

ЭКОНОМЕТРИКА (МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ)

Эконометрика (методы статистического анализа и прогнозирования)

Econometrics (methods of statistical analysis and forecasting)

УДК 339.722:519.865

М.Ю. Кусый

канд. экон. наук, доцент

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗНОМУ
МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ЦЕНЫ НА ФИНАНСОВЫХ
РЫНКАХ С УЧЕТОМ ИХ СИСТЕМНОЙ СЛОЖНОСТИ**

Постановка проблемы. Современные финансовые рынки, в связи с появлением новейших информационных технологий, переживают период бурного развития. Однако, мировая теория и практика в области анализа и прогнозирования поведения этих институтов до настоящего времени не выработала однозначных подходов к определению существенных характеристик таких социально-экономических систем.

Непредсказуемость поведения финансовых рынков, неожиданные скачки цен, непонятные изменения в тенденциях трендов и финансово-экономические кризисы – вот далеко не полный перечень проблем, которые не нашли своего адекватного объяснения в рамках неоклассической экономической теории (эти проблемы затрагиваются, в том числе, и в [1-5]).

По мнению академика РАН В. М. Полтеровича современная экономическая наука переживает кризис [6]: большинство существующих методологических подходов не состоятельны при анализе таких сложных динамических социально-экономических систем, какими, в том числе, являются финансовые рынки.

Эти выводы можно аргументировать следующим образом [7, с. 15]:

большое количество общих научных результатов в теоретической экономике не подтверждается практикой, что является свидетельством неполноты или противоречивости начальных входных положений и базовых моделей;

большинство конкретных результатов оказалось неустойчивыми к обоснованным вариациям начальных гипотез;

достаточно часто найденные эмпирические закономерности не подтверждаются, а, наоборот, опровергаются дальнейшими исследованиями.

Ведь концептуальные основы современной экономической науки и математический аппарат, который она использует, окончательно сформировались в первой половине XX века. Однако, глобализация финансовых рынков, усиление интеграции национальных экономик, ускорение технического прогресса, сокращение жизненного цикла товаров и технологий, рефлексивные процессы в экономике – все это приводит к необходимости переосмысления существующего научного финансово-экономического наследия и разработке новых методологических парадигм, соответствующих требованиям достижения современной науки и практики.

Анализ основных исследований и публикаций. Последние десятилетия активно развиваются различные, в том числе, и междисциплинарные, направления научных исследований, которые достаточно адекватно учитывают указанные особенности развития социально-экономических систем. Сюда следует отнести такие современные научные направления как эконофизика [8-11], синергетика [12-14], теория хаоса [15-20], теория сложных систем или теория сложности [21-24].

Существующие методы исследования социально-экономических систем, какой является финансовый рынок, не позволяют в полной мере адекватно анализировать

присущие им свойства. Разработка методологических подходов, которые дают адекватную качественную и количественную характеристику механизмов функционирования финансового рынка с целью анализа и прогнозирования динамики цены на нем, а также выбор эффективного аналитического инструментария для достижения поставленной цели, относится к числу наиболее актуальных задач в исследовании таких систем.

Изложение основного материала. Для корректного исследования финансового рынка нужно выяснить его системную специфику. Финансовый рынок можно охарактеризовать как сложную социально-экономическую систему.

Следует определиться с некоторыми важными для дальнейшего исследования терминами.

Определение. Социально-экономическая система (СЭС) – это конечное множество элементов (субъектов и объектов системы) и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного интервала времени.

В предложенном определении СЭС (в рамках проводимого исследования) существенными являются следующие положения:

Среди элементов и внешней среды такой системы – и это существенно отличает СЭС от иных систем – всегда присутствуют субъекты: мыслящие элементы или лица, принимающие решения (ЛПР – менеджмент, инвесторы, государственные регуляторы, контрагенты и проч.). При этом ЛПР, являясь элементом системы (или элементом внешней по отношению к СЭС среды), оказывает воздействие на саму систему и, тем самым, изменяет ее (так называемые рефлексивные процессы между ЛПР и системой), что делает СЭС динамичными и достаточно сложными для исследования. Кроме того, не всегда цели ЛПР и СЭС совпадают. Это может привести к конфликту интересов, что, в свою очередь, усложняет систему, т.е. увеличивает перечень проблем, которые следует учитывать при построении адекватной модели исследуемой СЭС. Итак, рефлексивность является неотъемлемым атрибутом финансового рынка как системы. При чем рефлексивность, как атрибут системы также отражает итерационность мышления субъектов СЭС.

Среди отношений, как внутри системы, так и системы с окружающей средой, важное место занимают отношения между ЛПР, которые не всегда возможно однозначно выразить аналитически, поскольку эти отношения строятся под воздействием таких характеристик ЛПР как психология, ментальность, эрудиция, коммерческая хватка, адекватность реакции ЛПР на изменения в окружающей среде и проч. Это также повышает сложность системы.

Также следует учитывать влияние на СЭС макро- и микроэкономических векторов развития (как в самой системе, так и в окружающей ее среде) и ее адаптацию к ним, что не всегда можно адекватно формализовать. Следовательно, адаптация финансового рынка к изменению экзо- и эндогенных воздействий также является системным атрибутом финансового рынка.

Неотъемлемым атрибутом системы является цель ее развития. СЭС нередко присущи изменения цели развития в связи с изменениями в окружающей среде и изменениями в целях ЛПР, которые также с течением времени зачастую изменяются. Со сменой цели меняется и сама система: СЭС с новой целью – это уже другая система (в соответствии с данным выше определением).

Со сменой цели определяется период времени или жизненный цикл, в течение которого система эволюционировала. Следовательно, жизненный цикл СЭС ограничен во времени и корректный анализ, равно как и построение адекватной модели СЭС, невозможны без учета продолжительности этого периода времени. Жизненный цикл системы также является ее неотъемлемым атрибутом.

Указанная выше динамичность СЭС проявляется в дрейфе характеристик системы, в изменении значений ее параметров, в эволюции сложной системы во времени в сторону цели СЭС. Чем сложнее система, тем более рельефно проявляется эта ее черта, что создает дополнительные сложности при построении адекватной модели для исследуемой СЭС.

Автором было проведено исследование по изменению оптимальной величины управляющего параметра системы на примере порядка простой скользящей средней. Оказалось, что для 282 анализируемых котировок EUR/USD рынка ForEx с периодичностью поступления информации с рынка каждые 5 минут эффективный порядок простой скользящей средней менялся 12 раз. Он принимал значения 5, 8, 13 и 24 (под эффективным порядком простой скользящей средней условимся понимать такую величину, при которой запаздывание сигнала на начало торговой операции – минимально). Это свидетельствует о том, что примерно за сутки анализируемый рынок (как система) претерпевал изменения 12 раз. То есть, за сутки 12 раз изменялись характеристики системы, анализируемые с помощью простой скользящей средней. И, следовательно, 12 раз изменялся уровень системной сложности рынка.

Из динамичности вытекает волатильность (иногда достаточно существенная) количественных характеристик СЭС, обусловленная не столько наличием каких-то специальных генераторов случайных помех, сколько сложностью самой системы и вытекающим из нее неизбежным обилием всякого рода второстепенных (с точки зрения целей исследования) процессов. Поэтому поведение системы зачастую обусловлено не столько детерминированными процессами, сколько случайными процессами, протекающими в сложной системе и порождающими волатильность поведения ее количественных характеристик. Любая СЭС имеет множество такого рода случайных воздействий, которые также являются свидетельством ее сложности.

К особенностям СЭС следует также добавить динамическую неуравновешенность таких систем, которая связана с постоянным воздействием на СЭС факторов различной природы, что опять же увеличивает системную сложность.

Перечень особенностей СЭС, увеличивающих ее сложность, можно было бы продолжить. Однако в любом случае следует помнить, что в работе отмечены лишь атрибуты, свойственные сложной системе, но ни в коей мере не ее формальные признаки.

Следовательно, СЭС, к которым относится и финансовый рынок, следует отнести к сложным системам.

Мы являемся свидетелями перехода «от традиционной экономики к экономике сложности (complexity economy)» [13].

Во многом это обусловлено достижениями в разных областях фундаментальных и прикладных наук, полученных за последние три десятилетия, которые опровергли один из главных постулатов классической экономики относительно рациональности поведения экономических агентов. Такую мысль поддерживает А. Гальчинский. Он считает, что настало время «...методологического обновления экономической теории – на творческом освоении наработанных прикладными науками (прежде всего, физикой и математикой) концептуальных постулатов функционирования и развития сложных систем». По мнению А. Гальчинского, именно методология сложных систем и является той основой, которая позволяет нам предметнее осмыслить проблему междисциплинарных связей экономической теории с другими общественными и естественными науками, в частности проблему научного синтеза, которая приобретает значение в современном научном процессе [25].

Попытаемся определить, что такое сложность как понятие.

Существуют разные подходы к определению специфики сложности. Их объединяют акценты на сложностях структурного построения, взаимозависимости и взаимодействия разнокачественных составных частей, которые функционируют в пределах системы. «Сложность, – пишут М. Згуровский и Н. Панкратова, – это общее свойство единого множества разнообразных объектов, которые структурно взаимосвязаны, функционально взаимозависимы и взаимодействуют между собой...» [26].

Важно учитывать и то, что смещение акцентов от простого к сложному – это не просто констатация определенной научной парадигмы. Речь идет о новых мировоззренческих основах, новой культуре мышления, о базовых принципах современного постмодернистского мировосприятия. «Экономика сложности» сейчас не является четко оформившейся научной дисциплиной, скорее – это область междисциплинарных исследований, которые включают аспекты поведенческой

экономики, теории сложных сетей, имитационного моделирования, теории хаоса, а также идеи, заимствованные из физики, биологии, антропологии, когнитивной психологии и других природонаучных и гуманитарных дисциплин [25].

Термин «сложная система (complex system)», вообще говоря, не имеет строгого определения. Однако попытки некоторых авторов разрешить эту проблему заслуживают внимания.

Так, в [27] со ссылкой на авторитетное издательство «Шпрингер» предложена следующая формулировка: «Сложные системы – это системы, которые состоят из множества взаимодействующих агентов, владеющих способностью порождать новые качества на уровне макроскопического коллективного поведения, проявлением которой является спонтанное формирование заметных темпоральных, пространственных или функциональных структур».

Очевидно, что в этом определении доминирует подход к сложным системам с позиции их рефлексивности. А это, в свою очередь, приводит к существенным трудностям процесса построения модели таких систем из-за появления значительного числа параметров системы, которые необходимо учитывать. При этом не все параметры СЭС, отражающие рефлексивные процессы в системе, можно оценить количественно и однозначно, что делает процесс моделирования таких систем весьма трудоемким (с большой вероятностью потери адекватности модели).

В [27] находим следующее определение: «Сложная система – система, состоящая из множества взаимодействующих составляющих (подсистем), вследствие чего сложная система приобретает новые свойства, которые отсутствуют на подсистемном уровне и не могут быть сведены к свойствам подсистемного уровня».

Это определение также далеко от конкретизации понятия сложности системы, так как предлагаемая в нем характеристика, касающаяся описанных в определении свойств, относится ко всем системам без исключения.

В [28] находим еще один интересный подход к определению понятия системной сложности:

«Сложные системы принадлежат к классу неупорядоченных систем. Акценты на неупорядоченность сложных систем, как правило, связаны с гносеологией наших незнаний, недостаточностью соответствующих научных обобщений. Неупорядоченность представляется нам проявлением сложности, когда мы ее не знаем. Тем не менее, система, пишет по поводу этого французский ученый А. Атлан, не может считаться в самом деле сложной. Неупорядоченность, отмечает он, выступает как сложность лишь в отношении к порядку, существование которого мы стремимся расшифровать. Иными словами, ученый акцентирует внимание на том, что сложность – это видимая неупорядоченность, за которой у нас есть причины предполагать наличие скрытого порядка. Так, речь идет о том, что сложность – «это упорядоченность, к которой мы пока что не имеем ключа». «Сложность, – пишет А. Атлан, – предусматривает, что мы имеем о структуре глобальное представление, и вместе с тем это представление не дает нам возможности познать ее досконально. Вот почему сложность измеряется информацией, которой мы не владеем и которая нужна, чтобы определить систему во всех ее деталях».

«Сложность, – отмечает И. Пригожин, – это свойство систем, которые при заданных ограничениях имеют больше одного возможного решения» [23].

Указанные выше подходы к определению термина «системная сложность» однако не дают четкой формулировки этого понятия, и, как следствие, использование системной сложности в анализе и прогнозировании поведения СЭС ограничено пока лишь вербальным уровнем. Это способствует повышению трудностей при выборе формализующего корректного математического описания, которое позволило бы построить достаточно адекватную модель исследуемой СЭС или отдельного процесса, проходящего в ней. Под математическим описанием подразумевается наличие оператора F , зачастую нелинейного и, возможно даже вербального, вычисления состояния системы P , зависящего от детерминированных (D) и недетерминированных (S) воздействий на систему, т. е. $P=F(D, S)$.

При этом следует учитывать, что динамичность, а также ограниченность длины жизненного цикла СЭС зачастую приводит либо к необходимости уточнять величины

управляющих параметров построенной модели, либо к полной ревизии построенной модели с возможной ее заменой на более адекватную.

Описанные выше атрибуты сложности СЭС составляют далеко не полный перечень таких атрибутов. Для различных СЭС этот перечень может видоизменяться. Отсутствие одного или даже нескольких из описанных атрибутов системы вовсе необязательно делает СЭС простой.

Сложность системы, ввиду неоднозначности толкования этого термина, практически невозможно измерить количественно, хотя уменьшение уровня сложности СЭС, как правило, приводит к облегчению процесса прогнозирования поведения системы. Однако, существуют некоторые атрибуты системной сложности финансовых рынков, которые возможно количественно измерить, такие как рефлексивность, длина жизненного цикла системы и т.д.

Автором в [29] такой подход был реализован на методологическом уровне, а предложенная в этой работе количественно измеряемая текущая волатильность была успешно использована в качестве меры рефлексивности финансового рынка, как атрибута СЭС, в прогнозном моделировании динамики цены.

Следовательно, можно измерять уровень сложности СЭС при помощи ее атрибутов, количественная мера которых уже разработана. Такие «количественные меры сложности», как правило, реагируют на критические изменения в динамике системы, что позволяет использовать их в процессе диагностики и прогноза будущих изменений в системе. Подобные проблемы успешно решались в [30-35], но отсутствие однозначной трактовки того, какой именно атрибут сложности предлагаемые в этих работах меры измеряют, несколько снижают ценность таких «количественных мер сложности».

Представляется важным решение следующей проблемы: как можно ли адекватно исследовать и прогнозировать динамику цены на финансовых рынках, и на каких методологических основаниях это нужно делать?

Предлагается следующий алгоритм исследования финансовых рынков как сложных систем.

Введем некоторые допущения.

Сложность финансового рынка как системы определяется некоторым конечным набором атрибутов сложности. Часть этих атрибутов описана выше.

В рамках конкретного исследования, существует возможность выделения нескольких существенных атрибутов системной сложности (САСС).

Некоторые из этих САСС можно количественно измерить с адекватной трактовкой изменения величины конкретного САСС по шаблону: что конкретно характеризует увеличение (уменьшение) величины САСС по отношению к сложности анализируемой системы (она увеличивается или уменьшается). Наличие такой трактовки существенно для понимания результатов измерения.

Таким образом, с помощью набора САСС, которые количественно измеримы, можно оценивать уровень сложности анализируемой системы.

С увеличением уровня сложности системы ожидается уменьшение уровня предсказуемости ее дальнейшего поведения. И, наоборот, с уменьшением уровня сложности системы ожидается увеличение уровня предсказуемости ее дальнейшего поведения.

Если количество измеряемых САСС – более двух, то можно ожидать подтверждение сигнала об изменении уровня сложности системы от одного САСС аналогичным сигналом от другого САСС. В этом случае можно адекватно говорить об изменении уровня сложности системы. И, соответственно об уровне адекватного прогнозирования ее поведения в будущем.

Описанный методологический подход, несмотря на его дискуссионность, позволяет, в какой-то мере выделить важные, с точки зрения корректности процесса моделирования, характеристики СЭС и более адекватно описывать сложную систему как объект исследования. Описанный алгоритм предлагается применять для анализа и прогнозирования поведения цены на финансовых рынках (хотя, может быть, он является более универсальным, и может использоваться для СЭС различной природы).

Предлагаемый методологический подход к прогнозному моделированию на финансовых рынках с учетом их системной сложности не является окончательным и требует дальнейшего исследования на адекватность его применения к конкретному виду СЭС.

Выводы. Сложность – неотъемлемая характеристика финансового рынка как социально-экономической системы, которая пока не имеет однозначного определения, и, как следствие, количественной оценки. Но некоторые атрибуты сложности возможно измерить количественно.

Специфические особенности СЭС, которые описаны в работе, важны для понимания возможных путей развития системы.

Некоторые существенные атрибуты системной сложности, которые могут быть количественно измерены, можно использовать как меру изменения сложности системы и, тем самым такие атрибуты дают возможность оценивать в динамике изменения сложности системы.

Предложенный алгоритм использования таких атрибутов в качестве количественной меры системной сложности является методологической базой для проведения анализа и прогнозирования поведения социально-экономических систем, к которым относятся финансовые рынки.

Литература

1. Agaev A. Multifractal analysis and local hoelder exponents approach to detecting stock markets crashes / A. Agaev, Yu. F. Kuperin [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://arXiv:cond-mat/0407603>.
2. Andersson M. K. On the effects of imposing or ignoring long memory when forecasting / M. K. Andersson // Working Paper Series in Economics and Finance, № 225, e-print: <https://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc.../xaghtmlnode100.html>.
3. Bouchaud J. P., Economics needs a scientific revolution, e-print: <http://www.nature.com/nature/journal/v455/n7217/full/4551181a.html>.
4. Avtonomov, V. S., 2006. Methodological problems of modern economics. Herald of the RAS, vol. 76, 3, pp. 203-208.
5. Pincus S. Irregularity, volatility, risk, and financial market time series / S. Pincus, R. E. Kalman // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 2004. — Vol. 101, № 38. — P. 13709-13714.
6. Полтерович В. М. Кризис экономической науки. Доклад на научном семинаре Отделения экономики и ЦЭМИ РАН «Неизвестная экономика» / В. М. Полтерович [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.cemi.rssi.ru>.
7. Дербенцев В. Д. Синергетичні та екофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем. Монографія / [В. Д. Дербенцев, О. А. Сердюк, В. М. Соловйов, О. Д. Шарапов.] — Черкаси : Брама-Україна, 2010. — 300 с.
8. Plerou V. Econophysics : financial time series from a statistical physics point of view / [V. Plerou, P. Gopikrishnan, B. Rosenow, and others] // Physica A. — 2000. — № 279. — P. 443-456.
9. Barkley J. Dynamics of markets. Econophysics and finance / J. Barkley, Jr. Rosser / By Joseph L. McCauley. — Cambridge : Cambridge University Press, 2004. — 209 p.
10. Kondratenko A. Physical models of economic systems. Classical and quantum economics / A. Kondratenko. — Novosibirsk : Nauka, 2005. — 30 p.
11. Mantegna R. N. An introduction to econophysics / R. N. Mantegna, H. E. Stanley. — Cambridge : Cambridge University Press, 2000. — 144 p.
12. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / В.-Б. Занг. — М. : Мир, 1999. — 354 с.
13. Лоскутов А. Ю. Введение в синергетику / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. — М. : Наука, 1990. — 248 с.
14. Мочерний С. Синергетичний підхід в економічному дослідженні / С. Мочерний // Економіка України. — 2001. — № 5. — С. 44-51.
15. Chaos. Theory in economics : methods, models and evidence / Edited by Dechert W. D., Edward Elgar PC, 1996. — 36 p.
16. Gilmore, C. G., 1993. A new test for chaos. Journal of economic behavior and organization, 22, pp. 209-237.
17. Lorenz, Hanz-Valter, 1989. Nonlinear dynamical economics and chaotic motion, Springer-Verlag, 320 p.
18. Peters, E., 2004. Fractal analysis of financial markets: the application of chaos theory to investment and economics, M., Internet Trading, 304 p.
19. Peters, E., 2000. Chaos and order in the capital markets. Analytical view of cycles, prices, and market volatility, M.,
1. Agaev, A. and Kuperin, Yu. F., Multifractal analysis and local hoelder exponents approach to detecting stock markets crashes, e-print: <http://arXiv:cond-mat/0407603>.
2. Andersson, M. K., 1998. On the effects of imposing or ignoring long memory when forecasting. Working Paper Series in Economics and Finance, № 225, e-print: <https://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc.../xaghtmlnode100.html>.
3. Bouchaud, J. P., Economics needs a scientific revolution, e-print: <http://www.nature.com/nature/journal/v455/n7217/full/4551181a.html>.
4. Avtonomov, V. S., 2006. Methodological problems of modern economics. Herald of the RAS, vol. 76, 3, pp. 203-208.
5. Pincus, S. and Kalman, R. E., 2004. Irregularity, volatility, risk, and financial market time series. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., vol. 101, 38, pp. 13709-13714.
6. Polterovich, V. M./ Crisis of economics. Paper presented at a scientific seminar of the Economics and CEMI RAS "Unknown economy, e-print: <http://www.cemi.rssi.ru>.
7. Derbentsev, V. D., Serduk, A. A., Soloviev, V. N. and Sharapov, A. D. Synergistic and econophysics methods for research of dynamic and structural characteristics of economic systems. Monography (Cherkasy, Gate-Ukraine, 2010), 300 p.
8. Plerou, V., Gopikrishnan, P., Rosenow, B., Amaral, L. A. N., Guhr, T. and Stanley, H. E., 2000. Econophysics : financial time series from a statistical physics point of view. Physica A., 279, pp. 443-456.
9. Barkley, J. and Rosser, Jr., Dynamics of markets. Econophysics and finance, By Joseph L. McCauley, Cambridge University Press, 2004, 209 p.
10. Kondratenko, A., Physical models of economic systems. Classical and quantum economics, Novosibirsk, Nauka, 2005, 30 p.
11. Mantegna, R. N. and Stanley, H. E., An introduction to econophysics, Cambridge University Press, 2000, 144 p.
12. Zhang, V.-B. Synergetics economy. Time and changes and in the nonlinear theory economic theory, Moscow, Mir, 1999, 354 p.
13. Ljskutov, A. Yu. and Michaylov, A. S. , Introduction to Synergy (Moscow: Nauka 1990), 248 с.
14. Mocherny, S., 2001. Synergistically approach to economic research, Economy of Ukraine, № 5. pp. 44-51.
15. Chaos. Theory in economics: methods, models and evidence / Edited by Dechert W. D., Edward Elgar PC, 1996, 36 p.
16. Gilmore, C. G., 1993. A new test for chaos. Journal of economic behavior and organization, 22, pp. 209-237.
17. Lorenz, Hanz-Valter, 1989. Nonlinear dynamical economics and chaotic motion, Springer-Verlag, 320 p.
18. Peters, E., 2004. Fractal analysis of financial markets: the application of chaos theory to investment and economics, M., Internet Trading, 304 p.
19. Peters, E., 2000. Chaos and order in the capital markets. Analytical view of cycles, prices, and market volatility, M.,

18. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс. — М. : Интернет-трейдинг, 2004. — 304 с.
19. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / Э. Петерс. — М. : Мир, 2000. — 333 с.
20. Рюэль Д. Случайность и хаос / Д. Рюэль. — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 192 с.
21. Cohen J. The collapse of chaos. Discovering simplicity in a complex world / J. Cohen, I. Stewart. - London: Viking, 1994. - 495 p.
22. From simplicity to complexity. Part II. Information – Interaction – Emergence / Ed. by K. Mainzer, A. Müller, W. G. Saltzer. — Braunschweig ; Wiesbaden : Vieweg, 1988. - 2337 p.
23. Гальчинський А. Методологія складних систем / А. Гальчинський // Економіка. — 2007. — № 8. — С. 4-18.
24. Дербенцев В. Д. Сучасні методи дослідження складних фінансово-економічних систем / В. Д. Дербенцев, В. М. Соловійов, О. Д. Шарапов // Вісник української академії банківської справи. — 2006. — № 1 (20). — С. 100-110.
25. Лега Ю. Г. Складність соціально-економічних систем / Ю. Г. Лега, В. В. Мельник, В. М. Соловійов // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). — 2012. — № 2 (18), Том 6. — С. 85-99.
26. Згуровский М. З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. — К. : Наукова думка, 2005. — 744 с.
27. Аршинов В.И. Синергетика конвергирует со сложностью / В.И. Аршинов // Вопросы философии. - 2011. - №4. - С. 73-83.
28. Шишова О. Б. Квантова логіка теорії диверсифікації як відображення синергетики в складних економічних системах / О. Б. Шишова, І. І. Давидова [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/nvnau_eamb/2012_169_1/12sob.pdf.
29. Кусый М. Ю. Методологические основы применения рефлексивности в прогнозном моделировании трендов на финансовых рынках / М. Ю. Кусый // Рефлексивные процессы в экономике: концепции, модели, прикладные аспекты : монография; под ред. Р. Н. Лепы: НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти / М. Ю. Кусый. — Донецк : АПЕКС, 2011. — С. 144-162.
30. Kiv A. Multiscaling of information complexity measures // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : Монографія / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. / А. Kiv, V. Soloviev, K. Solovieva. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 12-23.
31. Батир А. В. Порівняльний аналіз рекурентних та ентропійних мір складності / А. В. Батир, В. М. Соловійов, В. В. Щерба. // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : Монографія / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 84-90.
32. Данильчук Г. Б. Використання мультимасштабної перестановочної ентропії для дослідження складності // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : Монографія / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. / Г. Б. Данильчук, О. С. Лук'янчук, В. М. Соловійов. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 90-100.
33. Рибчинська О. М. Нереверсивні міри складності // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : Монографія / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. / О. М. Рибчинська. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 100-109.
34. Соловійов В. М. Особливості побудови та застосування індикаторів-передвісників кризових явищ на основі масштабно-залежного показника Ляпунова // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : [Монографія] / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. / В. М. Соловійов, І. О. Стратійчук. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 109-115.
35. Соловійов В. М. Використання ентропії Тсалліса для оцінки складності економічних систем // Інформаційні технології та моделювання в економіці : на шляху до міждисциплінарності : [Монографія] / За ред. д.ф.-м.н., проф. Соловійова В.М. та ін. / В. М. Соловійов, О. А. Сердюк. — Черкаси : Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. — С. 115-130.
- Mir, 333 p.
20. Ruelle, David, 2001. Randomness and chaos, Izhevsk: SIC "Regular and Chaotic Dynamics", 192 p.
21. Cohen, J. and Stewart, I., 1994. The collapse of chaos. Discovering simplicity in a complex world, London, Viking, 495 p.
22. From simplicity to complexity. Part II. Information – Interaction – Emergence / Ed. by K. Mainzer, A. Müller, W. G. Saltzer, Braunschweig; Wiesbaden, Vieweg, 1988, 2337 p.
23. Hal'chyn'skyi, A., 2007. Methodology of complex systems. Economy, 8, pp. 4-18.
24. Derbentsev, V. D., Soloviev, V. N. and Sharapov, A. D., 2006. Modern methods of complex financial and economic systems. Bulletin of the Ukrainian Academy of Banking, 1 (20), pp. 100-110.
25. Lega, Yu. G., Melnik, V. V. and Soloviev, V. N. 2012. The complexity of socio-economic systems. Proceedings of the Tauride Agrotechnological State University (Economics), 2 (18), vol. 6, pp. 85-99.
26. Zgurovsky, M. Z. and Pankratova, N. D., 2005. System analysis. Problems, methodology, application. K., Naukova dumka, 744 p.
27. Arshinov. V. I., 2011. Synergetics converges with the complexity. Problems of Philosophy, 4, pp. 73-83.
28. Shishova, O. B. and Davydova, I. I., Quantum logic of theory of diversification as displaying of synergy in complex economic systems, e-print http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/nvnau_eamb/2012_169_1/12sob.pdf.
29. Kussy, M. Yu., 2011. Methodological fundamentals of reflexivity's application in forecast modeling for market trend. Reflexivity processes in the economy: the concepts, models, apply aspects: monograph, ed. By R. N. Lepa: NAS UKRAINE, Inst. of industry economy. Donetsk, APEX, pp. 144-162.
30. Kiv, A., Soloviev, V. and Solovieva, K., 2013. Multiscaling of information complexity measures. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph, ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 12-23.
31. Batyr, A. V., Solovyev, V. N. and Scherba, V. V., 2013. Comparative analysis of recurrence and entropy measures the complexity. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph, ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 84-90.
32. Danilchuk, G. B., Lukyanchuk, O. S. and Solovyev, V. N., 2013. Using of multiscale permutation entropy for investigation of complexity. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph, ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 90-100.
33. Rybczynska, O. M., 2013. Irreversible degree of complexity. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph / ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 100-109.
34. Solovyev, V. N. and Stratiychuk, I. A., 2013. Features of the building and use of crisis indicators-precursors on the basis of scale-dependent Lyapunov parameter. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph / ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 109-115.
35. Solovyev, V. N. and Serduk, O. A., 2013. Use Tsallis entropy to measure the complexity of economic systems. Information technology and modelling in economics: towards interdisciplinarity: monograph / ed. Dr. Sci. V. Solovyev and others. Cherkasy, Brahma-Ukraine, publisher Vovchok, O. Y., pp. 115-130.