

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИНЕРГЕТИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Марина ПИЩЕНКО, Анатолий РОТАРУ\**

*Академия экономических знаний Молдовы*

*\*Лаборатория «Синергетика»*

Este studiată și trecută în revistă utilizarea metodologiei sinergeticii și autoorganizării sistemelor complexe social-economice. Este reflectat un scurt istoric al dezvoltării sinergeticii ca metaștiință. Sunt reprezentate unele probleme de modelare matematică a sistemelor social-economice complexe și sunt precizate noțiunile de bază ale sinergeticii: „neliniaritate”, „fluctuație”, „bifurcație”, „atractori”.

In the present article, the concepts of synergism and self-organization in the different complex systems are discussed with special focus on the socio-economic system. The founders and the development of this scientific branch in the historic context are presented; interdisciplinary approach to the concept of synergism is underlined. Special attention is paid to the mathematic modeling of socio-economic complex systems and to understanding certain basic definitions: “fluctuation”, “bifurcation”, “attractors” and others.

Синергетика – относительно молодое междисциплинарное научное направление. В последние годы появилось большое количество публикаций, развивающих широкий круг проблем данного научного направления. Издаются солидные монографии, учебники, выходят сотни статей, проводятся национальные и международные конференции.

Обратимся немного к истории. Синергетика связана с именами многих замечательных ученых XX века. Прежде всего, это великий французский математик, физик и философ Анри Пуанкаре, который уже в конце XIX века заложил основы методов нелинейной динамики и качественной теории дифференциальных уравнений. Он ввел понятия аттракторов (притягивающих множеств в открытых системах), точек бифуркаций (значений параметров задачи, при которых появляются альтернативные решения), неустойчивых траекторий и динамического хаоса.

В первой половине XX века большую роль в развитии методов нелинейной динамики играла советская школа математиков и физиков: А.М.Ляпунов, Н.Н.Боголюбов, Л.И.Мандельштам, А.А.Андронов, А.Н.Колмогоров, А.Н.Тихонов. Их исследования стимулировались в большой мере решением стратегических оборонных задач. Западные ученые также использовали первые оборонные ЭВМ при обнаружении неравновесных тепловых структур: модель морфогенеза (А.М.Тьюринга) и уединенных волн – солитонов [1]. Этот период можно назвать синергетикой до синергетики, поскольку самого термина еще не было.

В 60-70-е годы происходит прорыв в понимании процессов самоорганизации в самых разных явлениях природы и техники: теория генерации лазера (Г.Б.Басов, А.М.Прохоров, Ч.Таунс, Г.Хакен); первые колебательные химические реакции (Б.П.Белюсов и А.М.Жаботинский); основа биоритмов живого и общая теория диссипативных структур (И.Пригожин); теория турбулентности (А.Н.Колмогоров, А.Д.Ландау, Ю.Л.Климонтович); неравновесные структуры плазмы при термоядерном синтезе (Б.Б.Кадоццев, А.А.Самарский, С.П.Курдюмов); теория активных сред и многочисленные биофизические приложения (А.С.Давыдов, Г.Р.Иваницкий, И.М.Гельфанд, Д.С.Чернавский, В.Эбелинг); открытие динамического хаоса в задачах прогноза погоды (Э.Лоренц); теория катастроф – скачкообразных изменений состояний систем (Р.Тома и В.И.Арнольд), и ее приложения в психологии и социологии; теория автопоэзиса живых систем (У.Матурана и Ф.Варелл) [2].

В 70-е года был введен в обиход греческий термин «синергетика». Герман Хакен – выдающийся немецкий ученый, хорошо известный как один из родоначальников термина «синергетика» и синергетического подхода к науке и междисциплинарным исследованиям. По Хакену, синергетика занимается изучением систем, состоящих из большого числа частей, компонент или подсистем, одним словом – деталей, сложным образом взаимодействующих между собой. «Я назвал свою дисциплину

синергетикой не только потому, что в ней исследуется совместное действие многих элементов систем, но и потому, что для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин» [3,4]. Слово "синергетика" и означает "совместное действие", подчеркивая согласованность функционирования частей, отражающуюся в поведении системы как целого.

Термин «синергетика» происходит от греческого слова *synergeia*, что в переводе означает «совместное кооперативное действие». Синергетику часто называют наукой о сложном (*Science of Complexity*), учением о самоорганизации, об универсальных закономерностях эволюции сложных динамических систем, претерпевающих резкие изменения состояний в периоды нестабильности [5]. Следует отметить, что наука о самоорганизации имеет несколько названий. Так, в Германии она называется синергетикой. Во франкоязычных странах эта теория носит название теории диссипативных структур и развивается в рамках бельгийской научной школы под руководством лауреата Нобелевской премии И.Пригожина. В США теория самоорганизации известна как теория динамического хаоса.

Основная задача синергетики состоит в выработке системного, междисциплинарного подхода к изучению, анализу и решению сложных явлений и процессов в природе и в обществе [6].

В 80-90-е годы продолжается изучение динамического хаоса и проблемы сложности. Развиваются фрактальная геометрия (Б.Мандельброт), геометрия самоподобных объектов, которая описывает структуры динамического хаоса и позволяет эффективно сжимать информацию при распознавании и хранении образов. Обнаружены универсальные сценарии перехода к хаосу (А.Н.Шарковский, М.Фейгенбаум, Ив.Помо). Открыт феномен самоорганизованной критичности в поведении сложных систем (П.Бак). Развиваются динамические концепции времени И. Пригожина, решающие проблемы необратимости времени. Результаты исследований стали успешно применяться в физике, биологии, радиоэлектронике, медицине, экономике и т.д. В эти же годы появляются журналы по нелинейной динамике – «Chaos», «Physica D», «Nonlinearity», «Physical Review E», «Прикладная нелинейная динамика» и др.

Сегодня синергетика быстро интегрируется в область не только естественных, но и гуманитарных наук: возникли направления социосинергетики и эволюционной экономики, применяют ее психологи и педагоги, развиваются приложения в лингвистике, истории и даже в искусстве, на очереди создание синергетической антропологии. Велика ее роль в выработке антикризисных стратегий в эпоху бифуркаций, эпоху глобального цивилизационного кризиса. Широко известны работы в области синергетики Г.Г. Малинецкого, С.Ю. Малкова, Е.Н. Князевой, С.П. Курдюмова, Е.Г. Пугачевой, К.Н. Соловьяненко и др. [7-14].

Благодаря работам таких специалистов, как А.Ротару, Ф.Паладий, Т.Цырдя, Д.Цэруш и др., это научное направление достаточно развито в Республике Молдова и применяется в самых широких научных областях: от физики до экономики и философии.

В литературе синергетику характеризуют по-разному, а именно:

- синергетика – наука о самоорганизации физических, биологических и социальных систем; наука о коллективном, когерентном поведении систем различной природы;
- синергетика – термодинамика открытых систем, находящихся вдали от равновесия;
- синергетика – наука о неустойчивых состояниях, предшествующих катастрофе, и их дальнейшем развитии;
- синергетика – наука об универсальных законах эволюции в природе и обществе [15].

Поскольку синергетика занимается изучением процессов возникновения, самоорганизации, поддержания устойчивости и распада систем различной природы, раскроем такое понятие, как «система».

Любые объекты окружающего нас мира представляют собой системы – то есть совокупность составляющих их элементов и связей между ними. Различают простые и сложные системы. Простые системы насчитывают небольшое число элементов, и количество взаимосвязей между элементами невелико. Простые системы почти не зависят от окружающей среды, хорошо управляемы, предсказуемы и незначительно изменяются во времени. Сложные системы, напротив, состоят из большого числа элементов, между которыми имеются многочисленные взаимосвязи. Если в простых системах существует единственная причинно-следственная связь, то в сложных системах причины часто отделены от следствий как в пространстве, так и во времени. Поведение сложных систем обладает рядом

свойств, которые отсутствуют у простых систем и являются объектом пристального внимания синергетиков [14]. Элементы сложных систем становятся все более тесно взаимосвязанными, и воздействие на один элемент системы может вызвать последствия в другом. Необходимо понять связи, посредством которых элементы влияют друг на друга. Одновременно все системы имеют чувствительные точки, воздействуя на которые можно улучшить поведение системы [16].

Системы, составляющие предмет изучения синергетики, могут быть самой различной природы и содержательно и специально изучаться различными науками, например, физикой, химией, математикой, экономикой, социологией, лингвистикой и т.д. Каждая из наук изучает "свои" системы своими, только ей присущими методами и формулирует результаты на "своем" языке. При существующей далеко зашедшей дифференциации науки это приводит к тому, что достижения одной науки зачастую становятся недоступными вниманию и тем более пониманию представителей других наук. В отличие от традиционных областей науки, синергетику интересуют общие закономерности эволюции (развития во времени) систем любой природы. Отрешаясь от специфической природы систем, синергетика обретает способность описывать их эволюцию на интернациональном языке. Следует особо подчеркнуть, что синергетика отнюдь не является одной из пограничных наук типа физической химии или математической биологии, возникающих на стыке двух наук. По замыслу своего создателя профессора Хакена, синергетика призвана играть роль своего рода метанауки, подмечающей и изучающей общий характер тех закономерностей и зависимостей, которые частные науки считали "своими". Физик, биолог, химик и математик видят свой материал, и каждый из них, применяя методы своей науки, обогащает общий запас идей и методов синергетики.

Отмечается значительное отличие систем, существующих в природе, от тех, что созданы человеком. Для первых характерны устойчивость относительно внешних воздействий, самообновляемость, возможность к самоусложнению, росту, развитию, согласованность всех составных частей. Для вторых – резкое ухудшение функционирования даже при сравнительно небольшом изменении внешних воздействий или ошибках в управлении. Необходимо позаимствовать опыт построения организации, накопленный природой, и использовать его в нашей деятельности. Отсюда вытекает одна из задач синергетики – выяснение законов построения организации, возникновения упорядоченности. В отличие от кибернетики, здесь акцент делается не на процессах управления и обмена информацией, а на принципах построения организации – ее возникновения, развития и самоусложнения.

Другая причина, обусловившая создание синергетики, – необходимость при решении ряда задач науки и техники анализировать сложные процессы различной природы, используя при этом новые математические методы. Ученым все чаще приходится иметь дело с явлениями, где более интенсивные внешние воздействия приводят к качественно новому поведению системы. Здесь нужны нелинейные математические модели. Анализ их – гораздо более сложен, но он необходим при решении многих задач. Это приводит к формированию широкого фронта исследований нелинейных явлений, к попыткам создания общих подходов, применимых ко многим системам (к таким подходам относятся и синергетика). В результате изучения различных систем различной природы, способных к самоорганизации, складывается новое – нелинейное мышление. Оно характеризуется тремя «не»: неравновесность, неустойчивость, необратимость. Вместе с концепциями флуктуации, бифуркации, когерентности, эти три категории образуют, по существу, «новую базовую модель мира и познания», дают науке «новый язык». Современная наука все чаще формулирует свои закономерности, обращаясь к более богатому и сложному миру нелинейных математических моделей.

В конце 80-х годов ученые начинают обсуждать возможность применения теории хаоса в социально-экономических науках. А благодаря работам выдающихся ученых, таких как Пригожин, Хакен, Колмогоров, Арнольд, Мозер, Синай и др., была понята важная роль хаоса для образования регулярных структур. Синергетика рассматривает процесс развития как последовательное чередование хаоса и порядка, причем хаос является источником зарождения нового порядка. Отметим, что вопросы изучения порядка и хаоса в социально-экономических системах чрезвычайно важны. Одной из самых сложных задач изучения самоорганизации социально-экономических систем, в отличие от естественных, является определение множества так называемых параметров порядка – ключевых переменных, определяющих их эволюцию [6]. Однако нужна ли социологам и экономистам математика? Наиболее распространенными ответами на данный вопрос являются следующие:

1. Применение математических методов выступает главным критерием научности. Если результат опирается на математические выкладки, значит это научно обоснованный факт.

2. Выводы математиков слишком абстрактны и не могут описать реальное богатство социально-экономических взаимодействий.

Основной путь исследования системы – это построение модели. Математическая модель предполагает использование математических понятий, таких как переменные, уравнения, матрицы, алгоритмы и т.д. Типичная математическая модель – это уравнение либо система уравнений, описывающих зависимость между различными переменными и константами. Ввиду учета факторов времени, математические модели делятся на статические и динамические. Под динамическими системами понимают множество функций (правил, уравнений), которые определяют, как переменные изменяются во времени. Чаще всего динамические системы задаются с помощью дифференциальных уравнений или систем дифференциальных уравнений [15]. Синергетика занимается нелинейными, далекими от равновесия динамическими системами.

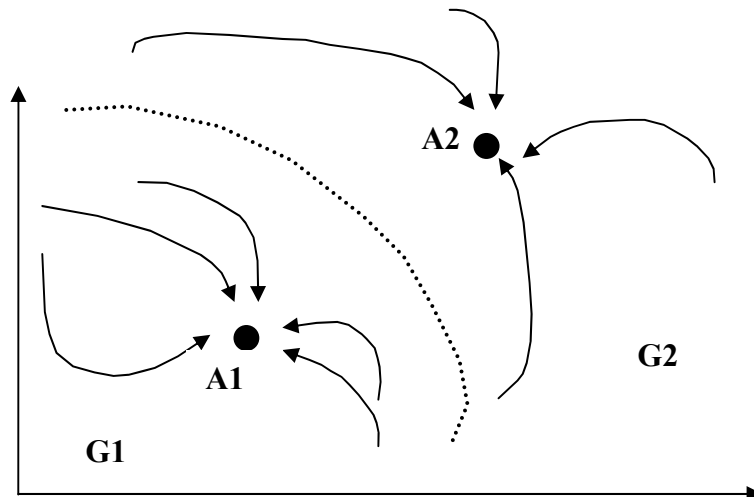
С точки зрения логико-математического моделирования, социально-экономические системы относятся к широкому классу многокомпонентных нелинейных динамических систем распределенного типа. Пионерские идеи в области математического моделирования сложных нелинейных систем принадлежат Л.Берталанфи, А.Тьюрингу, И.Пригожину, М.Эйгену, Г.Хакену, Н.Н.Моисееву, С.П.Курдюмову, Ю.Л.Климонтовичу. Моделирование социально-экономических систем наталкивается, по крайней мере, на две принципиальные трудности. Во-первых, социально-экономические системы – это сложные системы, зависящие от очень большого числа переменных. Во-вторых, поведение таких систем трудно поддается формализации.

Чаще всего для моделирования сложных систем используются дифференциальные уравнения, описывающие динамику изменения фазовых переменных рассматриваемой системы [11]. Как правило, эти уравнения имеют вид:

$$dX/dt = f(X, a, t),$$

где  $X = (X_1, \dots, X_n)$  – вектор зависимых переменных, характеризующих состояние социальной системы;  $dX/dt$  – скорость изменения переменных  $X$ ;  $t$  – время;  $f(X, a, t)$  – вектор-функция (в общем случае нелинейная), отражающая изменение этих переменных во времени;  $a$  – вектор параметров системы, в общем случае зависящих от времени.

Решения уравнений  $X(a, t)$  обычно представляют в виде траекторий в фазовом пространстве системы (см. рис.).



Структура фазового пространства социально-экономической системы с двумя аттракторами.

В частности, на рисунке точки **A1** и **A2** – устойчивые состояния системы (аттракторы) типа «устойчивый фокус», к которым стремится система в результате своей эволюции; области **G1** и **G2** – области притяжения аттракторов (если система находится в какой-либо точке фазового пространства, принадлежащей этим областям, то с течением времени она окажется, соответственно, в точке **A1** или

**A2).** Анализ фазовых траекторий позволяет сделать заключение о характере эволюции системы, определить области ее детерминированного поведения и области бифуркаций (т.е. области параметров, при которых возникает неустойчивость и происходит изменение числа и/или вида решений системы). Как правило, переход от устойчивого к неустойчивому состоянию и наоборот происходит при изменении какого-либо из параметров системы. В этом случае данный параметр называется *параметром порядка*. Подход к моделированию сложных систем состоит в выделении параметров порядка. Параметры порядка – одно из базовых понятий синергетики. Основная идея данного понятия состоит в том, что выделяются несколько главных переменных, к которым подстраиваются все остальные. Выделение параметров значительно упрощает процесс исследования системы. Посредством уменьшения (или увеличения) значений параметров порядка можно влиять на поведение системы, на изменение ее состояния.

В последние годы плодотворно развивается теория мягкого моделирования. В математике разработаны методы, позволяющие делать выводы общего характера без знания точного явного вида функций. Теория мягкого моделирования – это искусство получать относительно надежные выводы из анализа малонадежных моделей. В результате исследователь не получает конкретных данных. Он обращает внимание на качественные эффекты: появление новых тенденций, возникновение новых качеств и т.д. Необходимо отметить, что, как показал опыт, процесс построения мягких моделей богат не столько конкретными решениями задач, сколько рождением новых теорий, концепций и т.д. [14].

В соответствии с эволюционно-синергетической парадигмой, развитие понимается как последовательность длительных периодов, соответствующих стабильным состояниям системы, которые прерываются короткими периодами хаотического поведения («бифуркациями»), после чего происходит переход к следующему устойчивому состоянию («аттрактору»), выбор которого определяется, как правило, флуктуациями в точке бифуркации. Таким образом, описание динамики сложной системы с помощью возможных траекторий в пространстве фазовых переменных позволяет исследовать особенности ее поведения при различных внешних условиях и при различных управляющих воздействиях.

Основным отличием социально-экономических систем от прочих является то, что они состоят из активных субъектов, осуществляющих целенаправленную деятельность в соответствии с принимаемыми ими решениями и способных к рефлексии по поводу своих действий и действий других субъектов. Способность субъектов к изменению стратегии и тактики своей деятельности на основе рефлексии без жесткой привязки к изменению внешних условий делает социально-экономические системы внутренне неустойчивыми. Неустойчивость усугубляется тем, что субъекты преследуют, как правило, не совпадающие, а зачастую прямо противоположные цели. Сильная неустойчивость социально-экономических систем приводит к тому, что согласованное взаимодействие субъектов возможно лишь при четко налаженном управлении (самоуправлении), причем интенсивность управляющих воздействий должна превышать определенный «порог синхронизации». В противном случае управляемость теряется и система распадается.

Способность субъектов к целенаправленной деятельности повышает роль процессов самоорганизации в социально-экономических системах. Благодаря этим процессам формируются устойчивые состояния (аттракторы), к которым эволюционируют социально-экономические системы, несмотря на различные перипетии в своём развитии.

Способность к самоорганизации и, как следствие, устойчивость к внешним воздействиям обусловлена способностью к возникновению когерентных состояний в системе, то есть способностью отдельных подсистем и элементов синхронизировать свои действия на основе согласованного принятия решений. Согласованность достигается, как правило, в результате информационного взаимодействия элементов.

Рассмотрим методологические ориентиры социально-экономического анализа в рамках синергетического подхода [17].

1. *Незамкнутость экономических систем.* Для того чтобы в сложных системах происходили процессы самоорганизации, они должны быть открытыми, в них должны происходить постоянные притоки и оттоки вещества, энергии и информации из внешней среды. Важно иметь в виду, что открытость любой сложной системы порождает целый спектр нелинейных эффектов.

2. *Неравновесность экономических процессов.* Важной характеристикой системы, способной к самоорганизации, является то, что система должна находиться в неравновесном состоянии. Любая система, находящаяся в равновесном состоянии, «мертва», так как для нее не существует ни времени, ни истории. Стабильные формы – это тупиковые формы, эволюция которых прекращается.

3. *Необратимость экономической эволюции.* В социальных системах необратимость выступает в виде накопления и хранения исторического опыта, воплощенного в знаниях, идеологии, навыках, традициях, поэтому невозможно повернуть вспять и повторить пройденное или выбрать иной путь развития. В экономических системах универсальное свойство необратимости процесса и неравновесность состояния выступают в неразрывном единстве, как и в физическом мире.

4. *Нелинейность экономических преобразований.* Нелинейность системы заключается в том, что ее реакция на изменение внешней или внутренней среды не пропорциональна этому изменению.

5. *Неоднозначность экономических целей.* В нелинейной среде может одновременно существовать множество путей развития процессов. С точки зрения синергетики, будущее вероятно, неоднозначно, но вместе с тем оно не может быть любым. Владеть существующими методами синергетики – это уметь выбирать и оценивать необходимые важные параметры.

Сложность задач, стоящих перед обществом, требует более конструктивных подходов, объединяющих усилия специалистов разных областей знания для решения острых проблем современности. Синергетика могла бы помочь в исследовании вопросов неустойчивости, изменчивости, непредсказуемости социально-экономического мира.

#### Литература:

1. Захаров В.Е., Манаков С.В., Новиков С.П., Питаевский Л.П. Теория солитонов. - Москва: Наука, 1980. - 381 с.
2. Аршинов В.И., Буданов В.Г. Синергетика: эволюционный аспект // Самоорганизация и наука: опыт философов. - Москва: Аргос. ИФ РАН, 1994.
3. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. - Москва: Мир, 1985. - 423 с.
4. Хакен Г. Синергетика. - Москва: Мир, 1980. - 404 с.
5. Бородкин Л.И., Андреев А.Ю., Левандовский М.И. Синергетика в социальных науках: пути развития, опасности и надежды // Круг идей: макро- и микроподходы в исторической информатике. <http://www.ab.ru/~kleio/aik/krug/5/4.shtml>.
6. Ротару А., Сидорко А. Некоторые вопросы теории порядка и хаоса в развитии общества и синергетической парадигмы государства // Материалы Международной научно-практической конференции «Конституционное развитие Республики Молдова на современном этапе». - Бельцы, 2004, с.30-43.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. - Москва: Наука, 1994. - 236 с.
8. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировоззрение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. - 1992. - №12. - С. 3-20.
9. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика – теория самоорганизации: идеи, методы, перспективы // Знание. - 1983. - №2. - 64 с.
10. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Синергетика – новые направления // Знание. - 1989. - №11. - 48 с.
11. Малков С.Ю. Моделирование социальной самоорганизации – ключ к пониманию логики исторического развития. <http://spkurdyumov.narod.ru/malcov11.pdf>
12. Малков С.Ю. Применение методов синергетики к анализу социальных систем // Стратегическая стабильность. - 1997. - №1. - С.51.
13. Малков С.Ю., Ковалев В.И., Лобов С.С. Логико-математическое моделирование социально-экономических систем. Методический аспект // Стратегическая стабильность. - 2002. - №1. - С.60-66.
14. Пугачева Е.Г., Соловьев К.Н. Самоорганизация социально-экономических систем: Учебное пособие. - Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003. - 172 с.
15. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. - Москва, 1986. - 420 с.
16. Форрестер Дж. Мировая динамика. - Москва: Наука, 1978. - 165 с.
17. Сапеецкий А.О. Социосинергетика // Синергетика. Труды семинара. Том 2. - Москва: МГУ, 1999, с.194-213.

Prezentat la 15.09.2007