

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИЗИСНОЙ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ¹

КЛЕБАНОВА Т. С.

доктор экономических наук

СЕРГИЕНКО Е. А.

кандидат экономических наук

ГУРЬЯНОВА Л. С.

кандидат экономических наук

ХАРЬКОВ

Развитие социально-экономической системы (СЭС) государства выступает одной из важных составляющих механизма современной рыночной экономики, а ее состояние – одним из важнейших макроэкономических индикаторов уровня развития государства на международном уровне. В условиях глобального мирового финансового кризиса, обеспечение устойчивости развития как отдельных составляющих СЭС, так и всей системы является актуальным, особенно в контексте формирования стратегического потенциала государства, что требует совершенствование инструментария управления на всех уровнях иерархии. Реалии украинской экономики с ее нестабильностью и непредсказуемостью развития кризисных ситуаций доказывают, что классические методы и модели оценки, анализа и прогнозирования финансовых индикаторов дают неадекватные результаты и прогнозы [3, 4]. Для усовершенствования методологии исследования динамических рядов основных макроэкономических показателей в работе предлагается использование современного инструментария методов нелинейной динамики – теории катастроф [1, 2].

Теория катастроф представляет собой концептуально-методологическую основу изучения и прогнозирования неустойчивости различных систем [1, 5, 6], и рассматривается как составляющая такого современного научного направления, как синергетика. Ее суть заключается в том, что система, накопив в процессе развития критический запас противоречий и изменений, будучи подверженной воздействию различного рода флуктуаций, в том числе случайных, в определенный момент (период) скачкообразно меняет свое качество, переходя на новую траекторию развития (аттрактор развития). Условная точка, в которой происходит смена качества, называется точкой бифуркации (или катастрофы), а сам процесс потери устойчивости по своим проявлениям носит катастрофический (хаотический) характер, может приводить как к переходу на какую-либо ветвь развития из многих возможных, так и к гибели или разрушению системы. На практике прогнозирование

потери устойчивости и смены качества системы на основе подходов теории катастроф осуществляется различными способами. Один из них – это построение модели катастрофы в экономической системе на основе данных о взаимосвязи переменных, характеризующих ее поведение.

Социально-экономическая система – ступенчатая, многоуровневая система, и любая неопределенность, случайность во входных параметрах в нижних уровнях приводит к неопределенностям и случайностям в выходных параметрах подсистем более высокого порядка и системы в целом. В такой системе по характерным признакам можно предположить, что она содержит катастрофу. О наличии катастрофы свидетельствуют специальные критические точки семейства потенциальных функций, которыми описывается система или явление. Однако, такие точки не могут быть распознаны сразу. Тем не менее, катастрофы присущи всем явлениям и процессам, и, следовательно, важно уметь их вовремя распознать. Катастрофы имеют отличительные черты – «флаги катастроф». В литературе [2, 4, 5] рассматривают следующие основные признаки катастроф («флаги катастроф»):

1) модальность – это свойство объекта системы, заключающееся в том, что при некотором значении управляющих параметров возможны несколько положений равновесия системы (несколько мод) в некоторой области изменения управляющих параметров;

2) недостижимость – в системе одно из положений равновесия не достигается и не наблюдается (существует область недостижимых неустойчивых состояний равновесия, к которым нельзя прийти, двигаясь из каких-либо устойчивых состояний);

3) катастрофические скачки – скачкообразный переход системы из одного положения равновесия в другое (малые изменения в значениях управляющих параметров могут вызвать большие изменения в значениях переменных состояния системы по мере того, как система перескакивает из одного локального минимума в другой);

4) расходимость – малое изменение пути в пространстве параметров приводит к качественно отличному конечному состоянию системы (малые изменения начальных значений переменных состояния могут привести к большим изменениям конечных значений этих переменных);

4) гистерезис и необратимость – переход системы из одного состояния в другое и обратно при разных значениях управляющих параметров (траектория системы при изменении параметров в точности противоположным образом отличается от исходной).

¹ Исследование выполнено в рамках украинско-российского научно-исследовательского проекта «Модели оценки неравномерности и цикличности динамики социально-экономического развития регионов Украины и России», которое проводится согласно результатам совместного конкурса НАН Украины и РГНФ – 2010 (проект 1-10/10-02-00716а/У).

Как только, в ходе исследования зафиксирован один из этих флагов, т.е. установлен признак, свидетельствующий о наличии в системе катастрофы, управляющие параметры системы можно изменять так, чтобы обнаружить и остальные флаги, которые при соответствующих условиях должны обязательно проявиться. Установление наличия и типа катастрофы в случае неопределенности в описании системы позволяет определить:

- упрощенную модельную потенциальную функцию, зависящую только от существенных переменных состояния и управляющих параметров;
- структурно устойчивую часть потенциальной функции, по которой можно предсказать, какой в действительности процесс имеет место;
- тип уравнения для системы и значение, каким образом потенциальная функция в него входит.

Изучение основных признаков и свойств катастрофических явлений, позволяет сформировать основные предположения теории катастроф к моделированию сложных социально-экономических систем [4, 5]:

- 1) Система является динамической, т.е. ее состояние изменяется во времени.
- 2) Принцип максимального промедления: система стремится сохранять свое состояние как можно дольше.
- 3) Текущее состояние системы зависит от того, каким образом система пришла в это состояние.
- 4) Траектории системы необратимы, т.е. при изменении управляющих параметров системы в точности противоположным образом система не обязательно придет к начальному состоянию.

Таким образом, катастрофа – резкое, скачкообразное изменение состояния системы при медленном изменении ее параметров (или управляющих переменных) [1, 2].

Наиболее исследованными в экономических приложениях являются катастрофы, которые возникают в градиентных системах.

Градиентной системой называется система, динамика которой задается уравнением вида:

$$\dot{x} = \nabla V(x, a),$$

где $V(x, a)$ – потенциальная функция; a – вектор параметров; x – вектор фазовых координат системы.

При этом поверхность катастрофы – это множество точек равновесия (поверхность равновесия), задается соотношением:

$$M = \left\{ (x, a) \in \mathbf{R}^n \otimes \mathbf{R}^k : \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) = 0 \right\}.$$

Критические точки, в которых выполняется условие $\det \left(\frac{d^2 V}{dx_i dx_j} \right) = 0$, называются неизоллированными, вырожденными или неморсовскими.

Точки (x, a) в пространстве переменных состояния и параметров функции, для которых

$$\det \left(\frac{d^2 V}{dx_i dx_j} \right) = 0,$$

являются множеством сингулярности, то есть

$$S = \left\{ (x, a) \in \mathbf{R}^n \otimes \mathbf{R}^k : \det \left(\frac{d^2 V}{dx_i dx_j} \right) = 0 \right\}.$$

Приняв обозначение $V_{xx} = \left(\frac{d^2 V}{dx_i dx_j} \right)$ – для матрицы устойчивости динамической системы, проекция множества сингулярности на параметрическое пространство есть бифуркационное множество:

$$B = \{ a \in \mathbf{R}^k : V_{xx} = 0 \}.$$

Если потенциальная функция зависит от одного или более управляющих параметров, то матрица устойчивости V_{xx} и ее собственные значения также зависят от этих параметров. В этом случае, возможно, что при некоторых значениях управляющих параметров одно или несколько собственных значений матрицы устойчивости могут оказаться нулевыми. Тогда представление потенциальной функции в виде квадратичной формы является невозможным. Однако можно найти некоторое расщепление, позволяющее выделить координаты, которые отвечают нулевым собственным значениям и другие:

$$V(x, c) = \text{Cat}(l, k) + \sum_{j=l+1}^n \lambda_j(c) y_j^2,$$

или, при некоторых дополнительных условиях,

$$V = \text{CG}(l) + \sum_{j=l+1}^n \lambda_j y_j^2,$$

где $\text{Cat}(l, k)$ – функция катастрофы;

$\text{Cat}(l, k) = \text{CG}(l) + \text{Pert}(l, k)$,

$\text{CG}(l, k)$ – росток катастрофы,

$\text{Pert}(l, k)$ – возмущение,

l – количество нулевых собственных значений матрицы устойчивости.

Параметры потенциальной функции определяют также количество и характер ее экстремумов.

В работе предложен комплекс экономико-математических моделей исследования устойчивости развития основных макроэкономических индикаторов экономики Украины, направленный на решение задач оценки, анализа и прогнозирования состояния социально-экономических систем и предусматривающий реализацию следующих этапов:

Этап 1. Оценка и анализ динамики макроэкономических показателей и степени их взаимосвязи.

На данном этапе решаются следующие задачи:

- 1) формирование репрезентативной системы показателей – индикаторов устойчивости развития СЭС с учетом мировой практики и стандартов.

Так, на основе анализа литературных источников, экспертного анализа и существующих методологических подходов к макроэкономическому анализу выделены следующие показатели: динамика ВВП, динамика инвестиций, динамика объемов промышленного производства, динамика уровня занятости, динамика расходов на конечное потребление. Данные показатели являются одними из наиболее значимых в управленческом макроэкономическом анализе в силу своей интегративности и индикации как текущего, так и перспективного состояния национальной экономики.

2) оценка степени взаимосвязи исследуемых показателей на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Данный анализ позволяет:

– представить достаточно полное описание параметров системы, которые характеризуют динамику развития объекта, как в текущем, так и прогнозном периоде;

– выявить закономерности динамики развития объекта с учетом факторов влияния внутренней и внешней макросреды и совместного их протекания;

– декомпозировать составляющие рядов динамики, с учетом высокой степени неопределенности будущих тенденций развития и их латентных скрытых факторов.

– определить характер нелинейной взаимосвязи между исследуемыми показателями и выявить степень причинно-следственных связей для проведения имитационных экспериментов.

3) выявление этапов и их значимости в развитии и становлении экономики Украины и ее трансформационных преобразований

Динамику социально-экономического развития Украины условно можно разделить на 3 периода, каждый из которых отличается особыми факторами, тенденциями и ключевыми проблемами:

– первый – период продолжительного социально-экономического кризиса (1991 – 2000 гг.),

– второй – период экономического роста (2001 – 2007 гг.),

– третий – период мирового финансово-экономического кризиса (2008 – 2010 гг.).

Этап 2. Построение моделей катастроф динамики макро-экономических показателей.

Прогнозирование элементарной катастрофы в социально-экономической системе может быть осуществлено на основе данных о связи переменных, характеризующих ее поведение, на основе функций, описывающих эти связи, которые могут быть получены эконометрическими методами.

В работе построен комплекс моделей капсоидных катастроф (складка, сборка, ласточкин хвост, бабочка, вигвам), связанных с неустойчивостью связи одной переменной (x) со всеми другими и омбилических катастроф (эллиптическая, гиперболическая, параболическая омбилики) – с неустойчивостью связи двух переменных (x_1) и (x_2) со всеми другими.

Если по значению коэффициента детерминации и статистической значимости уравнение одной из катастроф превосходит уравнение устойчивого характера, то следует считать катастрофу возможной и сделать для нее прогноз.

В исследовании динамики СЭС выявление флагов, по которым можно предположить наличие катастрофы в развитии системы, применение находит лишь один из них – аномальная дисперсия [3]. Признаком возможного приближения катастрофы является нарастание дисперсии или размахов колебаний величин, характеризующих эту систему. Среди других флагов следует выделить различия в реакциях системы на одни и те же управляющие воздействия, замедление затухания колебаний, рост частоты колебаний.

Исходные статистические данные для анализа неустойчивости взаимосвязи основных макроэкономических индикаторов выбраны таким образом, чтобы можно было получить оценки, как за длительный период времени (годовой разрез), так и на краткосрочных этапах развития экономики (квартальный разрез). Принята база сравнения в темпах прироста, что позволяет снизить влияние сезонных и прочих временных факторов. Значения показателей исходных временных рядов составлены по официальным данным Евростата [7].

Построение моделей катастроф динамики макроэкономических показателей осуществлено по следующей схеме:

1) идентификация систем взаимовлияния макроэкономических показателей для различных временных горизонтов;

2) оценка и анализ характера и типа катастрофы идентифицированных систем;

3) построение и анализ наиболее вероятных поверхностей катастроф.

Агрегированные результаты реализации построения моделей катастроф представлены в табл. 1 – 6 и на рис. 1 – 5.

Анализ процессов инвестиционной и промышленной активности украинской экономики за 1991 – 2000 гг. позволил установить характеристики синхронности их протекания. Для более детального исследования колебаний выполнен анализ годовой динамики инвестиционной и промышленной активности украинской экономики для периода продолжительного социально-экономического кризиса, характеризующих тенденции восстановительного периода развития экономики. Характеристика моделей капсоидных катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста инвестиций (x) и темпа прироста ВВП (y) в годовом разрезе (1991 – 2000 гг.) представлено в табл. 1.

На рис. 1. изображена поверхность наиболее адекватной модели катастрофы типа «вигвам» для периода продолжительного социально-экономического кризиса.

Таблица 1

Характеристика моделей капсоидных катастроф (1991 – 2000 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	K-т детерминации
Модель типа «складка»	$y=x^3 - 2,124 x$	0,261
Модель типа «сборка»	$y=x^4 - 1,463 x^2 - 1,179 x$	0,458
Модель типа «ласточкин хвост»	$y=x^5 - 2,799 x^3 - 0,031 x^2 + 0,673 x$	0,656
Модель типа «бабочка»	$y=x^6 - 2,264 x^4 - 0,967 x^3 + 1,057 x^2 - 0,056 x$	0,654
Модель типа «вигвам»	$y=x^7 - 3,746 x^5 - 0,318 x^4 + 3,487 x^3 - 0,355 x^2 - 1,552 x$	0,757

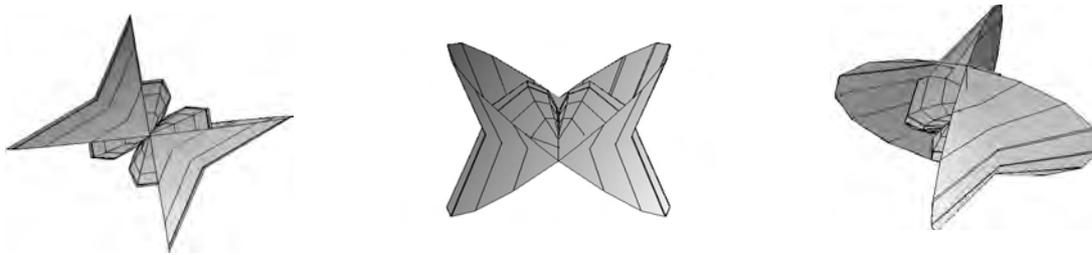


Рис. 1. Поверхность катастрофы типа «вигвам» (1991 – 2000 гг.)

Характеристика моделей омбилических катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста инвестиций (x_1), темпа прироста промышленного производства (x_2) и темпа прироста ВВП (y) в годовом разрезе (1991 – 2000 гг.) представлено в табл. 2.

Поверхность наиболее адекватной модели катастрофы типа «параболическая омбилика» за 1991 – 2000 гг. представлена на рис. 2.

Таблица 2

Характеристика моделей омбилических катастроф (1991 – 2000 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	К-т детерминации
Модель типа «гиперболическая омбилика»	$y = x_1^3 + x_2^3 + 0,409x_1 x_2 - 3,385x_1 - 1,914x_2$	0,12
Модель типа «эллиптическая омбилика»	$y = x_1^3/3 - x_1 x_2^2 - 0,217(x_1^2 + x_2^2) - 0,218x_1 + 1,673x_2$	0,552
Модель типа «параболическая омбилика»	$y = x_1^2 x_2 + x_2^4 + 0,442x_1^2 - 4,089 x_2^2 - 0,089x_1 + 2,852x_2$	0,656



Рис. 2. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (1991 – 2000 гг.)

Характеристика моделей капсоидных катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста занятости (x) и темпа прироста ВВП (y) в квар-

тальном разрезе для периода экономического роста приведено в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика моделей капсоидных катастроф (2001 – 2007 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	К-т детерминации
Модель типа «складка»	$y = x^3 - 1,898 x$	0,191
Модель типа «сборка»	$y = x^4 - 2,694 x^2 + 1,67 x$	0,193
Модель типа «ласточкин хвост»	$y = x^5 - 4,985 x^3 + 0,133 x^2 + 4,878 x$	0,225
Модель типа «бабочка»	$y = x^6 - 5,748 x^4 + 0,521 x^3 + 7,012 x^2 - 1,285 x$	0,227
Модель типа «вигвам»	$y = x^7 - 7,82 x^5 - 0,69 x^4 + 15,16 x^3 + 0,11 x^2 - 6,17 x$	0,237

Таким образом, на основе моделей капсоидных катастроф, характеризующих одностороннюю взаимосвязь, динамику развития исследуемых показателей можно считать сравнительно устойчивой. Однако, изучая комплексный характер взаимосвязей, тенденции неустойчивости стали нарастать и приняли характер сложных катастроф. Полученные результаты свидетельствуют о том, что глубоким кризисным явлениям предшествовала потеря устойчивости экономического развития в период экономического роста.

Характеристика моделей омбилических катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста занятости (x_1), темпа прироста расходов на конечное потребление (x_2) и темпа прироста ВВП (y) в квартальном разрезе (2001 – 2007 гг.) представлено в табл. 4.

Поверхность наиболее адекватной модели катастрофы типа «параболическая омбилика» для периода экономического роста экономики Украины представлена на рис. 3.

Характеристика моделей омбилических катастроф (2001 – 2007 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	К-т детерминации
Модель типа «гиперболическая омбилика»	$y = x_1^3 + x_2^3 + 0,134x_1 x_2 + 1,029x_1 - 1,986x_2$	0,63
Модель типа «эллиптическая омбилика»	$y = x_1^3/3 - x_1 x_2^2 + 2,43(x_1^2 + x_2^2) - 1,288x_1 - 1,965x_2$	0,685
Модель типа «параболическая омбилика»	$y = x_1^2 x_2 + x_2^4 + 4,62x_1^2 - 6,685x_2^2 - 8,121x_1 + 9,172x_2$	0,7

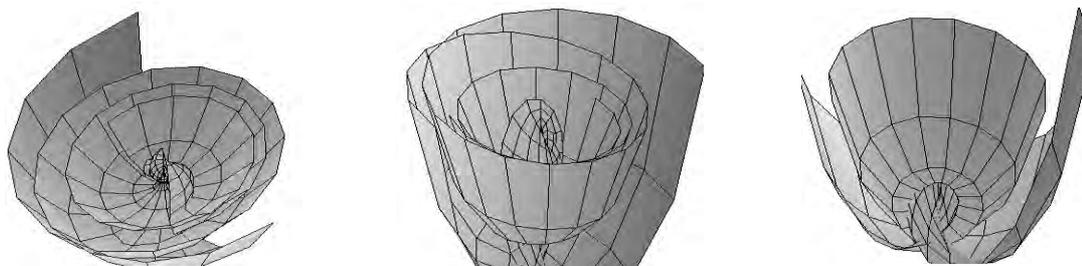


Рис. 3. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (2001 – 2007 гг.)

Современный этап развития украинской экономики (период мирового финансово-экономического кризиса) характеризуется повышающейся асинхронностью протекания процессов промышленной активности, занятости населения и инвестиций в основную капитал и, следовательно, увеличением неустойчивости и нелинейности их взаимосвязи, принципиальной возможностью бифуркаций и высокой вероятностью катастроф.

Характеристика моделей капсоидных катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста промышленного производства (x) и темпа прироста ВВП (y) в квартальном разрезе для периода мирового финансово-экономического кризиса (2008 – 2010 гг.) приведено в табл. 5.

Поверхность наиболее адекватной модели катастрофы типа «бабочка» для периода мирового финансово-экономического кризиса представлена на рис. 4.

Таблица 5

Характеристика моделей капсоидных катастроф (2008 – 2010 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	К-т детерминации
Модель типа «складка»	$y = x^3 - 2,309x$	0,012
Модель типа «сборка»	$y = x^4 - 2,809x^2 - 0,325x$	0,024
Модель типа «ласточкин хвост»	$y = x^5 - 3,502x^3 - 0,423x^2 + 1,508x$	0,13
Модель типа «бабочка»	$y = x^6 - 5,748x^4 + 0,521x^3 + 7,012x^2 - 1,285x$	0,653
Модель типа «вигвам»	$y = x^7 - 5,11x^5 + 0,4x^4 + 6,96x^3 - 1,53x^2 - 2,69x$	0,237

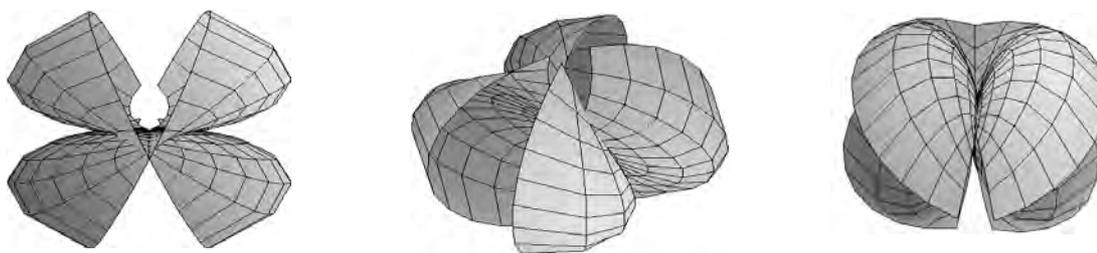


Рис. 4. Поверхность катастрофы типа «бабочка» (2008 – 2010 гг.)

Характеристика моделей омбилических катастроф, аппроксимирующих взаимосвязь темпа прироста занятости (x_1), темпа прироста валового накопления в основной капитал (x_2) и темпа прироста ВВП (y) в квартальном разрезе (2008 – 2010 гг.) приведено в табл. 6.

Поверхность наиболее адекватной модели катастрофы типа «параболическая омбилика» для периода мирового финансово-экономического кризиса представлена на рис. 5.

Характеристика моделей омбилических катастроф (2008 – 2010 гг.)

Модели катастроф	Уравнение модели	К-т детерминации
Модель типа «гиперболическая омбилика»	$y = x_1^3 + x_2^3 + 0,286 x_1 x_2 - 1,713 x_1 - 1,121 x_2$	0,08
Модель типа «эллиптическая омбилика»	$y = x_1^3/3 - x_1 x_2^2 - 0,082(x_1^2 + x_2^2) + 0,17 x_1 + 0,722 x_2$	0,58
Модель типа «параболическая омбилика»	$y = x_1^2 x_2 + x_2^4 + 0,12 x_1^2 - 1,94 x_2^2 - 0,17 x_1 - 0,121 x_2$	0,71

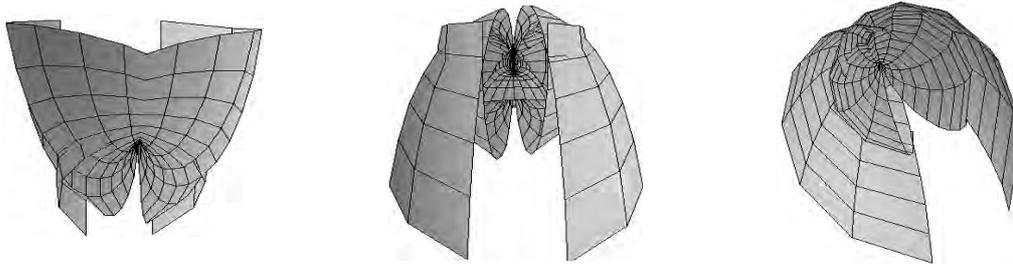


Рис. 5. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (2008 – 2010 гг.)

Результатом реализации данного этапа является совокупность прогнозных моделей возможных катастроф в экономике Украины, что позволяет получить достоверные результаты для качественного анализа факторов устойчивости развития СЭС с учетом различных временных интервалов, определяющих особенности в развитии государства. Построенный комплекс моделей является эффективным инструментом исследования кризисных процессов в динамике макроэкономических показателей, поскольку позволяет выявить и более детально исследовать нелинейные циклические процессы в динамике развития экономики в целом и отдельных индикаторов системы, характер протекания процессов, взаимосвязь в поведении траекторий, что служит существенным научным обоснованием для формирования комплекса превентивных стратегических мероприятий на всех уровнях иерархии.

Внедрение современного инструментария исследования динамики развития на основе теории катастроф позволит ЛПР определить стратегию стабилизации и дальнейшее развитие экономики государства, качественное состояние которой определяется тесной нелинейной асинхронной взаимосвязью основных макроэкономических индикаторов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Арнольд В. И. Теория катастроф 3-е изд. доп. / В. И. Арнольд – М.: Наука, 1990. – 128 с.
2. Алексеев Ю. К. Введение в теорию катастроф / Ю. К. Алексеев – М.: МГУ, 2000. – 204 с.
3. Басовский Л. Е. Прогнозирование и планирование в условиях рынка / Л. Е. Басовский – М.: Инфра-М, 2002. – 260 с.
4. Неделько Н. С. Использование теории катастроф к анализу поведения экономических систем / Н.С. Неделько // Вестник МГТУ. – 2010. Т(13). №1. – С. 223–227.
5. Моделирование экономической динамики : учебное пособие / Т. С. Клебанова, Н. А. Дубровина, О. Ю. Полякова и др. – Харьков: Изд. «ИНЖЭК», 2004. – 244 с.
6. Экономическая динамика / Ю. Г. Лысенко, В. Л. Петренко, В. К. Тимонин, А. В. Филиппов. – Донецк : Изд. ДонГУ, 2000. – 176 с.
7. <http://w3.unecse.org/pxweb/?lang=14> – СТАТИСТИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ЕЭК ООН.