

УДК 3.071

**PROBLEMS OF NONLINEARITY OF SOCIO-ECONOMIC-  
ECOLOGICAL SYSTEMS  
ПРОБЛЕМЫ НЕЛИНЕЙНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИКО-  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Viacheslav Stepanov  
Степанов В.Н.**

---

*У статті на прикладі соціально-економічних систем обговорюється феномен нелінійності їх розвитку. Розглядається модель формування системи нелінійності при вивченні процесів поведінки складних соціально-економіко-екологічних об'єктів*

**Introduction.** Nowadays the problems of socio-economic and economic-ecological systems are studied and developed according to the paradigm of "sustainable development" which states that the socio-economic development must not undermine conditions of existence of humankind [1].

It is well known that the present ideology of "sustainable development" advocates the development of socio-economic systems (SE-systems), when the needs of present generations are met without compromising the ability of future generations to meet their own needs. This ideology assumes implementation of mechanisms of controlled balance of the social-economic systems development at all the levels of hierarchical organization of society (from local to global), which has a non-destructive nature (resource and environmental) and provides a continuous progress of civilization [2-5].

It is necessary to emphasize that the "sustainable development" paradigm from the point of view of systems theory can be defined as linear systems development. In this context "system stability" can be defined as a system ability to return to a baseline after cessation of disturbance that brought it out of this state.

It is well known that, linear systems are characterized by the properties such as reversibility of the state; continuity of the most important parameters changes; relative determinacy (certainty) of the system changes that are subordinated to fixed regularities and can be predicted; dynamic equilibrium; relative symmetry of interaction between internal and external factors caused by negative feedback mechanisms; independence of system key parameters values from time and/or space; compliance with the principle of superposition, which states that the net response caused by two or more inputs is the sum of the responses which would have been caused by each input individually [6-9].

In real life, socio-economic and economic-ecological systems in their development may be locally stable, asymptotically stable and unstable, what is determined by the system parameters.

The unstable systems behavior and nonlinear systems transformations,

as a very complex phenomenon, is studied and understood much lesser than the stable linear systems and processes.

**The purpose of the article.** Because of increasing conflicts, instability and nonlinearity of socio-economic development and the need of harmonization of economic and ecological relations, this paper aims to address some methodological and methodical aspects of socio-economic and ecological systems studies from the point of view of the present nonlinear systems theory, developed within the paradigm of a synergistic approach [10, 11] and the principles of nonlinear dynamics [12-14].

**Results.** In recent SE-systems studies special attention is being paid to mechanisms of their development, which determine, firstly, the conditions of their stability, related to homeostasis maintenance, and secondly, the possibility of transition to a new state, that means transformation of homeostasis level.

Another aspect of SE-systems studies is analysis of their variability. Factor of variability along with the factors of heredity and selection is one of three key factors that determine any system development - ecological, social, economic and technical.

The mentioned triad of mechanisms for any system development was proposed by N. N. Moiseev. It was based on evolutionary processes in nature, described by Charles Darwin. Variability of the system as a system ability to change its states is being discussed from the point of view of determined and non-determined changes.

In the first case we take into account well-defined parameters of each coming state of the system. This means assumptions of no randomness and no uncertainty influencing the system. In the second case these assumptions are not possible.

The mechanism of system changes, which N. N. Moiseev [15] calls transformational evolutionary mechanism, is divided into two classes of mechanisms - adaptive and bifurcative. Adaptive mechanism means ability of the system to be adapted to external environment impacts without losing its fundamental features, properties and relations.

In turn, bifurcative mechanism means the changes in the system that cause loss of its principal distinguishing features and determine transition to a new quality (keeping connection with the previous state).

It should be emphasized that bifurcative mechanisms compared to adaptive mechanisms lead to fundamentally new features of the system, such as increasing states diversity and number of system parameters; irreversibility of development, when due to random changes the possibility to return to the back state is minimized; increasing uncertainty of the system future because of high level of randomness and possibility of spontaneous changes.

In this case, there is a good reason to talk about worldview sense of nonlinearity of the complex systems such as socio-economic and ecological system (SEE-systems).

In this regard nonlinearity of SEE-processes can be defined as [13, 14]: appearance of non stable states; irreversibility of evolutionary processes; periodic alternation of various stages of the processes; strengthening and

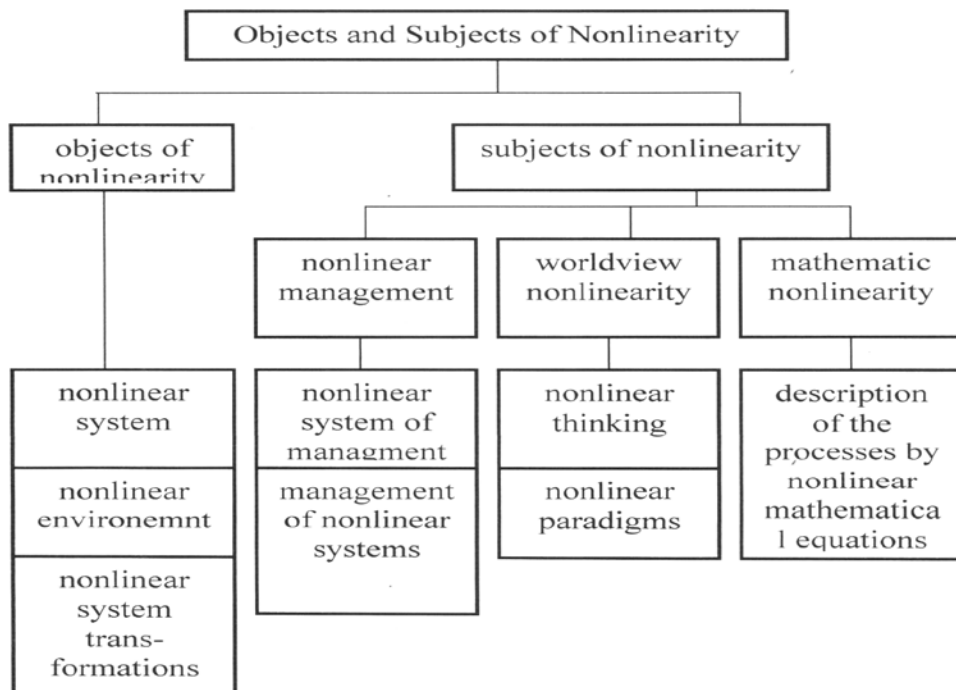
weakening of intensity of evolution and innovation, integration, and partial collapse; concentration and deconcentration; multivariability of scenarios and tempo of evolution.

In the monograph of L. G. Melnik [6, p. 101], the properties of nonlinear systems are determined by the processes occurring in them: irreversible state (of critical parameters); instability of critical parameters changes; uncertainty of the system behavior (scenario of development can often depend on small random events); dynamic equilibrium; asymmetry of interaction of internal and external factors; variability of key parameters of the system in time and space; non-conformity to superposition principle.

Thus, in broad sense the term "nonlinearity" can be defined as a general characteristic of phenomena, processes, systems, that means complex, multivariate, multiobjective, nonlinear, and rapid growth and evolution, which contains bifurcation.

In the narrow sense nonlinearity means: nonlinear function of the system; in mathematic - a nonlinear equation is an equation where variables are either of degree greater than 1 or less than 1, but never 1. Nonlinear equations are difficult to solve and give rise to interesting phenomena such as chaos. In other words, a nonlinear system is any problem where the variable(s) to be solved for cannot be written as a linear combination of independent components.

Model of the nonlinearity of the system is shown in Figure 1.



**Fig. 1. Developing system of nonlinearity (the context of socio-economic and economic-ecological development)**

Special scientific and practical interest represents the analysis of nonlinear systems transformations and properties of such systems. On the base of the papers analysis [6-14] in Table 1 we present the complex of notions that characterize the properties of objects and subjects of the nonlinearity of system transformation.

*Table 1*

**The main categories of the theory of nonlinear systems**

№	Categories	Content
1	2	3
1.	Unstable state of the system	Significant change of the system parameters in response to changes in the characteristics of external environment
2.	Unstable systems (unstable environment)	A certain class of systems (environment), vulnerable to small perturbations, chaotic fluctuations at the micro level. The state of such systems can be easily changed by these impacts
3.	The instability close to time of exacerbation	Sensitivity of non-stationary (evolutioning) structures to small perturbations in the asymptotic stage near the "end" state, leading to probabilistic chaotic disintegration of these structures
4.	The instability by Lyapunov	One of the types of instability with respect to initial data, initial perturbations (deviations), which lead to large differences and exponentially "deviation" of adjacent trajectories
5.	Critical point	Value of the parameter (or parameters) of the system, after which comes the critical state of the system
6.	The critical state of the system	The limiting equilibrium of the system, when adjacent phases become identical on their properties. After overcoming the critical state the new phase begins
7.	Phase transition	1)Transition (transformation) from one level of homeostasis to the other; 2)Abrupt changes of the system properties under a continuous change of external factors
8.	The phase portrait of the system	Continuity of possible states of the system in the phase space, with forms more or less complex "trajectory" of the system evolution
9.	Bifurcation point	Branch point of possible ways of evolution of the system. In mathematic representation it is branching of solutions of nonlinear differential equations
10.	Bifurcation mechanisms	The mechanisms by which the system realizes the function of variability on the basis of a constant

		change of the fundamental state due to new states of the system, which are losing the system features, but keeping the inherited connections
<i>End of Table 1</i>		
1	2	3
11.	The trajectory of the system evolution	Geometric or imagined presentation of consistent system changes or possible (virtual) values (position in space) of the dynamical variables (phase coordinates)
12.	Fractal	The system, which has scale invariance, i.e. extensive opportunity to continue its development and able, therefore, to implement the bifurcation type of transformation
13.	Fractal objects	The objects that have properties of self-similarity or scale invariance, i.e. some fragments of the structure are strictly repeated at regular spatial intervals
14.	Attractor	1) The state of stability (structure) of the system, which «attracts a lot of trajectories» of the system defined by the initial conditions 2) The real structures in open nonlinear environment, which are met by the processes of evolution in result of decay of intermediate, transition processes

**Conclusions.** Taking into account the instability and nonlinearity of socio-economic and ecological processes we came to the next conclusions.

1. For the sciences such as economics, sociology, ecology, which deal with extremely complex and interrelated objects and complex interactions between them, one of the approaches of their studies can be theory of nonlinear dynamics and synergetic as one of the direction of multidisciplinary analysis.
2. Nonlinearity of the socio-economic and ecological systems should be studied in close relationship with two processes that determine the state of the system:  
 Firstly, increasing order, regulation, organization which determine sustainability of the system;  
 Second, decreasing order, disorder and disorganization, which determine instability of the system development.  
 Axiomatic of such phenomena is that it is much more complicated to hold the stable equilibrium of SEE-system then the balance of its parts (subsystems). It explains the importance of instability of SEE-system studying in order to manage changes, disbalances and disproportions of their development.

3. Under present conditions of contradictions, conflicts and crises caused by globalization, increasing competition for resources, resource degradation, studying the next problems became very important:
  - 1) increasing instability of SEE-systems evolution as a base of their regulated transfer to a new quality, including estimation of the factors of transition from stability to instability and increasing instability on regional, national and global level; 2) mechanisms of transition of SEE-systems to a new quality, and 3) identification of the main forms - attractors of conflict resolution and interests coordination.
4. Progress in solving the problems of instability should be determined by nonlinear worldview, aimed at developing an understanding of irreversibility of evolutionary processes, inevitability of periodic changes of paradigms of development, multi-scenarios of development, possibility of a "correct" choice from the set of alternative ways of development and tempo of evolution.

#### Литература

1. Програма дій «Порядок денний на XXI століття»: пер. з англ. – К.: Інтелсфера, 2000. – 360 с.
2. Білорус О.Г. Глобальна перспектива і сталий розвиток (Системні маркетинг. дослідж.) / О.Г. Білорус, Ю.М. Мацейко. – К.: МАУП, 2005. – 492 с.
3. Борщук Є.М. Основи теорії сталого розвитку еколого-економічних систем / Є.М. Борщук. – Львів: Від-во «Растр-7», 2007. – 436 с.
4. Україна: прогрес на шляху до сталого розвитку. Інформаційно-аналітичний огляд виконання «Порядку денного на XXI століття» / Наук. керів. Б.М. Данилишин. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2002. – 218 с.
5. Социально-экономический потенциал устойчивого развития / Под науч. ред. Л.Г. Мельника (Украина) и Л. Хенса (Бельгия). – Сумы: «Университетская книга», 2007. – 1120 с.
6. Мельник Л.Г. Фундаментальные основы развития / Л.Г. Мельник. – Сумы: «Университетская книга», 2003. – 288 с.
7. Мельник Л.Г. Экономика и информация: экономика информации и информация в экономике: Энциклопедический словарь. – Сумы «Университетская книга», 2005. – 384 с.
8. Гейл Д. Теория линейных экономических моделей: пер. с англ. / Д. Гейл. – М.: ИЛ, 1963. – 418 с.
9. Словарь по кибернетике / Под ред. В.С. Михалевича. – К.: Главн. ред УСЭ, 1989. – 751 с.
10. Князева Е.Н. Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: КомКнига, 2011. – 272 с.

11. Лоскутов А.Ю. Синергетика и нелинейная динамика: новые подходы к старым проблемам / А.Ю. Лоскутов // Синергетика: Труды семинара. Том 3. – М., 2000. – С. 204-223.
12. Короновский А.А. Нелинейная динамика в действии: Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки / А.А. Короновский, Д.И. Трубецков. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1955. – 130 с.
13. Малинецкий Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / С.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М.: URSS, 2002. – 360 с.
14. Пу Т. Нелинейная экономическая динамика: пер. с англ. / Т. Пу – М.: URSS, 2002. – 200 с.
15. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 303 с.

#### *Аннотация*

В настоящее время проблемы развития социально-экономических и экономико-экологических систем изучаются и развиваются в рамках парадигмы «устойчивое развитие» (sustainable development), утверждающей социально-экономическое развитие, не подрывающее природные условия существования человеческого рода. Современная идеология «устойчивого развития» проповедует развитие социально-экономических формаций (систем), при котором удовлетворение потребностей нынешних поколений осуществляется без ущерба для будущих поколений. При этом предполагается реализация механизмов управляемой сбалансированности развития социально-экономических систем на всех уровнях иерархической организации общества (от локальных до глобальных), не разрушающего своей природной (ресурсно-экологической) основы и обеспечивающего непрерывный прогресс цивилизации.

Считаем необходимым подчеркнуть одну из наиболее характерных особенностей современной парадигмы «устойчивое развитие», которую с точки зрения теории систем можно определить как развитие линейных систем. В этом контексте «устойчивость системы» рассматривается как свойство системы, определяющее способность ее возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое вывело ее из этого состояния. Линейные системы характеризуются такими свойствами, как 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 действием механизмов отрицательной обратной связи; независимость значений ключевых параметров системы от времени и/или пространства; соответствие суперпозиционному принципу,

означающему аддитивный характер результирующего эффекта сложного процесса воздействия.

В реальной жизни социально-экономические и экономико-экологические системы в своем развитии могут быть локально устойчивы, асимптотически устойчивы и неустойчивы, что определяется поведением параметров системы. Проблемы неустойчивого поведения системы и нелинейности трансформации состояний систем, как весьма сложные явления, разработаны и осмыслены в значительно меньшей степени, чем устойчивые системы и линейные процессы. Исходя из возрастающей актуальности проблем неустойчивости и нелинейности в управлении процессом социально-экономического развития и согласованием экономико-экологических отношений в условиях возрастающих конфликтов, в настоящей статье ставится цель рассмотреть некоторые методологические и методические аспекты исследования и осмысливания проблем развития социально-экономико-экологических систем с точки зрения современных представлений теории нелинейных систем, развиваемых в рамках парадигмы синергетического подхода и принципов нелинейной динамики.

В современных исследованиях поведения социально-экономико-экологических систем (СЭЭ-систем) значительно большее внимание уделяется механизмам их развития, определяющим, во-первых, условия их устойчивости, которые связываются с поддержанием гомеостаза; во-вторых, возможности перехода к новому состоянию, которые связываются с трансформацией уровня гомеостаза. Другим аспектом исследования развития СЭЭ-систем является изучение процессов их изменчивости. Фактор изменчивости систем, наряду с факторами наследственности и отбора, является одним из трех ключевых факторов, определяющих развитие систем любой природы - экологической, социальной, экономической, технической. Указанная триада механизмов развития любых систем была предложена Н.Н. Моисеевым, которая основывалась на механизме эволюционных процессов в живой природе, впервые описанных Ч. Дарвином.

Изменчивость системы как способность системы 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 и неопределенности (вероятности), которые обуславливают будущие состояния системы. Во втором случае такие допущения невозможны.

Механизм изменения системы, названный Н.Н. Моисеевым трансформационным эволюционным механизмом, разделяется на два класса механизмов – адаптационный и бифуркационный. Адаптационный механизм связывается с возможностью приспособления системы к воздействиям внешней среды без утраты системой ее принципиальных отличительных признаков, свойств и отношений. В свою очередь



бифуркационный механизм определяет такие изменения в системе, которые приводят к утрате ею 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 приводят к принципиально новым свойствам системы, а именно к таким как: многократное увеличение разнообразия (вариантности) состояний и соответственно возрастание множества параметров системы; необратимость развития, когда вследствие вероятностного и случайного характера изменений вероятность возврата в обратное состояние существенно минимизируется; возрастание неопределенности будущей системы вследствие высокой степени случайностей и вероятностей спонтанных изменений системы.

В данном случае имеются достаточные основания говорить о мировоззренческом смысле нелинейности поведения сложных систем, каковыми являются социальные, экономические и экологические системы. В этом плане нелинейность СЭЭ-процессов может означать проявление неустойчивых состояний; необратимость эволюционных процессов; периодическое чередование различных стадий протекания процессов, усиление и ослабление интенсивности процессов, эволюции и инновации, интеграции и частичного распада, стягивания к центру и растекания от него и др.; многовариантности путей эволюции; наличие выбора из альтернативных путей и определенного темпа эволюции.

В монографической работе Л.Г. Мельника свойства нелинейных систем связываются с зависимостью от происходящих в них процессов, которые сводятся к следующим видам: необратимость состояния (важнейших параметров); прерывистость 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.

Таким образом, в широком понимании термин «нелинейность» можно рассматривать как своего рода обобщающую характеристику явлений, процессов, систем, означает многообразие, сложность, многовариантность, многокритериальность, нелинейный и быстрый рост, эволюционное развитие, таящее в себе бифуркации. В узком смысле нелинейность означает нелинейную функцию системы; в математическом смысле – 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 свойства таких систем.

Подытоживая вышеизложенное, рассматривая социально-экономико-экологические проблемы в контексте неустойчивости и нелинейности, можно сделать некоторые выводы следующего характера.

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

Нелинейность развития СЭЭ-систем следует рассматривать в тесной взаимосвязи с двумя процессами, определяющими состояние системы: во-первых, процессами повышения порядка, упорядочения, организации, определяющими устойчивость развития; во-вторых, процессами снижения порядка, разупорядочения, дезорганизации, бифуркации, определяющими неустойчивость развития системы.

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

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: закономерности возрастания неустойчивости эволюции СЭЭ-систем; формирование научных основ управляемого перевода их в новое качество; оценка факторов перерастания устойчивого развития в неустойчивое; выявление наиболее существенных проявлений роста неустойчивости на региональном, национальном и глобальном уровнях; механизмы перехода СЭЭ-систем 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, многовариантности развития, возможностей «правильного» выбора из множества альтернативных путей развития и определенного темпа эволюции.