний стан у досягненні запланованих результатів за різних збурювальних впливів. Стійкість має забезпечуватися в будь-яких умовах і ситуаціях, що виникають у системі та у зовнішньому середовищі.

Дослідження проблеми стійкості економічної системи в умовах мінливого внутрішнього й зовнішнього середовищ набуває особливої актуальності. Для її вирішення необхідні глибокі економічні дослідження, розробка нових механізмів і методичних підходів управління й діагностики.

### Основний текст

В умовах невизначеності економічна система має бути сприйнятливою як до кількісної, так і до евристичної інформації.

Методичною базою вивчення й управління взаємозалежними процесами, що відбуваються у складних, багатокомпонентних економічних структурах, до яких належать підприємства, служить системний підхід. У рамках системного підходу виділяють низку складових:

- теорія організації, що вивчає процеси самоосвіти та їх закономірності через поняття мети як головного системотворчого фактора (загальна мета — цілісність);
- кібернетика, що вивчає процеси керування — досягнення заданого стану системи до-вільної природи;
- синергетика, що вивчає складні нерівноважні системи й нелінійні процеси, які відбу-ваються у них.

Дослідження самоорганізації економічних систем передбачає розгляд таких понять, як аттрактори, біфуркація, фрактали, що властиві синергетиці.

Проведення паралелей між синергетикою й стійкістю економічних систем досить но-ваторські.

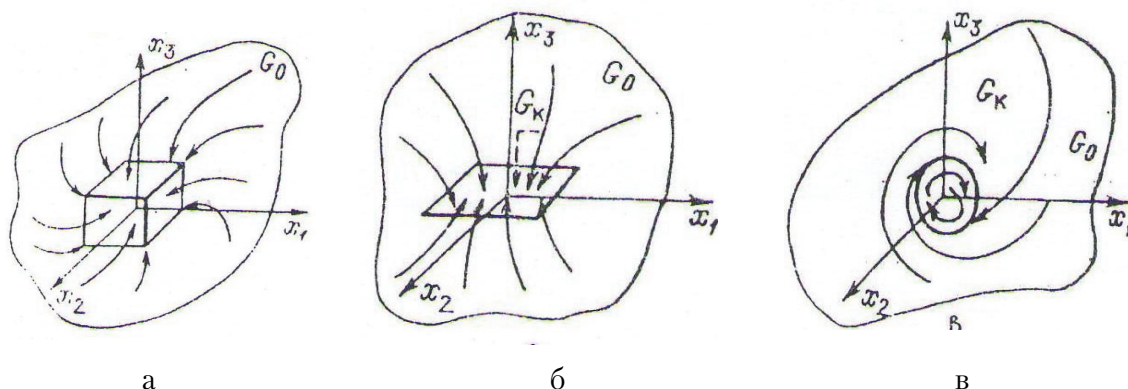
*Метою статті* є дослідження синергетичних явищ економічної системи та їх ролі у стій-кості розвитку цієї системи.

Синергетику визначають як науку про самоорганізацію або, більш розгорнуто, про мимовільне виникнення й самопідтримку впорядкованих тимчасових і просторових структур у відкритих нелінійних системах різної природи [1–3]. Нелінійними називають такі системи, характеристики яких залежать від процесів, що відбуваються в них. Термін «нелінійна систе-ма» означає, що на властивості певної системи значний вплив має інтенсивність процесів у цій системі.

Одним з фундаментальних завдань синергетики є пошук власних функцій нелінійного се-редовища, тобто стійких способів організації внутрішніх процесів, які їй адекватні й до яких еволюціонують усі інші стани середовища. Закон розвитку відкритих нелінійних систем по-лягає в тому, що теоретично доведена принципова множинність шляхів їх саморозвитку. Та саме середовище здатне містити в собі безліч форм і шляхів їх розвитку, а якщо це так, то мо-жна зробити висновок, що немає твердого детермінізму, зумовленості й заданості.

Кінцеву область неминучого сходження фазових траєкторій руху складної системи нази-вають у синергетиці аттрактором. Аттрактори характеризуються, їхніми зображеннями у фазо-

вому просторі, так званими фазовими портретами. Під атракторами розуміються реальні структури в просторі стану й часу, на які виходять процеси самоорганізації в економічних системах. Тобто, під атрактором у синергетиці розуміють відносно стійкий стан системи, який наче притягує (лат. : *atrahere* – притягати) до себе всю безліч «траєкторій» системи, обумовлених різними початковими умовами (рис.).



Зображення атракторів системи у синергетиці

Атракторами може бути або точка (стійкий фокус), або інше, складніше утворення. Як вже відмічалось авторами, існують дивні атрактори, коли траєкторії системи роблять довільні, що не піддаються регулярному опису, блукання всередині певної області.

Атрактор має область притягання, безліч початкових точок, таких, що зі збільшенням часу всі фазові траєкторії, що почалися в них, прагнуть саме до цього атрактора. Основними типами атракторів є стійкі граничні точки, стійкі цикли (траєкторія прагне до деякої замкненої кривої) і тори (до поверхні яких наближається траєкторія). Рух точки в таких випадках має періодичний або квазіперіодичний характер.

Короткий момент нестійкості, балансування системи на межі вибору між майбутніми станами (розгалуженням шляху), коли доля всієї системи може залежати від вторгнення однієї випадкової флуктуації, називається в синергетиці біфуркацією. Дисипативні структури в стані нестійкості можуть виявитися чутливими до випадкових (навіть найменших) збурювань у середовищі. Шлях еволюції стає визначеним тільки після проходження точки біфуркації. У разі наближення до точки біфуркації загострюється нестійкість, породжується випадковість, а роль флуктуації багаторазово підсилюється.

Нестабільність системи, наявність у ній безлічі точок біфуркацій далеко не завжди ведуть до її руйнування. Дуже часто, особливо на високому рівні організації, розгалуження шляхів еволюції й можливість зміни режимів функціонування відіграє для системи конструктивну роль. Чим більше в системі ступенів свободи, тим більше вона здатна до «самопідтягування» і самоускладнення, підвищення рівня впорядкованості. У цьому й полягає значення формули «порядок через хаос» [4–7].

Методика визначення атракторів і точок біфуркації у функціонуванні економічних систем перебуває на стадії постановки завдання дослідження. Особливе місце займають зовнішні умови, що впливають на економічну систему. Вони визначають синергетичні процеси, які можуть вивести систему зі стану рівноваги.

З позицій підприємств стійкість можна розглядати як здатність системи зберігати свій працездатний стан по досягненню запланованих результатів за різних збурювальних впливів. Стійкість має забезпечуватися в будь-яких умовах і ситуаціях, що виникають у системі й у навколишньому середовищі. Збурювання може викликати тимчасові відхилення координат стану системи в межах заздалегідь визначених допусків, але з припиненням впливів стійка система має повертатися у початкове положення. Тому головними завданнями, які мають бути вирішені в першу чергу, є:

– виявлення процесу самоорганізації системи, побудова математичної моделі її самовідновлення;

- розробка механізму сталого розвитку підприємства;
- розробка основних напрямків сталого розвитку підприємства.

Система управління – це система, завданням якої є вироблення й реалізація управлінських впливів, або розв'язків, для формування необхідної поведінки керованої системи (або об'єкта управління) в умовах різних впливів навколишнього середовища для досягнення сформульованих цілей.

Наявність структурної стійкості економічної системи залежить від того, які властивості і які збурювання впливають на цю систему. Одна зі стандартних схем розгляду проблеми структурної стійкості економічної системи має вигляд

$$\dot{x}(t) = F(t, x), \quad (1)$$

де  $\dot{x}$  – вектор динамічного розвитку системи;  $f$  – вектор вихідного стану.

Для збурювання, що діє на економічну систему, маємо

$$\dot{x}(t) = f(t, x) + \xi(x). \quad (2)$$

Система (1) вважається структурно стійкою, якщо за будь-яким  $\varepsilon > 0$  можна знайти таке  $\delta > 0$ , що для збурювання  $\xi(x)$ , що задовольняє умову незначних збурень, існує гомеоморфізм фазового простору, який зрушує точки не більш ніж на  $\varepsilon$  і переводить траєкторії незбуреної системи (1) у траєкторії збуреної системи:

$$\sum_i \left\{ |\xi_i| + \sum_j \left| \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} \right| \right\} < \delta,$$

де  $\xi_j$  – координати вектора збурень, що діють на економічну систему.

Вимога структурної стійкості для економічних систем суттєво спрощує можливі структури розбивки фазового простору так, що всі вони стають доступними для огляду, і кожна з них визначається кінцевим числом особливих фазових траєкторій. Для структурної стійкості економічних систем необхідним і достатнім є виконання таких умов: кінцеве число положень рівноваги, які є простими й серед яких немає центра; відсутні сепаратрисы, що з'єднують два сідла; кінцеве число замкнених траєкторій, кожна з яких являє собою граничний цикл, стійкий або нестійкий одночасно по обидва боки.

Біфуркацією (від лат. bifurcus – роздвоєний) у разі переходу параметра  $\varepsilon$  через критичне значення  $\varepsilon_0$  називають якісну перебудову економічної системи  $\dot{x} = f(x, \varepsilon)$ .

Розглянемо можливість управління економічною системою з урахуванням синергетичних явищ. Об'єкт дослідження – підприємство, функціонування якого характеризується економічними показниками. Макропараметри підприємства характеризуються системою функцій  $x(t)$ ,  $y(t)$ .

Домінуючі економічні характеристики підприємства та їх функціональні зв'язки позначимо співвідношеннями

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = F_1(t, x, y); \\ \dot{y}(t) = F_2(t, x, y). \end{cases} \quad (3)$$

Розглянемо керовану систему, економічні процеси якої відбуваються у проміжку часу  $[0, T]$ :

$$\frac{dX}{dT} = \bar{F}(t, x, u), \quad (4)$$

де  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор економічного стану розглянутого об'єкта;  $U = (u_1, u_2, \dots, u_r)$  – вектор управління економічними процесами.

Економічні процеси відбуваються у проміжку часу  $[0, T]$ , причому відомо початковий стан системи

$$X(0) = X_0 = (x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n). \quad (5)$$

Нехай  $S$  — деяка поверхня мікропараметрів у просторі змінних,  $t, x_1, x_2, \dots, x_n$ , що задається рівнянням

$$S(t, x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (6)$$

Будемо вважати, що в математичній моделі економічного процесу (4) програма управління  $\tilde{u}(t)$  узгоджується із траєкторією  $\tilde{X}(t)$ . Щоб знайти  $\tilde{X}(t)$ , потрібно підставити  $\tilde{u}(t)$  в систему рівнянь (3) і розв'язати для системи, що отримана, задачу Коші з початковою умовою (5). Завдання управління полягає у виборі  $\tilde{u}(t) \in G$  так, щоб у деякий момент  $t$ , інтегральна крива системи (4) досягала поверхні  $S$ . При цьому управління  $(u_1, u_2, \dots, u_r)$  й фазові координати  $x_1, x_2, \dots, x_n$  мають задовольняти обмеження

$$V_j(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, t) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

( $V_j$  можуть бути, зокрема, функціоналами).

Економічні процеси, що відбуваються в часі  $t$ , приводять до задачі вибору керуючих параметрів. Функція  $v(t, x_1, \dots, x_n)$  може трактуватися в певному економічному сенсі як відстань від перехідного процесу до бажаного його кінцевого стану (поверхня  $S$ ). Роль системи управління економічним станом підприємства зводиться до того, щоб цю відстань зменшувати. Ця умова еквівалентна тому, що підприємство виходить на заданий рівень, що забезпечує стійкість його економічних показників, долаючи вплив синергетичних явищ.

Таким чином, для розв'язання задачі забезпечення економічної стійкості функціонування підприємства необхідно здійснити вибір вектора змінних, побудувати модель зв'язків макропараметрів у вигляді системи диференціальних рівнянь, сформулювати обмеження по домінуючим змінним, що належать до мікропараметрів економічної системи.

Кінцевою метою оптимального керування є максимізація ефективності функціонування підприємства в умовах невизначеності зі збереженням стійкості економічної системи.

В процесі дослідження синергетичних явищ і процесів управління часто виникає необхідність забезпечення стійкості з урахуванням можливих відхилень параметрів від заданих номінальних значень. У таких випадках зазвичай використовують складні адаптивні алгоритми управління, хоча в деяких ситуаціях процес із невизначеними параметрами можна зробити стійким, застосовуючи простіший закон управління, що гарантує збереження в замкненій системі необхідних властивостей за будь-яких припустимих змін параметрів.

## Висновки

Використання для аналізу стійкості функціонування економічних систем моделей, що враховують динаміку стану і керованість, відкриває широкі можливості формалізованого опису таких систем і застосування до них критеріїв стійкості. Враховуючи відносну легкість реалізації певних критеріїв, можна зазначити, що це дозволить відслідковувати стійкість функціонування економічної системи в динаміці у режимі реального часу.

Стійкість системи — це необхідна, але не достатня умова ефективного функціонування системи управління. Система має характеризуватися ще певною якістю. Якість управління — це властивість системи управління, яка визначається характеристиками процесу руху системи до заданого цільового стану й рівнем досягнення заданого цільового стану.

Проведений аналіз розкриває сутність стійкого функціонування системи (підприємства) і дозволяє глибше усвідомити механізм втрати й відновлення стійкості за рахунок переходу системи «у саму себе», тобто носить іманентний характер. Роль структурної стійкості економічної системи зводиться до: забезпечення стрибкоподібних перемикань (фа-

зових переходів) між стійкими циклічними аттракторами, що виступають у якості об'єктивно співіснуючих альтернативних шляхів розвитку економічної системи; створення бифуркацій, що призводять до зміни числа й властивостей стійких циклічних траєкторій, потенційно можливих для економіки в кожний конкретний момент часу.

Керуючі впливи, що спрямовуються на внутрішні змінні параметри, можуть протистояти зовнішнім збурюванням і адаптувати систему до цих збурень, відновлюючи її стійкість, тобто повертати систему в попередній стан, у якому перебувала система до впливу зовнішніх факторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аршинов В. И. Синергетика как феномен постнеоклассической науки / В. И. Аршинов. — М. : ИФ РАН, 1999. — 203 с.
2. Данилов Ю. А. Нелинейная динамика: Пуанкаре и Мандельштам / Ю. А. Данилов // Нелинейные волны. Динамика и эволюция — М. : Наука, 1989. — С. 5—15.
3. Добронравова И. С. Синергетика: становление нелинейного мышления / И. С. Добронравова. — К. : Лыбидь, 1990. — 150 с.
4. Василенко А. В. Менеджмент устойчивого развития предприятия : моногр. / А. В. Василенко. — К. : ЦУЛ, 2005. — 648 с.
5. Босс В. Лекции по математике: дифференциальные уравнения / В. Босс. — М. : Едиториал УРСС, 2004. — 208 с.
6. Курдюмов С. П. Синергетика — теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы / С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. — М. : Знание, 1983. — 78 с.
7. Майер Дж. М. Основні проблеми економіки розвитку / Дж. М. Майер, Дж. Е. Раух, А. Філіпченко. — К. : Либідь, 2003. — 688 с.

Рекомендована кафедрою автоматичної та інформаційно-виміральної техніки

Стаття надійшла до редакції 26.10.12  
Рекомендована до друку 6.11.12

**Усов Анатолій Васильович** — завідувач кафедри.

Кафедра вищої математики й моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса;

**Гончаренко Олена Миколаївна** — доцент кафедри фінансового менеджменту та фондового ринку.

Одеський національний економічний університет, Одеса