

УДК 303.4:303.3:502.3

ЛИНЕЙНАЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ

LINEAR AND NON-LINEAR INTERPRETATION OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL PHENOMENA AND PROCESSES

Екатерина СТЕПАНОВА,
кандидат экономических наук,
Международный гуманитарный
университет, г. Одесса

Ekaterina STEPANOVA,
Candidate of Economics,
International Humanitarian
University, Odessa

Вячеслав СТЕПАНОВ,
доктор экономических наук,
Институт проблем рынка и
экономико-экологических исследований
Национальной академии наук
Украины, г. Одесса

Vjacheslav STEPANOV,
Doctor of Economics,
Institute of Market Problems and
Economic-Ecological Research,
Odessa

В статье в постановочном плане обсуждаются теоретико-методологические аспекты линейной и нелинейной интерпретации событий касательно экономико-экологических явлений и процессов. Рассматриваются возможности использования базовых принципов нелинейности в их изучении. Обращается внимание на необходимость формирования специального понятийно-категориального базиса теории нелинейности экономико-экологических систем.

Ключевые слова: сложные системы, линейность и нелинейность, экономико-экологические явления и процессы, категории теории нелинейности.

The article discusses theoretical and methodological aspects of linear and non-linear interpretation of economic and ecological phenomena and processes. Possibility of using the basic principles of non-linearity in the study of economic and ecological processes is discussed. Attention is drawn to the need to form a special conceptual and categorical basis of the theory of nonlinear economic-ecological systems.

Key words: complex systems, linearity and nonlinearity, economic and ecological phenomena and processes, categories of nonlinearity theory.

Постановка проблемы. Традиционное понимание исторического развития научного знания связывается с представлением линейного характера научного прогресса [1]. Это в полной мере относится как к чисто отраслевым наукам – экономике, социологии, экологии, так и наукам, носящим междисциплинарный характер (экономико-экологическим явлениям и процессам).

С точки зрения математической интерпретации, линейная экономико-экологическая система может рассматриваться как динамическая, которая отличается тем, что все преобразования, связывающие входящие величины, параметры состояний и выходящие величины, носят линейный характер.

Другими словами, линейная модель какой-либо системы отображает ее состояние или функционирование таким образом, что все взаимосвязи в ней принимаются линейными [2, с. 180–181]. Соответственно, она может формулироваться в виде одного линейного уравнения или системы уравнений.

В этом плане линейное программирование каких-либо экономико-экологических процессов можно рассматривать как проблему теории и методов решения оптимизационных экономико-экологических задач, характеризующихся линейной зависимостью между переменными.

Имеются достаточные основания судить о том, что к настоящему времени сложился своего рода стереотип линейного эколого-экономического мышления, который фактически выражает линейную стратегию устойчивого развития.

Линейность – один из идеалов простоты многих поколений экономистов и экологов, которые, как правило, пытаются свести реальные задачи экономико-экологического развития к линейному поведению. Можно было бы не возражать против такого подхода, допуская, что это всегда удастся вблизи положения равновесия экономико-экологической (ЭЭ) системы, гомеостаз которой может осуществляться на уровне линейных колебаний около оптимальных параметров, подчиняющихся законам линейной физики (например, энергия механического давления всегда оптимальна, потому что она подчиняется принципу минимума энергетических затрат).

Можно напомнить, что определяющим свойством линейных систем является принцип аддитивности, когда результат суммарного воздействия на систему – это сумма результатов на ее компоненты, т.е. мы имеем дело с откликом системы, прямо пропорциональным воздействию.

Некоторые постановочные вопросы необходимости изучения сложных социально-экономических и экономико-экологических процессов в аспекте жизнедеятельности общества, прежде всего с точки зрения теории нелинейности сложных систем, рассматривались в наших работах [3–5], предопределяющих особую актуальность исследования этих процессов.

Цель статьи – рассмотреть некоторые базовые вопросы мировоззренческой интерпретации нелинейности сложных современных экономико-экологических процессов, которые не могут быть достаточно полно описаны с точки зрения классической динамики линейных систем.

Изложение основных результатов исследований. Реальный мир, в том числе и ЭЭ-системы, состоит не только из линейных, но и нелинейных систем. С нелинейностью неразрывно связаны незамкнутость (открытость) – невозможность пренебрежения взаимодействия системы со своим окружением и неустойчивость (например, ЭЭ-системы неустойчивы, если любые сколь угодно малые отклонения от заданных траекторий развития со временем увеличиваются).

С неустойчивостью системы связываются эффекты бифуркации как точки ветвления возможных, в том числе разнонаправленных, путей эволюции системы и аттрактора как реальной структуры в открытых нелинейных средах, на которую выходит процесс эволюции в них, что предопределяет новые вызовы в развитии социо-эколого-экономических систем.

Высказанные сентенции связаны с необходимостью выхода на новые уровни теоретико-методологического осмысливания проблем современной идеологии устойчивого развития, которые могут быть весьма многообразными и сложными.

В этом плане акцентируем внимание на то, что в настоящее время проблемы развития социально-экономических и экономико-экологических систем рассматриваются в рамках парадигмы устойчивого развития (sustainable development), утверждающей социально-экономическое развитие, которое не ухудшает природные условия и укрепляет потенциал существования человеческого рода.

Современная идеология устойчивого развития проповедует формирование социально-экономических систем, при которых удовлетворение потребностей нынешних поколений осуществляется без ущерба для будущих. Одновременно предполагается реализация механизмов сбалансированного развития СЭ-систем на всех уровнях иерархической организации общества (от локальных до глобальных), когда не разрушается природная (ресурсно-экологическая) основа и обеспечивается непрерывный прогресс цивилизации.

Считаем необходимым подчеркнуть одну из наиболее характерных особенностей современной парадигмы устойчивого развития, которую с точки зрения теории систем можно определить как развитие линейных систем. В данном случае устойчивость рассматривается как свойство системы, определяющее её способность возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое вывело ее из этого состояния.

В этом контексте считаем необходимым сделать некоторые принципиально важные уточнения, касающиеся особенностей линейных систем, а именно:

- обратимость состояния, непрерывность (неразрывность) характеристик изменения важнейших параметров, относительная детерминированность (определенность) изменений в системе, которые подчиняются фиксированным закономерностям и поддаются прогнозированию (предсказанию);
- динамическая равновесность;
- относительная симметричность взаимодействия внутренних и внешних факторов, обусловленная влиянием механизмов отрицательной обратной связи, а также независимость значений ключевых параметров системы от времени и/или пространства;
- отсутствие диссипативных эффектов;
- соответствие суперпозиционному принципу, означающему аддитивный характер результирующего эффекта сложного процесса воздействия.

Математическая интерпретация линейного процесса может быть представлена в канонической форме как:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = \sum_{i=1}^n a_i x_i,$$

где a_1, \dots, a_n – постоянные величины.

В реальной жизни социально-экономические и экономико-экологические системы в своем развитии могут быть локально устойчивы, асимптотически устойчивы и неустойчивы, что определяется поведением их параметров.

Проблемы неустойчивого поведения и нелинейности трансформации систем разработаны и осмыслены в значительно меньшей степени, чем устойчивые системы и линейные процессы.

Исходя из возрастающей актуальности проблем неустойчивости и нелинейности в управлении процессами социально-экономического развития и необходимости согласования экономико-экологических отношений в условиях возрастающих конфликтов, рассмотрим некоторые методологические и методические аспекты исследования проблем развития ЭЭ-систем с точки зрения теории нелинейных систем, развиваемых в рамках парадигмы синергетического подхода [6, 7] и принципов нелинейной динамики [8–10].

В современных исследованиях поведения ЭЭ-систем значительно большее внимание уделяется механизмам их развития, определяющим [11, 12], во-первых, условия их устойчивости, которые связываются с поддержанием гомеостаза; во-вторых, возможности перехода к новому состоянию, которые связаны с трансформацией уровня гомеостаза, порождаемой диффузией, диссипацией, внутренним сопротивлением, внешним воздействием и т.д.

Другим аспектом исследования развития ЭЭ-систем является изучение процессов их изменчивости. Фактор изменчивости наряду с наследственностью и отбором является одним из трех ключевых, определяющих развитие систем любой природы – экологической, социальной, экономической, технической.

Указанная триада механизмов развития любых систем предложена Н.Н. Моисеевым [13], которая основывалась на механизме эволюционных процессов в живой природе, впервые описанных Ч. Дарвином. Изменчивость системы как способность изменять свое состояние в настоящее время рассматривается с точки зрения детерминированных и недетерминированных изменений. В первом случае принимаются во внимание четко определенные параметры каждого будущего состояния системы, т.е. возможны допущения отсутствия случайности, вероятности и неопределенности энтропии, которые обуславливают будущие состояния системы. Во втором случае такие допущения невозможны.

Механизм изменения системы, определенный Н.Н. Моисеевым как трансформационный эволюционный механизм, разделяется на два класса механизмов – адаптационный и бифуркационный. Первый связывается с возможностью приспособления системы к воздействиям внешней среды без утраты ею принципиальных отличительных признаков, свойств и отношений. В свою очередь, бифуркационный механизм определяет такие изменения в системе, которые приводят к утрате своих принципиальных отличительных признаков и определяют переход системы в новое качество (при сохранении наследственной связи с прежним состоянием).

Следует особо подчеркнуть, что бифуркационные механизмы по сравнению с адаптационными обуславливают принципиально новые свойства системы, а именно [14, 15]:

- многократное ветвящееся увеличение разнообразия (вариантности) состояний и, соответственно, возрастание множества параметров системы;

- необратимость развития, когда вследствие вероятностного и случайного характера изменений возможность возврата в обратное состояние существенно минимизируется;

- возрастание неопределенности будущего системы вследствие высокой степени случайностей и вероятностей ее спонтанных изменений.

В данном случае имеются достаточные основания говорить о мировоззренческом смысле нелинейности поведения сложных систем, каковыми являются экономико-экологические (ЭЭ) системы. В этом плане нелинейность ЭЭ-процессов может означать [16]:

- проявление неустойчивых состояний, необратимость эволюционных процессов;

- периодическое чередование различных стадий протекания процессов, усиление и ослабление их интенсивности, эволюции и инновации, интегральности и маргинальности распада, стягивание к центру и растекания от него и др.;

- многовариантность путей эволюции;

- наличие выбора из альтернативных путей и определенного темпа эволюции.

В монографии Л.Г. Мельника [17] свойства нелинейных систем связываются с зависимостью от происходящих в них процессов, которые сводятся к следующим их видам: необратимость состояния (важнейших параметров); прерываемость характеристик изменения важнейших параметров; неопределенность поведения системы (развитие того или иного сценария часто может зависеть от случайного незначительного события); динамическая неравновесность; несимметричность взаимодействия внутренних и внешних факторов; изменяемость ключевых параметров системы в зависимости от времени и пространства; несоответствие суперпозиционному принципу.

Считаем необходимым обратить особое внимание на формирование понятийно-категориального аппарата теории нелинейности ЭЭ-систем. В качестве его базовой основы нами выделены наиболее значимые для понимания исследуемой проблемы категории (табл.), исходя из принципов современной синергетики и нелинейной динамики [6, 10].

Таким образом, в широком понимании, категорию нелинейность можно рассматривать как своего рода обобщающую характеристику явлений, процессов, систем, которая означает многообразие, сложность, многовариантность, многокритериальность, нелинейный и быстрый рост, эволюционное развитие, таящее в себе бифуркации, диссипации и диффузии. В узком смысле, нелинейность означает нелинейную функцию системы; в математическом – определенный вид математических уравнений, содержащих искомые величины в степенях, отличных от единицы, или коэффициенты, зависящие от свойств среды (нелинейные математические уравнения, как правило, имеют несколько качественно различных решений). Особый научный и практический интерес представляет анализ проблематики, связанной с описанием нелинейных трансформаций систем, характеризующих своего рода их свойства.

Базовые категории теории нелинейности экономико-экологических систем*

Категория	С о д е р ж а н и е
Нелинейная ЭЭ-система (среда)	Динамическая система (среда), экономико-экологические процессы в которой описываются нелинейными уравнениями. Это система, которая может эволюционировать различными путями и таит в себе бифуркации. Отличается тем, что все преобразования, связывающие входимые величины, параметры состояния и выходящие величины, носят нелинейный характер
Нелинейное ЭЭ-явление	Явление – это внешние свойства и признаки предмета, постигаемые в эмпирическом, чувственном познании. ЭЭ-явление рассматривается как нелинейное, если в нем обнаруживаются нелинейные закономерности и законы его развития (неопределенность, неустойчивость, бифуркации и др.)
Нелинейный ЭЭ-процесс	Закономерное, последовательное изменение нелинейного ЭЭ-явления, его переход в другое состояние; эволюционное, резкое изменение свойств ЭЭ-системы под воздействием внутренних и внешних воздействий
Нелинейное развитие ЭЭ-системы	Нелинейный процесс самодвижения ЭЭ-системы от простого (понимаемого на данный момент), раскрывающий, реализующий внутренние тенденции и сущность ЭЭ-явлений, ведущий к возникновению новых особенностей системы. Для нелинейного развития системы характерна спиралевидная форма
Нелинейная модель ЭЭ-системы	1. Модель ЭЭ-системы, отображающая состояние или функционирование системы таким образом, что все взаимосвязи в ней принимаются нелинейными. 2. Система уравнений, формул, логических условий или техническое устройство, отображающие различные стороны функционирования нелинейной системы
Моделирование нелинейных ЭЭ-систем	Построение математических нелинейных моделей с целью исследования некоторых сторон нелинейных явлений и процессов
Нелинейное ЭЭ-мировоззрение	Означает: многовариантность путей эволюции ЭЭ-систем; наличие выбора из альтернативных путей и определенного темпа эволюции ЭЭ-систем; необратимость эволюционных ЭЭ-процессов; периодическое чередование различных стадий ЭЭ-процессов

* Источник: разработано авторами.

Нелинейность в математической интерпретации рассматривается как определенный вид математических уравнений, содержащих искомые величины в степенях, отличающихся от 1, или коэффициенты a , зависящие от свойств среды. Нелинейное соотношение в общем значении может трактоваться таким соотношением, в котором зависимая переменная не является линейной функцией независимых переменных.

В качестве примеров нелинейных можно представить следующие функции: мультипликативные типа $Y = \sum a_i \Pi x_i$ (Π – знак произведения);

смежные типа $Y = \sum a_i x_i^n$;

экспоненциальные типа $Y = \sum a_i e^{b_i x_i}$;

логарифмическую типа $Y = a_i \ln x + b_i$;

тригонометрические полиномы типа $Y = \sum a_i \cos \times n_i x + \sin \times n_i x$.

Подытоживая изложенное выше, рассматривая социально-экономико-экологические проблемы в контексте неустойчивости и нелинейности, можно сделать некоторые обобщения следующего характера.

Для таких наук, как экономика, социология, экология, имеющих дело с исключительно сложными и взаимосвязанными объектами и взаимодействиями между ними, очень важным общим подходом к их изучению может служить теория нелинейной динамики и синергетика как одно из современных междисциплинарных направлений научных исследований, в рамках которого изучаются процессы перехода от хаоса к порядку и обратно в открытых нелинейных системах (средах) самой различной природы.

Нелинейность развития социально-экономико-экологических систем следует рассматривать в тесной взаимосвязи обуславливаемых ею двух процессов, определяющих состояние системы: во-первых, повышение порядка, упорядочения, организации, определяющее устойчивость развития; во-вторых, снижение порядка, разупорядочения, дезорганизации, бифуркации, определяющее неустойчивость развития системы.

Аксиоматика подобных явлений такова, что устойчивую неравновесность СЭЭ-системы удерживать намного сложнее, чем состояние устойчивой равновесности отдельных ее частей (подсистем). В этом контексте исключительно актуальной становится проблема изучения процессов дестабилизации, деградации, диффузионности, диссипативности и неустойчивости развития СЭЭ-систем с точки зрения создания научных основ управления изменениями, дисбалансами и диспропорциями.

ВЫВОДЫ

В современных условиях всемерного обострения противоречий, конфликтов и кризисов, обуславливаемых издержками глобализации, ростом конкуренции за ресурсы, деградацией ресурсно-экологического базиса развития человечества, особое значение приобретают исследования таких проблем, как: увеличение неустойчивости эволюции ЭЭ-систем, факторов перерастания устойчивого развития в неустойчивое, выявление наиболее существенных проявлений роста неустойчивости на региональных, национальных и глобальном уровнях; механизмы перехода ЭЭ-системы в новое качество; определение основных форм-аттракторов разрешения противоречий развития и согласования интересов.

Прогресс разрешения проблем неустойчивости следует связывать с формированием в обществе нелинейного мировоззрения, направленного на развитие понимания необратимости эволюционных процессов, неизбежности периодических смен парадигм развития, его многовариантности, возможностей правильного выбора из множества альтернативных путей развития и определенного темпа эволюции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яковец Ю.В. Эпохальные инновации XXI века / Ю.В. Яковец. – М. : Экономика, 2004. – 444 с.
2. Линейная модель // Экономико-математический словарь / [сост. Л.И. Лопатников]. – М. : Наука, 1987. – 510 с.
3. Степанов В.Н. Об устойчивости и неустойчивости экономико-экологического развития (контекст теории гомеостазиса) / В.Н. Степанов, Т.И. Пишенина // *Економічні інновації*. – 2013. – Вип. 53. – С. 261–268.
4. Степанов В.Н. О формировании нелинейного мышления (социо-эколого-экономический аспект) [Электронный ресурс] / В.Н. Степанов, Е.В. Степанова // *Проблеми ринку та розвитку регіонів України в XXI столітті: V Міжнарод. наук.-практ. інтер.-конф., 10–12 груд. 2014 р., Одеса*. – О. : ОНПУ, 2014. – С. 101–103. – Режим доступа : http://economics.opu.ua/confs/ipredV_2014.html.
5. Stepanov V.N. Problems of Nonlinearly of socio-economic-ecological systems / V.N. Stepanov // *Economic innovations*. – 2012. – Is. 48. – P. 251–260.
6. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен ; [пер. с нем.]. – М. : Мир, 1985. – 423 с.
7. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М. : Прогресс-Традиция, 2000. – 536 с.
8. Малинецкий Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М. : КомКнига, URSS, 2005. – 368 с.
9. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика – ключ к теоретической истории / Г.Г. Малинецкий // *Общественные науки и современность*. – 1996. – № 4. – С. 105–112.
10. Нелинейный мир науки, образования, культуры. – М. : Прогресс-Традиция; Астрахань: Факел, 2003. – 229 с.
11. Буркинский Б.В. Природопользование: основы экономико-экологической теории / Б.В. Буркинский, В.Н. Степанов, С.К. Харичков. – О. : ИПРЭЭИ НАН Украины, 1999. – 350 с.
12. Борщук Є.М. Основи теорії стійкого розвитку еколого-економічних систем / Є.М. Борщук. – Л. : Растр-7, 2007. – 436 с.
13. Моисеев Н.Н. Универсальный эволюционизм (позиция и следствия) / Н.Н. Моисеев // *Вопросы философии*. – 1991. – № 3. – С. 3–28.
14. Степин В.С. Научные революции как «точки» бифуркации в развитии знания / В.С. Степин // *Научные революции и динамика культуры*. – Мн. : Университетская книга, 1987. – С. 38–76.
15. Laszlo E. *The Age of Bifurcation* / E. Laszlo. – New-York: Gordon and Breach, 1991.
16. Князева Е.Н. Синергетика: нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М. : КомКнига, 2011. – 272 с.
17. Мельник Л.Г. Экономика развития: Учебное пособие / Л.Г. Мельник. – Сумы : Университетская книга, 2000. – 450 с.

REFERENCES

1. *Jakovec Ju.V. Epochal innovations of the XXI century / Ju.V. Jakovec. – M. : The economic, 2004. – 444 p.*
2. *The linear model // Jekonomiko-matematicheskij slovar' [ed. Lopatnikov L.I., Nauka]. – M. : , 1987. – 510 p.*
3. *Stepanov V.N. On the stability and instability of the economic and environmental development (context of the theory of homeostasis) / V.N. Stepanov, T.I. Pishenina // Ekonomichni innovatsii. – 2013. – Vol. 53. – P. 261–268.*
4. *Stepanov V.N. On the formation of non-linear thinking (social, ecological and economic aspect) [electronic resource] / V.N. Stepanov E.V. Stepanova // Problems of market analysis that rozvitku regioniv Ukraine in the XXI stolitti: V Mizhnarod. nauk.-practical. inter.-conf., 10–12 chest. 2014 p., Odessa. – O. : ONPU, 2014. – P. 101–103. – Access mode : http://economics.opu.ua/confs/ipredV_2014.html.*
5. *Stepanov V.N. Problems of Nonlinearly of socio-economic-ecological systems / V.N. Stepanov // Economic innovations. – 2012. – Is. 48. – P. 251–260.*
6. *Haken G. Synergetics. Hierarchy instability in self-organizing systems and devices / G. Haken ; [trans. to it.]. – M. : Mir, 1985. – 423 p.*
7. *Synergetic paradigm. The variety of quests and approaches. – M. : Progress-Tradition, 2000. – 536 p.*
8. *Malinetskii G.G. Modern problems of nonlinear dynamics / G.G. Malinetskii, A.B. Potapov. – M. : KomKniga, URSS, 2005. – 368 p.*
9. *Malinetskii G.G. Nonlinear Dynamics – the key to the history of the theoretical / G.G. Malinetskii // Social studies and the present. – 1996. – № 4. – P. 105–112.*
10. *The non-linear world of science, education and culture. – M. : Progress-Tradition; Astrakhan: Torch, 2003. – 229 p.*
11. *Burkinskiy B.V. Nature: the foundations of the theory of economic and environmental / B.V. Burkinskiy, V.N. Stepanov, S.K. Harichkov. – O. : IPREEI NASU, 1999. – 350 p.*
12. *Borschuk Ye.M. Basics of teorii stiykogo rozvitku École-ekonomichnih systems / Ye.M. Borschuk. – L. : Raster 7, 2007. – 436 p.*
13. *Moiseev N.N. Universal evolutionism (the position and effect) / N.N. Moses // Problems of Philosophy. – 1991. – № 3. – P. 3–28.*
14. *Stepin V.S. Scientific Revolution as a «point» of bifurcation in the development of knowledge / V.S. Stepin // Scientific Revolution and the dynamics of culture. – Mn. : University Book, 1987. – P. 38–76.*
15. *Laszlo E. The Age of Bifurcation / E. Laszlo. – New-York: Gordon and Breach, 1991.*
16. *Knyazev E.N. Synergetics: the non-linearity of time and landscapes coevolution / E.N. Knyazev, S.P. Kurdyumov. – M. : KomKniga, 2011. – 272 p.*
17. *Miller L.G. Development Economics: Textbook / L.G. Miller. – Sumy : University Book, 2000. – 450 p.*