

МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОВАГИ МІКРОЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

У роботі запропоновано економіко-математичну модель прогнозування хаосу мікроекономічної системи з урахування міри хаотичності в поведінці траєкторій розвитку підприємства. Отримані результати дозволяють визначити зони нестійкості підприємства та здійснити відповідні управлінські заходи щодо вибору більш ефективної траєкторії розвитку.

Постановка проблеми. Промислове підприємство – складна нерівноважна система, що саморозвивається і самоорганізується. Складність, багатофакторність і суперечність розвитку підприємства, взаємозалежність економічних, виробничих і управлінських процесів наводить на думку, що цей розвиток неможливо описати простими універсальними законами. Проте, еволюція підприємства як відкритої нерівноважної системи, підкоряється законам нелінійної динаміки та синергетики. Застосовуючи методи та теоретичні положення синергетики, визначаючи параметри соціально-економічного розвитку, що відповідають тому або іншому ієрархічному рівню організації, та головні діючі сили, можна створювати досить прості моделі, які здатні адекватно описувати та передбачати сценарії розвитку того або іншого мікроекономічного процесу.

Еволюція складних нелінійних економічних систем – тривалий еволюційний перехід від одного нестійкого стану до іншого з можливим переходом до режиму динамічного хаосу (катастрофи). Концепції нелінійності та біфуркацій дають можливість досліджувати такі системи і використати динамічні ряди статистичних параметрів для побудови динамічних моделей у вигляді нелінійних диференціальних рівнянь.

Промислове підприємство здатне до незворотного якісного розвитку. Продуктивні сили (працівники підприємства) здатні використати нові засоби реалізації своїх інтересів (нові технології, інструменти управління тощо). Але процеси якісної еволюції складної економічної системи дуже проблематично моделювати – виникає необхідність періодично перебудовувати модель. Внутрішня структура підприємства як економічної системи припускає безперервну зміну її стану шляхом оборотних і безповоротних змін, які відбуваються у вигляді самоорганізації, характерної для процесів розвитку системи. Фактично, властивість самоорганізації – це загальна форма існування матерії, обумовлена її зміною в просторі та в часі. Форми самоорганізації підприємства залежать від його взаємодії із зовнішнім середовищем. Так, закриті системи розвиваються зі збільшенням ентропії (прагнення до хаосу) відповідно до другого початку термодинаміки, а відкриті системи можуть розвиватися шляхом самоорганізації з виникненням впорядкованих структур, зменшенням ентропії.

Самоорганізація в складних системах, таких, як промислове підприємство, свідчить про неможливість нав'язування йому шляхів розвитку. Управління такою системою може розглядатися як сприяння власним тенденціям розвитку систем з урахуванням властивих їй елементів саморегуляції. Для систем, що самоорганізуються, існує декілька різних шляхів розвитку. Розвиток відбувається за рахунок конструктивних властивостей хаосу, який може виступати у якості творчого чиннику, що дозволяє вийти системі на новий, більш високий ступінь на основі об'єднання простих структур в більш складні. Чим складніше системи, тим більш високий рівень мають процеси самоорганізації. А самоорганізація – це виникнення порядку з хаосу.

Аналіз останніх досліджень. Використання парадигми «динамічного хаосу» розвитку складних економічних систем притягнуло увагу багатьох дослідників. Значний внесок у формування сучасної теорії хаотичних коливань внесли А. Пуанкаре, Ф. Холмс, Д. Рюель, Ф. Текенс, О. Ліхтенберг, М. Ліberman, П.С. Ланда, Ю.І. Неймарк, О.М. Шарковський та інші. У. Брок, Б. ЛеБарон, Х. Шейнкман, Р. Дій, Дж. Рамсей, У. Дечерт, Д. Ший були в числі перших дослідників хаосу в економіці. Але проблемам управління хаосом на рівні мікроекономічної системи й досі не вирішена. В той же час, інтерпретація хаосу як системній структуризації нелінійних змін і біфуркацій дозволяє виявляти парадокси розвитку підприємства. Ця проблема вимагає не лише формалізованого представлення, але й адекватного методологічного забезпечення.

Мета статті – розробка економіко-математичної моделі прогнозування хаосу мікроекономічної системи з урахування міри хаотичності в поведінці траєкторій розвитку підприємства.

Основний матеріал дослідження. Основними властивостями динамічних систем в стані детермінованого хаосу є чутлива залежність режиму функціонування від скільки завгодно малих змін початкових умов. Ця обставина веде до втрати детермінованої передбачуваності та необхідності вводити імовірнісні характеристики для опису таких систем.

Дослідження показують, що спочатку в динамічних системах спостерігається монотонна й асимптотична збіжність до динамічної рівноваги. Реальні динамічні системи можуть функціонувати в режимі неперіодичних хаотичних пульсацій у відсутність випадкових сил. Хаотичні коливання практично не відрізняються від реалізації випадкових процесів, але є детерміновано визначеними.

Моделювання такої ситуації не викликає особливих труднощів навіть при використанні статистичних методів. Але, подальший якісний розвиток приведе до загасаючих коливань й виникнення циклічності, появи біфуркацій та переходу до скінчених циклів різних періодів. Застосування статистичних методів у цьому випадку досить ускладнено, не говорячи вже про випадок виникнення хаосу.

Хаос являє собою чітко детермінований процес, що зовні реалізує здавалося випадкову поведінку. Хаос – неповторювана, аперіодична, нестабільна та непередбачена поведінка системи. На мікрорівні хаос – це не руйнівний чинник, а сила, що виводить систему на той або інший шлях структурування. Таким чином, хаос – це чинник оновлення складної економічної системи.

Хаос як складний взаємозв'язок елементів порядку і безладу в складних економічних системах виконує ряд важливих функцій в процесах самоорганізації та самоврядування:

- механізм виходу на траєкторію самоорганізації відкритого нелінійного середовища, на одну з потенційно можливих;
- спосіб синхронізації темпів еволюції підсистем складної системи і тим самим спосіб збереження її цілісності;
- балансування на краю хаосу є способом підтримки складної організації, способом побудови складних коеволюційних станів в економіці [1];
- чинник пристосування до мінливих умов довкілля, підготовки до різних варіантів майбутнього розвитку;
- хаотичність, розкиданість, різноманітність елементів – основа досягнення їх єдності, організації (єдність через різноманітність як принцип теорії систем, порядок через хаос [2], порядок через шум [3], організуюча випадковість [4]);
- стимул, поштовх еволюції, вихід з еволюційної безвиході;
- на стадії спаду активності та зростання дисипативних, розсіювальних, хаотичних процесів можуть встановлюватися нові зв'язки, виникати нові структури, ініціюватися процеси морфогенезу.

Хаотичну поведінку економічних систем можна виявити в моделях, що є простими диференціальними рівняннями, з чого виходить, що хаос може мати детерміновану

природу. Отже, хаос генерується саме нелінійним характером системи. У теорії катастроф відомі сценарії переходу нелінійних систем до хаосу. Завдання дослідження нерівноваги економічних систем, включаючи кризові, критичні стани полягає в побудові математичних моделей на основі динамічних рядів найважливіших економічних параметрів і визначенні типів можливих катастроф.

Дослідження механізмів і способів переходу до хаосу відіграє важливу роль на практиці, оскільки у ряді випадків дозволяє передбачити можливість настання хаотичного режиму поведінки динамічної системи при зміні параметрів, що управляють. Усього може бути розглянутий три сценарії, які описують найбільш усвідомлені механізми прояву хаотичної поведінки динамічної системи невеликої розмірності, головний з яких – перехід до хаосу через каскад біфуркацій подвоєння періоду – сценарій Фейхенбаума. Сценарії описують поведінку системи на межі регулярного та хаотичного режиму, тобто поблизу критичного значення параметра, що управляє, коли еволюція системи ще не повністю безладна, але вже й не цілком регулярна. Таке детальне вивчення околиці точки переходу до хаосу можна образно назвати «розпаковуванням» точки біфуркації, що розділяє регулярний та нерегулярний рух системи, розглядом критичної точки.

Сутність пропонованого підходу до прогнозування хаосу мікроекономічної системи полягає в наступному:

- спрямований на практичне застосування для короткострокового прогнозування;
- завдання ставиться в загальному вигляді інтегрально-диференціальних рівнянь з відповідними граничними умовами, при цьому існує можливість постійної корекції початкових умов відповідно до реальних змін, що відбуваються в системі;
- особлива роль приділяється побудові сценаріїв розвитку підприємства при тій або іншій зовнішній дії, цей принцип дозволяє оцінити наслідки інноваційних проєктів, що міняють умови діяльності підприємства та дати відповідні рекомендації щодо реалізації стратегії розвитку;
- мається на увазі, що підприємство з заданим набором параметрів існує дуже невеликий проміжок часу, параметри, що визначають фазовий портрет системи, безперервно міняються.

Мікроекономічна модель має бути реальною з точки зору економічних взаємодій та не повинна суперечити практичним даним. Це означає, що вона, по-перше, вона повинна правильно описувати основні взаємодії, по-друге, передбачати можливість якісної зміни виробничого процесу при певному значенні деякого керуючого параметра (наприклад, зміни попиту в умовах конкуренції). З математичної точки зору це означає відповідний аналіз фазового портрета модельної системи, пошук біфуркацій.

В той же час модель має бути відносно простою та не переобтяженою великою кількістю параметрів (як внутрішніх, так і зовнішніх).

У загальному вигляді модель прогнозування хаосу мікроекономічної системи подана на рисунку 1.

Мірою хаосу служить ентропія. Ентропія – це міра невизначеності, тобто фізична величина, що характеризує міру внутрішньої неупорядкованості системи. Ентропія – найважливіша характеристика хаотичного руху у фазовому просторі довільної розмірності – міра безладу в цій системі. Г. Шустер [5] відмічає, що ентропію Колмогорова K_0 , що показує «наскільки хаотична динамічна система», також можна визначити формулою Шенона, так що K_0 пропорційна швидкості втрати інформації про стан динамічної системи з часом. Визначення ентропії – необхідний елемент комплексного аналізу на детермінований хаос, і може бути використано в аналізі фазових переходів в різних системах.

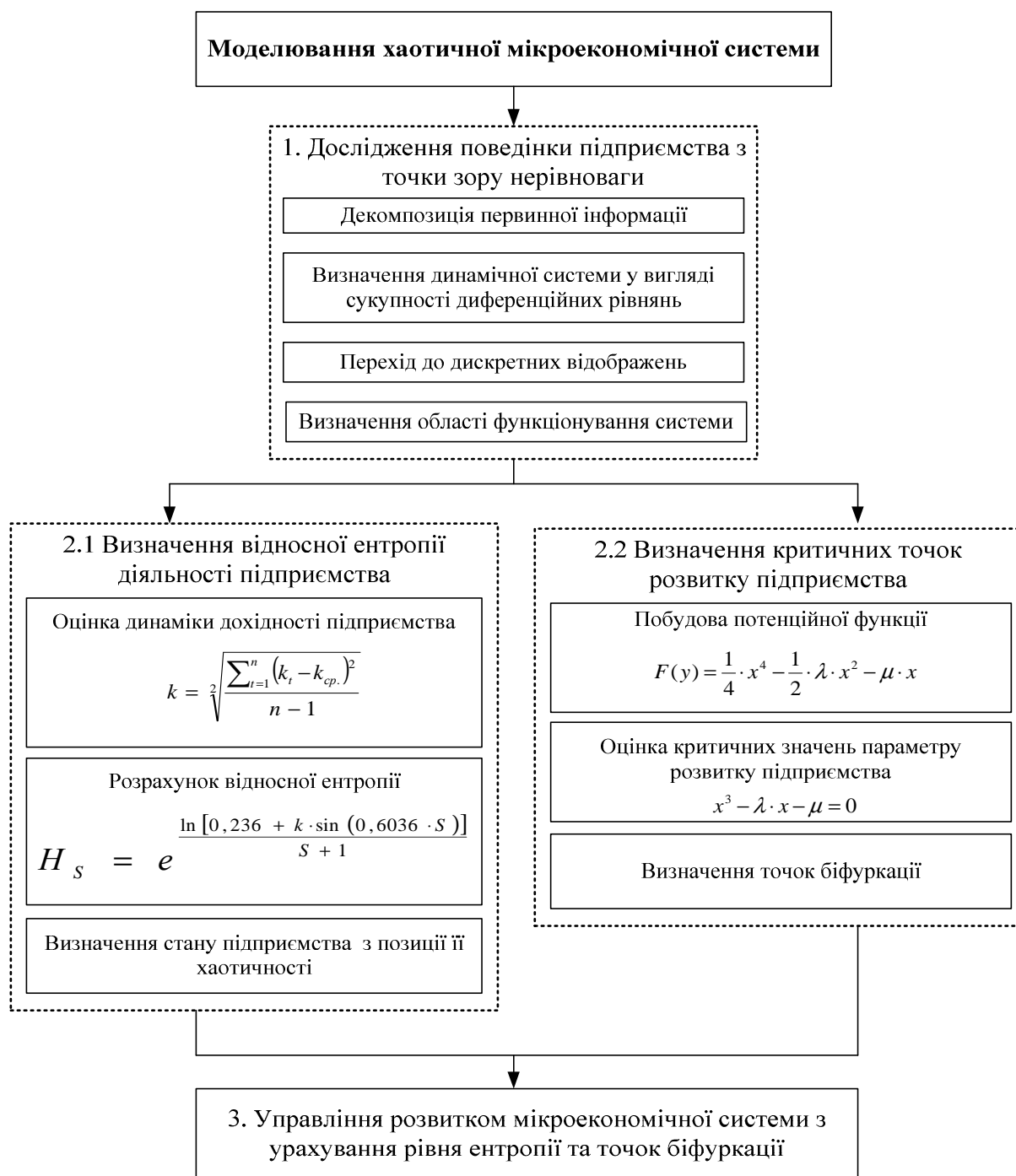


Рисунок 1 – Модель прогнозування хаосу мікроекономічної системи

При визначенні ентропії у вигляді $S = K_0(t \rightarrow \infty)$ зі скільки завгодно великою точністю огрублення фазового простору $\mu \rightarrow 0$ ентропія максимуму не досягає. Точне пророцтво станів нелінійної системи можливе тільки на інтервалі часу t_r , а на часах, великих t_r , можливі лише статистичні пророцтва. Для одновимірного відображення ентропія дорівнює позитивним значенням показника Ляпунова: $K_0 = \lambda > 0$ [1].

Ентропія може служити своєрідним індикатором періодичної (квазіперіодичного) поведінки параметра порядку ($K_0 = 0$), хаотичного ($K_0 > 0$) і випадкового ($K_0 \rightarrow \infty$). Для регулярного руху спочатку близькі точки залишаються близькими. Для хаотичного руху – розходяться експоненціально. Для випадкового – розподіляються з рівною імовірністю по усіх можливих інтервалах.

Таким чином, для прогнозування можливості виникнення хаотичного стану мікроекономічної системи необхідно визначити діапазони значень ентропії. Названі діапазони значень отримані Метельовим А.Є. [7] й наведені в таблиці 1.

Зміни відносної ентропії мікроекономічної системи залежно від S (від порядкового номеру періоду, що досліджується) пропонується розраховувати за формулою [7]:

$$H_S = e^{\frac{\ln [0,236 + k \cdot \sin (0,6036 \cdot S)]}{S + 1}} \quad (1)$$

де H_S – зміни величини відносної ентропії залежно від k та S ;

k – доходність підприємства, виражена в десяткових одиницях.

Параметр k визначається для кожного конкретного періоду на основі дисперсії показника відносної доходності підприємства. Оскільки минулі коливання доходності зазвичай мають властивість повторюватися, то емпірична дисперсія є цілком задовільною оцінкою майбутнього ризику.

Таблиця 1 – Діапазони значень відносної ентропії

Стан мікроекономічної системи	Діапазони значень відносної ентропії
«Збудження» системи	0,1600-0,5000
у тому числі: 1. Висока впорядкованість і структурність (діапазон стабільності); вимагає значних зусиль і внутрішньої напруги в системі	0,1600-0,3800
Нестабільність системи	0,3800-1,0000
у тому числі: 1. Зона дисгармонії	0,3800-0,5000
2. Здатність системи до самоорганізації, ресурсозберігання та ефективного функціонування	0,5000-0,6180
3. Система живе в минулому часі	0,6180-0,7780
4. Теперішній час системи	0,7780-0,8113
5. Майбутній час системи	0,8113-0,9133
6. У системі хаос, розпад структур	0,9133-1,0000

Головна ідея застосування методів хаотичної динаміки до аналізу часових рядів полягає в тому, що основна структура хаотичної системи, яка містить у собі всю інформацію про систему, а саме аттрактор динамічної системи (підмножина фазового простору, що притягує траєкторії в межі нескінченного часу), може бути відновлена через вимір тільки однієї спостережуваної характеристики цієї динамічної системи, фіксованої як часовий ряд.

Припустимо, що цей часовий ряд породжений хаотичною динамічною системою, m – найменша розмірність фазового простору, в який можна навантажити реальний аттрактор динамічної системи. Тоді за допомогою тимчасового ряду $X_n, n=1, 2, \dots, N$, «дивний» аттрактор формується з векторів $Y_n (X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+(m-1)})$ в m -мірному фазовому просторі.

Початкова інформація згортається у вигляді узагальнених економічних показників, для кожного з яких існує поняття нормативу, що називається в синергетиці «нормою хаотичності» [8]. У якості показника, який передбачається використовувати для аналізу хаотичності стану підприємства пропонується використовувати додану вартість, яка залежить від прибутків підприємства, доходу, амортизаційних відрахувань та витрат на оплату праці.

Якщо за вибраними критеріями управлінські рішення наближають стан відкритої систем до норми, то має місце процес самоорганізації, інакше – процес зародження хаосу.

Розглянемо математичну модель, в якій діє лише два керуючих параметри: λ та μ . Для однієї координати y та двох керуючих параметрів в теорії хаосу є тільки одна стандартна, канонічна залежність для запису залежності функції цілі:

$$F(y) = \frac{1}{4} \cdot x^4 - \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot x^2 - \mu \cdot x, \quad (2)$$

де x – координата стаціонарного стану (рівноваги),
 λ та μ – керуючі параметри.

Стаціонарні стани визначаються за умови екстремуму потенційної функції. Взявши першу похідну від потенційної функції з x , отримуємо рівняння для визначення стаціонарних точок:

$$x^3 - \lambda \cdot x - \mu = 0 \quad (3)$$

Мінімуми потенційної функції визначають стійкі точки рівноваги, а максимуми – нестійкі точки рівноваги. Збірка має в докризовій області один стійкий стан рівноваги, а в закритій області – два стійких та один нестійкий стан рівноваги. В залежності від зв'язку між співвідношення стійких нестійких станів потенційної функції в докризовій та закритій областях може змінюватися на протилежне. Докризова та закриті області задаються таким набором параметрів:

Величина x задає конфліктну координату або величину протиріччя [9]. Підходящим вибором керуючих параметрів, наприклад, $\lambda < 0$ та $\mu = 0$, домагаємося, щоб рівняння (3) мало один речовий корінь $x = 0$. У цьому випадку протиріччя відсутні. Потенційна функція показника розвитку підприємства може мати один мінімум, і в цій точці система володіти найбільшою стабільністю. Отже, значення потенційної функції $F(y)$ визначає величину небажаного ефекту. Чим менше небажаний ефект, тим вищі результати роботи системи.

Якщо результати діяльності підприємства не влаштовують власників та керівництво, встановлюється значення керуючого параметра λ позитивним ($\lambda > 0$). Стан рівноваги $x = 0$ стає нестійким, зате з'являються два стійких стаціонарних стани, що дають два мінімуми потенційної функції (1). Один мінімум відповідає одному стану керуючого параметру, а інший – протилежному. Результат діяльності підприємства в кожному з мінімумів збільшується в порівнянні зі станом рівноваги на величину $0,25\lambda^2$. Таким чином, в процесі управління розвитком підприємства керівництво опиняється перед вибором одного з двох стійких станів рівноваги. Процес вибору можна пояснити графічно за допомогою кривої катастрофи $\mu_{KR} = \mu_{KR}(\lambda)$.

Якщо $\lambda < 0$, то його величина визначає запас стійкості підприємства: чим менше λ , тим крутіше нахил гілок потенційної функції $F(y)$, тим складніше підприємству вибратися з потенційної «ями».

Якщо аналіз проводиться на мікроекономічному рівні, то для такої системи можна визначити область параметрів, у якій рішення веде себе хаотично, – це область детермінованого хаосу $\lambda > 0$. При $\lambda > 0$ відповідний мікроекономічний режим є локально нестійким та хаотичним; при $\lambda = 0$ – нейтрально стійким; при $\lambda < 0$ – стійким та періодичним.

Чисельні розрахунки проводилися з використанням методу Рунге-Кутти 4-го порядку. Значення параметра $\lambda = 0,34$. У системі є каскад біфуркацій подвоєння періоду, після котрого можна спостерігати аттрактор Фейгенбаума. При подальшому збільшенні біфуркаційного параметра виникають цикли подвоєного (в порівнянні з попереднім циклом) періоду.

Проте процес не закінчується виникненням аттрактора. При подальшому збільшенні біфуркаційного параметра в системі виникають цикли різних періодів відповідно до порядку Шарковського. При зменшенні значення λ , мають місце цикли різного періоду (відповідно до порядку Шарковського), що перемежаються з повністю хаотичними траєкторіями. Навпаки, при збільшенні λ спостерігатимемо каскад біфуркацій подвоєнь періоду циклу.

З метою практичної апробації моделі управління хаосом було проведено аналіз відносної ентропії господарської діяльності ПАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» (табл. 2).

Відповідно до даних таблиці 2, підприємство в 2001 і 2006 роках мало найменше значення відносної ентропії, що говорить про можливість самоорганізації підприємства за рахунок ефективнішого використання наявних ресурсів. У 2005 і 2009 роках ПАТ «КЗВВ» знаходилося в стані можливості вибору нового сценарію розвитку свого майбутнього. Якщо нова траєкторія розвитку підприємства в цей період не обрана, то підприємство переходить в зону нестабільності де зростає відносна ентропія мікроекономічної системи, що може привести до подвоєння біфуркації та посилення хаосу. За проаналізований період ПАТ «КЗВВ» вдалося уникнути стану хаосу і повного розпаду структури, проте 2003 і 2011 роки виявилися найнебезпечнішими для життєдіяльності підприємства.

Таблиця 2 – Оцінка відносної ентропії ПАТ «КЗВВ»

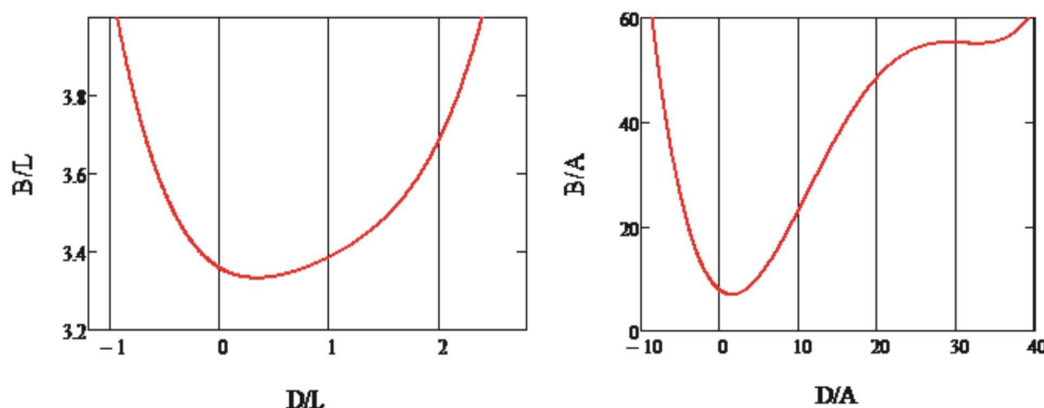
Рік	Відносна ентропія	Стан підприємства	Дані для побудови потенційної функції	
			D/L	D/A
2001	0,546	Здатність підприємства до самоорганізації	0,797	1,829
2002	0,828	Майбутній час підприємства	3,281	11,217
2003	0,910	Майбутній час підприємства	1,719	9,261
2004	0,895	Майбутній час підприємства	2,686	12,048
2005	0,810	Теперішній час підприємства	2,180	29,389
2006	0,601	Здатність підприємства до самоорганізації	0,974	11,589
2007	0,819	Майбутній час підприємства	1,012	13,159
2008	0,847	Майбутній час підприємства	2,240	34,401
2009	0,810	Теперішній час підприємства	1,643	5,581
2010	0,824	Майбутній час підприємства	0,602	1,409
2011	0,911	Майбутній час підприємства	-0,753	-2,488

Обробка експериментальних даних для прогнозування хаосу проводиться методом найменших квадратів у вигляді потенційних функцій, що використовуються в теорії біфуркації (приведені показники обробляються поліномом 4-го ступеня). Параметри поліному визначаються на основі аналізу статистичних даних діяльності підприємства. Такий поліном дає три точки рівноваги, дві з яких можуть бути стійкими та одна – може стати нестійкою [10**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Одержані результати підтверджено побудовою трендових кривих з високим ступенем апроксимації, точки нерівноваги яких співпадають з критичними точками потенційних функцій. В процесі дослідження за допомогою програми Matcad одержано графічну інтерпретацію визначення точок біфуркації. Діаграма катастрофи з точкою повернення, на яких показано криві по керуючим показникам фонду оплати праці та амортизаційних відрахувань, задовольняють рівнянню для параметрів потенційних функцій. Геометричне місце кожної з точок повернення у фазовому просторі існує тільки одне екстремальне значення. Так з рисунку 2 можна бачити, що потенційні функції мають по два мінімуми та одному максимуму у відповідних точках. Причому лівий екстремум відповідає умові рівноваги системи при малих витратах на оплату праці або амортизаційні відрахування, а правий – великим витратам. Інтервал між мінімальними значеннями приведеної функції відповідає стану нерівноваги та складає зону біфуркації розвитку підприємства.

Проаналізувавши точки біфуркації потенційних функцій можна визначити, що найбільш привабливим для ПАТ «КЗВВ» з позиції зміни траєкторії розвитку був період 2009-2010 років – вибір нової траєкторії доцільно здійснювати за параметром управління витратами на оплату праці, та 2005 й 2008 роки – за параметром використання основних фондів підприємства. Отримані результати співпадають з розрахунковими періодами збільшення відносної ентропії.

Управління економічною системою полягає у відборі траєкторії еволюційного розвитку, яке може здійснюватися через залежність «коефіцієнтів» нелінійного рівняння від мікроекономічних параметрів економічної системи.



	По фонду оплати праці (D/L)	По амортизаційним відрахуванням (D/A)
Потенційна функція	$D/L = 3,358 - 0,17x + 0,335x^2 - 0,188x^3 + 0,052x^4$	$D/A = 7,802 - 1,181x + 0,42x^2 - 0,017x^3 + 0,0002019x^4$
Критичні точки	$x_1=0,332; x_2=0,914; x_3=1,38$	$x_1=1,7; x_2=21,05; x_3=34,8$

Рисунок 2 – Потенційні функції розвитку ПАТ «КЗВВ»

(D – додана вартість, L – витрати на оплату праці, A – амортизаційні відрахування)

Здійснення управлінських заходів саме в момент зростання відносної ентропії та кризи в діяльності підприємства, дозволяє отримати синергетичний ефект за рахунок управління швидкостями економічних процесів з найменшими витратами. У якості чинників управління підприємством в цей час можуть бути технологія, транспортно-складська інфраструктура, обіговість обігових коштів, оновлення основних фондів, фінансова та виробнича логістика, організаційна структура підприємства, менеджмент, маркетинг, соціально-психологічний клімат тощо. На різних етапах розвитку домінуючими можуть бути різні чинники.

У цій статті розглянуті питання існування хаосу в аналізі деяких показників в мікроекономічних системах. У якості наочного прикладу хаосу промислового підприємства було досліджено динаміку показників господарської діяльності. Майбутнє зумовлене минулим, але на практиці зі збільшенням часу прогнози погіршуються. Реально існуючі статистичні часові ряди в мікроекономічних системах можуть вивчатися без яких-небудь посилянь на довільно постульовані зовнішні дії. Це підтверджується аналізом доданої вартості, який був продемонстрований в цій статті.

Література

1. Kauffman S. At home in the universe / S. Kauffman // Oxford University Press, New York. 1995. – 321 p.
2. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс ; пер. с англ. / общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климентовича, Ю. В. Сачкова. – М. : Прогресс, 1986. – 432 с.
3. Foerster H. von, Porksen B. Wahrheit ist die Erfindung eines Lugners. Gespräche für Skeptiker. / H. von Foerster, B. Porksen. – Heidelberg: Carl-Auer-Systeme, 1998. – S. 67-71.
4. Князева Е. Н. Коэволюция сложных социальных структур: баланс доли самоорганизации и хаоса [Электронный ресурс] / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/КнязеваKurdyumov11.htm>
5. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. / Г. Шустер. – М. : Мир, 1988. – 240 с.
6. Климонтович Ю. Л. Энтропия и информация открытых систем / Ю. Л. Климонтович. – УФН. – Т. 169. – 1999. – С. 443-452.

7. Метелёв А. Е. Теория хаоса в банке: сборник научных статей / под ред. С. Е. Метелёва. – Омск : Изд-во Омского института (филиала) РГТЭУ, 2011. – 173 с.
8. Быстрай Г. П. Методы синергетики в анализе структурных сдвигов в промышленности: разработка унифицированных моделей и алгоритмов анализа устойчивости текущих состояний в условиях внешнего и внутреннего управления / Г. П. Быстрай // Вестник кибернетики. Тюмень : Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. – Вып. 2. – С. 71-88.
9. Горский Ю. М. Основы гомеостатики. Гармония и дисгармония в живых, природных, социальных и искусственных системах / Ю. М. Горский. – Иркутск : ИГЭА, 1998. – 337 с.
10. Акофф Р. Л. Системы, организации и междисциплинарные исследования / Р. Л. Акофф // Системные исследования : ежегодник. – М. : Прогресс, 1969. – С. 143-164.

Іваненко Л.В.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА НА РОЗВИТОК ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ

Обґрунтовано необхідність розвитку методичного апарату оптимізації інвестицій в людський капітал на мікрорівні. Визначені критерії оптимізації та представлено інтерпретацію економіко-математичної моделі, яка дозволяє на основі максимізації функції сукупної корисності людського капіталу підприємства у складі інтелектуального здійснювати ефективно інвестування в його розвиток.

Інформатизація суспільства і економіки, підвищення ролі інтелектуального капіталу в процесі формування результатів діяльності підприємств на міжнародному, загальнодержавному та регіональному рівнях актуалізують питання, пов'язані з пошуком і ефективних методів оцінки вартості інтелектуального капіталу та адаптацією існуючих моделей оптимізації інвестицій у розвиток таких його складових як людський капітал та структурний капітал.

Концептуальна та структурна характеристика людського капіталу, обґрунтовані сучасними авторами [5,13]. Запас здоров'я, знань, навичок, здібностей, мотивацій, який був попередньо сформований в результаті інвестицій і цілеспрямовано використовується, забезпечуючи зростання продуктивності праці, виробництва та росту доходів окремих індивідів вважається людським капіталом. Головною відмінністю людського капіталу від уречевленого визнається його втілення в людині і неможливість продажу, передачі у спадок, як гроші або матеріальні цінності. Прийнято виокремлювати такі його структурні елементи, як капітал здоров'я, трудовий капітал, інтелектуальний капітал, організаційно підприємницький капітал та культурно-етичний [11,7,9].