

До проблеми запобігання хаосу економічних систем

Касьянова Н.В.

доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри економічної кібернетики
Національного авіаційного університету

Кавун І.С.

магістрант
Національного авіаційного університету

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні доцільності використання теорії хаосу в процесі управління промисловими підприємствами. Отримана модель катастрофи підприємства є детермінованою по відношенню до моделі розвитку, що дозволяє зробити висновок про стійку нерівновагу розвитку підприємства. Практичне застосування моделі дозволяє оцінити можливі зміни стійкості розвитку підприємства під впливом визначальних критеріїв оцінки. Одним з інструментів управління хаосом пропонується вважати хаос-інжиніринг – метод проведення планових експериментів, які показують, як система може вести себе в результаті збурень. Впровадження хаос-інжинірингу дозволить передбачити можливі збурення та підготувати систему до переходу на нову траєкторію розвитку в оптимальний момент часу з мінімальними втратами.

Ключові слова: мікроекономічна система, розвиток підприємства, теорія хаосу, катастрофа, хаос-інжиніринг.

Касьянова Н.В., Кавун И.С. К ПРОБЛЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ХАОСА ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель исследования заключается в обосновании целесообразности использования теории хаоса в процессе управления промышленными предприятиями. Полученная модель катастрофы предприятия является детерминированной по отношению к модели развития, что позволяет сделать вывод об устойчивой неравновесие развития предприятия. Практическое применение модели позволяет оценить возможные изменения устойчивости развития предприятия под влиянием определяющих критериев оценки. Одним из инструментов управления хаосом предлагается считать хаос-инжиниринг – метод проведения плановых экспериментов, которые показывают, как система может вести себя в результате возмущений. Внедрение хаос-инжиниринга позволит предусмотреть возможные возмущения и подготовить систему к переходу на новую траекторию развития в оптимальный момент времени с минимальными потерями.

Ключевые слова: микроэкономическая система, развитие предприятия, теория хаоса, катастрофа, хаос-инжиниринг.

Kasianova N.V., Kavun I.S. TO THE PROBLEM OF PREVENTION OF CHAOS ECONOMIC SYSTEMS

The purpose of the study is to substantiate the feasibility of using the theory of chaos in the process of managing the industrial enterprises. The resulting model of the company's disaster is determined in relation to the development model, which allows us to conclude that there is a steady imbalance in the development of the enterprise. The practical application of the model allows assessing the possible changes in the sustainability of enterprise development under the influence of defining evaluation criteria. One of the tools for managing chaos is proposed to be chaos engineering – a method of conducting planned experiments that show how the system can behave as a result of disturbances. The introduction of chaos engineering will allow prediction of possible perturbations and preparation the system for the transition to a new development path at the optimal time with minimal losses.

Keywords: microeconomic system, enterprise development, chaos theory, disaster, chaos engineering.

Постановка проблеми. Сучасна ситуація в світі характеризується розгортанням глобальної системної кризи, посиленням конкурентної боротьби, наростанням невизначеності, ризиків та нестабільності в усіх сферах і на всіх рівнях економіки. Серед нових, динамічних наукових напрямків XXI століття провідне місце займають концепція «керованого хаосу», теорії «ентропійної логіки» та «ентропійної економіки». Активно розвивається новий міждисциплінарний напрямок наукових досліджень, який можна узагальнено назвати

«наукою про хаос», предметом дослідження якої є системи з нелінійною динамікою, нестійкою поведінкою, ефектами самоорганізації, наявністю хаотичних режимів та біфуркації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема управління складними системами в умовах ентропії займалися такі науковці, як Хакен Г. [1], Прігожин І. та Стенгерс І. [2], Лепський В.Є. [3], Малінецький Г. та Курдюмов С. [4], Ахромеева Т. [5]. Саме вони розробили теоретичні основи теорії хаосу, але питання використання елементів дина-

мічного хаосу до управління мікроекономічними системами сучасною наукою практично не розглядалися.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Науковий пошук йде в основному в напрямку створення математичних моделей розвитку процесів на глобальному рівні, а також питань, пов'язаних з розвитком систем. Будь-яка система зазнає кризові етапи, які характеризуються тимчасовим переважанням однієї з сил, що призводить до хаосу, що руйнує попередні структури; потім відбувається гармонізація, рівновага відновлюється, але вже в новому, якісно іншому стані. Отже, необхідно акцентувати увагу на проблемі обґрунтування використання основних положень теорії хаосу для глобального і локального моделювання економічних процесів.

Мета даного дослідження полягає в обґрунтуванні доцільності використання теорії хаосу в процесі управління промисловими підприємствами в умовах невизначеності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Традиційний підхід розглядає хаос виключно як негативну категорію, тобто основною метою будь-якого спрямованого втручання в природні, соціальні або економічні процеси є мінімізація хаосу. Однак синергетика розкриває позитивну роль хаосу. У реальній дійсності всі процеси відбуваються нерівномірно: спокійні періоди змінюються напруженими критичними станами, коли необхідно прийняти рішення про подальший розвиток системи. У такі моменти визначальну роль відіграє не порядок, а хаос. Без цієї неупорядкованої, неконтрольованої, випадкової компоненти неможливі ніякі якісні зміни, перехід системи до якісно нового стану.

Теорія хаосу говорить, що складні системи надзвичайно залежні від початкових умов і невеликі зміни в навколишньому середовищі ведуть до непередбачуваних наслідків. Математичні системи з хаотичним поведінкою є детермінованими або впорядкованими. Для математичного опису хаотичних (катастрофічних) станів застосовується поняття біфуркації. У точках біфуркації (або поліфуркації, якщо альтернативних можливостей більше двох) траєкторія можливого розвитку системи розгалужується. Між порушенням стійкості та біфуркацією існує тісний зв'язок. Зміна якісних властивостей зазвичай порушує стійкість вихідної системи, і, відповідно, у цьому випадку система повинна мати ще якісь стан, відмінний від вихідного. Значення параметрів, при яких мають місце такі якісні зміни, зазвичай

називаються біфуркаційними характеристиками системи.

Альтернативи (атрактори), які з'являються при цьому, є рівнозначними для системи і вибір гілки (шляху подальшого розвитку) залежить від випадкових флуктуацій, від факторів локального масштабу. Через малі коливання система спонтанно потрапляє до області тяжіння однієї з можливих траєкторій подальшого руху. Хаос спочатку забезпечує можливість сходу системи з колишньою траєкторією при втраті стійкості в зоні кризи, а потім допомагає підключитися до нового аттрактору, викликаючи перешкоди на цьому шляху. Саме в цьому проявляється конструктивна роль хаосу. Синергетична економіка показує, що хаос лежить в природі будь-якої економічної системи.

Побудовані з урахуванням теорії хаосу динамічні математичні моделі, що використовувалися спочатку для моделювання фізичних, а потім біологічних процесів, мають багато спільного, хоча і зберігають специфічні особливості кожної з цих наук. Зараз моделі цього класу все ширше застосовуються в соціології та економіці, особливо при описі та прогнозуванні інвестиційних процесів, які за своєю природою відрізняються нестійкістю та високим ступенем залежності від випадкових (непрогнозованих) змін зовнішнього та внутрішнього середовища.

Одна з головних проблем, що виникає при моделюванні економічних процесів, полягає тому, що на динаміку мікро- та макроекономічних показників може впливати безліч змінних, причому в більшості випадків неможливо передбачити заздалегідь, які саме параметри будуть визначати розвиток системи. Загалом в економіці прийнято вважати, що навіть якщо механізм поведінки кожної системи на мікрорівні є невизначеним і непередбачуваним, як і ведення системи в макросередовище може бути описано за допомогою узагальнених змінних, що дозволяє його аналізувати і прогнозувати з достатнім ступенем достовірності.

Будь-яка математична модель спрощує реальну ситуацію, допускаючи, що якимись ефектами (змінними) можна знехтувати. Економічна модель, що враховує вплив стохастичних чинників, повинна враховувати ступінь впливу екзогенних сил на кінцеві результати моделювання. Якщо результати моделювання вирішальним чином залежать від екзогенних стохастичних сил і в незначною мірою відчувають вплив взаємодії економічних змінних, то з наукової точки зору модель не представляє інтересу.

З іншого боку, якщо стохастичні ефекти не мають помітного впливу на якісні результати, то з точки зору традиційного підходу, стохастичні фактори можуть бути проігнорувати. Однак в синергетиці мається на увазі, що випадкові флуктуації можуть відігравати вирішальну роль у розвитку підприємства, навіть якщо сам розвиток визначається детермінованими механізмами. Еволюція залежить від причин, передбачити які з абсолютною точністю неможливе, тому впливом флуктуацій на детерміноване розвиток нехтувати не можна в будь-якій ситуації, особливо якщо детерміновані рівняння розглядаються поблизу критичних точок.

Таким чином, синергетична економіка розглядає процес розвитку складних соціально-економічних систем як взаємодія лінійності та нелінійності, стійкості та нестійкості, сталості та структурних змін. Нелінійність та нестійкість в синергетичній економіці представляються основними джерелами різноманітності та складності економічної динаміки, а не причинами появи шумів і випадкових явищ, як це прийнято в традиційній економічній науці.

Оскільки втрата стійкості мікроекономічної системи відбувається відповідно до дією стихійних механізмів розвитку, висновки теорії хаосу виявляються цілком прийнятні для аналізу умов, при яких підприємство перестав розвиватися еволюційно і вступає в фазу біфуркації. Розглянуті в цьому ракурсі висновки теорії хаосу виявляються найбільш актуальні для аналізу умов, що дозволяють уникнути небажаних біфуркацій, катастрофічної втрати стійкості системи, що і відбувається в сучасних умовах кризи.

Для фази циклу якісної зміни підприємства, пов'язаного з його переходом до нового стійкого стану, висновки теорії хаосу не можуть тлумачитися настільки однозначно і прямолінійно. Стрибокподібний одномоментний перехід системи в новий стійкий стан, гіпотетично розглянутий теорією хаосу, може стати основою для розробки рекомендацій щодо переходу до нового стійкого стану.

Теорія хаосу розглядає граничні стани підприємства в аспекті стійкості-нестійкості, тому на цій основі можна в загальному вигляді отримати лише загальне уявлення про ті умови, які супроводжують перехід підприємства з одного стану в інший, в тому числі, його стабілізації.

Висновки, які випливають з осмислення сформульованої залежності, мають істотне значення для вивчення механізмів перехідних процесів підприємства як на стадії порушення стійкості (біфуркації та кризи), так і для

набуття підприємством нового стійкого стану. Розшифрувати даний принцип стосовно до проблеми перехідних процесів можна наступним чином: для того, щоб порушити стійкість підприємства, досить впливати на окремі показники його економічного розвитку.

Найпростіша програма прогнозування елементарної катастрофи в економічній системі може бути побудована на основі даних про зв'язки змінних, які характеризують її поведінку. Функції, що описують ці зв'язки, можуть бути отримані економетричними методами.

Якщо встановлено, що між змінними, які характеризують поведінку системи, зв'язок описується поліномом третього ступеня виду

$$y = x^3 + a * x + b,$$

то можна стверджувати, що в системі можливі прояви нестійкості. Якщо ж параметр a позитивний, але має місце тенденція його зменшення, то можна вважати, що система наближається до катастрофи. В обох випадках необхідно продовжити вивчення системи і виявити умови або можливі терміни настання катастрофи, оцінити її ймовірні наслідки.

Якщо за рівнем детермінації, рівнем значущості регресійне рівняння однієї з катастроф перевершує регресійні рівняння зв'язків стало характеру, то слід вважати катастрофу можливою.

У якості об'єкту аналізу було обрано ПАТ «МОТОР СІЧ», яке займається розробкою, виробництвом, ремонтом та сервісним обслуговуванням авіаційних газотурбінних двигунів для літаків та вертольотів. На основі аналізу економічних показників діяльності підприємства оцінимо стійкість (табл.). Наведені показники дозволяють зробити висновок, про позитивні тенденції функціонування підприємства. Статистичний аналіз показав, що найбільш значущим в оцінці стійкості розвитку підприємства є значення коефіцієнта поточної ліквідності.

За вихідними даними економічних показників за 12 років була отримана найбільш детермінована модель розвитку підприємства, яка має вигляд:

$$y = x^3 - 16,185x + 24,826$$

При негативній величині параметра a функція, що описується рівнянням, являє собою немонотонну функцію. Вона має максимум і мінімум при значеннях $x = \pm\sqrt{a} = \pm 4,02$. В зв'язку з тим, що x – коефіцієнт поточної ліквідності, то його значення не може бути негативним. А функція розвитку підприємства досягне точки екстремуму (точки нестійкої рівноваги) при $x=4,02$.

Таблиця

Динаміка розвитку ПАТ «МОТОР СІЧ» за 2006-2017 р.

	Вартість активів, тис. грн	Дохід від реалізації, тис. грн	Чистий прибуток, тис. грн	Собівартість реалізованої продукції, тис. грн	ЕВІТDA margin, %	Поточна ліквідність
2006	2267439	1278964	37627	762639	15,7	1,5
2007	2924979	1800852	216263	984263	22,17	1,725
2008	3537314	2131572	3843	1326556	17,14	1,432
2009	4210663	3837706	754646	2137504	31,88	1,977
2010	6141903	5106758	1248028	2666560	34,17	2,043
2011	8182339	5891225	1344161	2927924	38,77	2,294
2012	11712209	7845558	1822865	4628489	42,17	2,805
2013	13196110	8583924	1319191	4974227	36,46	3,262
2014	16584942	10730122	1560367	5514991	53,81	2,784
2015	20756541	13830655	3399842	4907340	69,6	2,786
2016	25251032	10546323	2044097	4137864	41,73	3,197
2017	29243457	15150429	3104174	6687998	42,18	3,531

Джерело: розраховано за статистичною звітністю підприємства

Оскільки модель катастрофи ПАТ «МОТОР СІЧ» детермінована по відношенню до моделі розвитку підприємства, то можна зробити висновок про сталість розвитку за період 2006-2017 рр. Тобто економічний стан ПАТ «МОТОР СІЧ» можна охарактеризувати як сталий розвиток.

Далі, використовуючи отримані рівняння регресії, розрахуємо можливі зміни інтегрального показника при зміні його окремих показників в бік збільшення або зменшення. При цьому для рівнянь сталого розвитку відхилення показників менше 50 %, а для рівнянь нестійкого розвитку, які характеризуються аномальною дисперсією, відхилення показників становить понад 50 %. В той же час, неможливо оцінити зміна розвитку підприємства, так як розмах показника розвитку, що аналізується, варіюється від катастрофічного до відмінного в межах «одного кроку» (при зміні коефіцієнта поточної ліквідності на 50 % в той або інший бік).

Отже, практичне застосування елементів теорії катастроф дозволяє оцінити можливі зміни стійкості розвитку підприємства під впливом визначальних критеріїв оцінки, а також виявити основні позитивні напрямки зміни показників для підвищення стійкості підприємства в умовах невизначеності. Але стійкий розвиток підприємства сьогодні не гарантує відсутності катастроф завтра. Будь який незначний вплив зовнішнього середовища може призвести до втрати підприємством стану рівноваги.

У сучасному світі має особливе значення вивчення можливості управління генерацією

хаосу, поведінкою складних нелінійних систем і проявом нестабільності, а також можливості часткової детермінації поведінки системи в турбулентному світі. Теорія керованого хаосу почала розроблятися в 80-і роки минулого століття. У цій теорії визначаються засоби створення керованого хаосу систем. В ході застосування цієї теорії система штучно переводиться до стану хаосу. Керований хаос – головний елемент вибудови з хаосу точки початку нового аттрактору, переходу до нового стану порядку.

Найбільш цікавим є ефект випередження реакції системи, який можна розглядати як феномен передбачення. Так людська свідомість має доступ до інформаційних потоків ще до того моменту як подія стає тим фактом, що трапився. На думку Буданова В.Г., існують кілька типів стратегій використання керованого хаосу, які безпосередньо залежать від горизонту передбачуваності: силовий сценарій, інформаційний сценарій, стратегія утримання в зоні нового аттрактору і пасивний сценарій [6]. Вибір тієї або іншої стратегії залежить від мети, яку ставить керуюча підсистема.

Одним з можливих інструментів управління хаосом, на наш погляд, можна вважати хаос-інжиніринг (*chaos engineering*) – це фактично «ін'єкція» зовнішніми та внутрішніми впливами, можливість перевірити здатність системи реагувати на збурення. Це ефективний метод для практики, підготовки та запобігання / мінімізації втрат, перш ніж вони стануться в реальності. Невірно думати про хаос-інжиніринг як хаотичний процес. Насправді, технологія хаосу включає в себе задумані планові експе-

рименти, які показують, як система може вести себе в результаті збурень. Це експерименти, в ході яких формується гіпотеза про поведінку системи, оцінюються впливи, що дозволяють поліпшити систему, та визначається час та потужність керуючих впливів щоб запобігти негативному тиску на систему.

Важливим принципом техніки хаос-інжиніринг є мінімізація радіусу вибуху – негативних змін, що дозволяє збільшити впевненість у системі та розуміння масштабів потенційного ризику.

Поняття хаос-інжинірингу базується на категорії «антіхрупкість» (*antifragility*), яка введена Н. Талебом. Антіхрупкість – це здатність до отримання вигоди з невдач, втрат, помилок; вміння загартовуватися, розвиватися і ставати сильнішими при зіткненні з хаосом [7]. Поняття антіхрупкості широко використовується в живих організмах (екології, фізіології, психології, тощо.) і відноситься до здатності системи активно долати проблеми і адапту-

ватися до нової ситуації. Антіхрупкість виходить за рамки стійкості, тому що вона має на увазі еволюцію системи, здатну розвиватися в результаті стресу, якій вона була піддана, щоб пристосуватися до нових можливих «збоїв». Стійкість же визначається як здатність «поглинати» дестабілізуючі фактори, які можуть бути викликані стресовими факторами.

Висновки. Таким чином, впровадження стратегії керованого хаосу, яка базується на хаос-інжинірингу, передбачає певну «хаосіфікацію» системи контрольованим чином, що дозволить передбачити можливі збурення та підготувати систему до переходу на нову траєкторію розвитку у оптимальний момент часу з мінімальними втратами. Завдяки хаос-інжинірингу можна домогтися більш глибокого бачення наслідків хаосу з метою поліпшення стійкості системи. Це, в кінцевому рахунку, є основою створення більш зрілих і надійних систем, здатних відновлюватися та знижувати шкоду в разі серйозного інциденту безпеки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен; пер. с англ. М. : Мир, 1985. 423 с.
2. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс; пер. с англ. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
3. Лепский В.Е. Субъектно-ориентированный подход к инновационному развитию / В.Е. Лепский. М.: Когито-Центр, 2009. 208 с.
4. Малинецкий Г.Г. Хаос. Тупики, парадоксы, надежды / Г.Г. Малинецкий // Компьютерра. 1998. № 47. С. 25-26.
5. Ахромеева Т.С. Структуры и хаос в нелинейных средах / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. М. : Физматлит, 2007. 488 с.
6. Буданов В.Г. Онтологии трансформации социальной реальности эпохи перемен // Междисциплинарные исследования: постнеклассический подход / Под ред. В.Г. Буданова. М.: Макс-Пресс, 2011. С. 3-34.
7. Талеб Н. Н. Антіхрупкість. Как извлечь выгоду из хаоса / Н.Н. Талеб; пер. с англ. Н. Караева. М.: КоЛибри, 2014. 768 с.

REFERENCES:

1. Khaken G. (1985) Sinergitika. Ierarkhii neustoychivostey v samoorganizuyushhikhsya sistemakh i ustroystvakh [Synergetics. Instabilities hierarchy in self-organizing systems and devices]. Moscow, Mir Publ (in Russian).
2. Prigozhin I., Stengers I. (1986). Poryadok iz khaosa: Novyy dialog cheloveka s prirodoy [The order of chaos: A new dialogue between man and nature]. Moscow, Progress (in Russian).
3. Lepskiy V.E. (2009). Sub"ektno-orientirovannyy podkhod k innovatsionnomu razvitiyu [Subjective-oriented approach to innovative development]. Moscow, Kogito-Tsentr.
4. Malinetskiy G.G. (1998) Khaos. Tupiki, paradoksy, nadezhdy [Chaos. Dead, paradoxes, hopes]. Komp'yuterra, no. 47, pp. 25-26.
5. Akhromeeva T.S., Kurdyumov S.P., Malinetskiy G.G. (2007). Struktury i khaos v nelineynykh sredakh [Structure and chaos in nonlinear media]. Moscow, Fizmatlit Publ. (in Russian).
6. Budanov V.G. (2011). Ontologii transformatsii sotsial'noy real'nosti epokhi peremen Ontologies of the transformation of the social reality of the era of change Mezhdistsiplinarnye issledovaniya: postneklassicheskiy podkhod [Interdisciplinary Research: Post-Necessary Approach]. Moscow, Maks-Press, pp. 3-34.
7. Taleb N.N. (2014). Antikhрупkost'. Kak izvlech' vygodu iz khaosa [Anti-friction. How to benefit from chaos]. Moscow, KoLibri (in Russian).