

Ключевые слова:

открытая экономика, хаос,
экономические агенты,
государственная политика

Н. Н. Каурова, к. э. н.,

доц. кафедры «Финансовый менеджмент»
Финансового университета при Правительстве Российской Федерации,
начальник отдела организации продвижения и продаж Управления
корпоративных клиентов и малого бизнеса Сбербанка России
(e-mail: Kaurova.Natalia@gmail.com)

Методологические подходы к управлению открытыми финансово-экономическими системами

Любая структурированная система и составляющие ее элементы должны обладать определенной устойчивостью. Как правило, устойчивость финансово-экономической системы (ФЭС) принято оценивать посредством соотнесения фактических данных и их прогнозных значений, определяемых на основании локальных исторических данных, с рядом количественных и экспертных индикативных параметров.

Однако для неустойчивой динамической системы с многочисленными эволюционирующими агентами данный прием недопустим. Одна из главных особенностей ФЭС — то, что это сложные системы¹ с большим количеством взаимосвязанных элементов, таких как физические лица, компании, страны и т. д. Их взаимодействие, как правило, нелинейно, что свидетельствует о многовариантном поведении системы². Подобные структуры ведут себя скорее динамически, чем статически, и вероятно, а не детерминировано. Как следствие, сложные системы демонстрируют зачастую удивительное и даже парадоксальное поведение, в связи с чем они слабо предсказуемы и практически неконтролируемы. Данные свойства не укладываются в традиционный образ мышления, основанный на классических теоретических предпосылках и линейной теории устойчивости, поэтому они слишком сложны для лиц, принимающих решения³.

Позиция и предположения, высказанные в данной статье, — личное мнение автора и не отражают точку зрения Сбербанка России и Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

¹ См., например: Colander D., ed. *The Complexity Vision and the Teaching of Economics*. Elgar, Cheltenham, UK, 2000; Helbing D. *Systemic risks in society and economics*, International Risk Governance Council (irgc), 2010; Krugman P. *The Self-Organizing Economy*. Blackwell, Malden, MA, 1996.

² См.: Haken H. *Synergetics: Introduction and Advanced Topics*. Springer, Berlin, 2004.

³ См.: Dorner D. *The Logic Of Failure: Recognizing and Avoiding Error in Complex Situations*. Basic, New York. 1997.

АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Необходимо отметить методологические особенности в оценке поведения сложных систем, которые состоят в следующем.

Во-первых, в нелинейном взаимодействии между структурными элементами и их значимом влиянии на сложную динамику системы. Типичный пример — система, которая не реагирует на попытки управления и контроля или демонстрирует неожиданные изменения режима при наступлении переломного момента⁴.

Во-вторых, в степенных законах и хвостах распределения. Сильное взаимодействие между элементами системы часто меняет статистическое распределение, характеризующее их поведение. Проявляются так называемые тяжелые хвосты распределений⁵, свидетельствующие о том, что экстремальные события в системе происходят гораздо чаще, чем ожидалось.

В-третьих, в сетевом взаимодействии и системных рисках, возникающих в результате эффекта каскада. Нелинейное взаимодействие в рамках сети широко распространено в ФЭС⁶, подразумевает обратную связь и приводит к возникновению часто нежелательных побочных эффектов⁷. Кроме того, сетевые взаимодействия нередко становятся причиной цепной реакции (лавины, эффекта домино) — наиболее распространенного механизма, посредством которого локальные риски могут стать системными⁸.

В-четвертых, в самоорганизации, или самоорганизованной критичности⁹. О ней принято говорить, когда системы попадают в критическое состояние вследствие не внешних воздействий, а некоторых эндогенных процессов.

В-пятых, в уровнях предсказуемости, случайности, турбулентности¹⁰ и хаоса¹¹. Большое количество нелинейно связанных элементов может привести к сложной динамике системы, примеры которой — турбулентность и хаос, что, в свою очередь, делает поведение системы непредсказуемым после определенного периода времени. Еще одно препятствие для предсказания поведения многих сложных систем — присущая им вероятностная, или стохастическая, динамика¹², т. е. значение случайности. В общественных и финансово-экономических системах также наблюдаются эффекты «самоисполнения» или «самоуничтожения пророчеств»¹³.

Вследствие существенного влияния данных методологических аспектов на качество оценки системы и успешность управления ее стабильностью в среднесрочной и долгосрочной перспективе, остановимся на них подробнее.

⁴ См.: Arnold V. I., Wassermann G. S., Thomas R. K. *Catastrophe Theory*. Springer, Berlin. 2004; Gladwell M. *The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference*. Back Bay. 2002; Stanley H. E. *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*. Oxford University. 1987.

⁵ См.: Saichev A., Malevergne Y., Sornette D. *Theory of Zipf's Law and Beyond*. Springer, Berlin. 2010; Schroeder M. *Fractals, Chaos, Power Laws*. Dover. 2009.

⁶ См.: Barrat A., Barthélemy M., Vespignani A. *Dynamical Processes on Complex Networks*. Cambridge University, Cambridge. 2008; Carrington P. J., Scott J., Wassermann S. *Models and Methods in Social Network Analysis*. Cambridge University, New York. 2005; Helbing D., Buzna L., Peters K. D. Efficient response to cascading disaster spreading. *Physical Review E* 75, 2007; Newman M., Barabasi A.-L., Watts D. J., eds. *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton University, Princeton, NJ. 2006, и др.

⁷ См.: Sterman J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw Hill, 2000.

⁸ См.: Helbing D., Buzna L., Peters K. D. Efficient response to cascading disaster spreading. *Physical Review E* 75, 2007; Lorenz J. Battiston S., Schweitzer F. Systemic risk in a unifying framework for cascading processes on networks. *The European Physical Journal B* 71(4), 2009.

⁹ Самоорганизованная критичность — система с большим числом взаимодействующих элементов, естественным образом эволюционирующая в критическое состояние, в котором даже малое событие может привести к катастрофическому эффекту. См.: Jensen H. J. *Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems*. Cambridge University, Cambridge, 1998.

¹⁰ См.: Davidson P. A. *Turbulence*. Cambridge University, Cambridge. 2004.

¹¹ См.: Schuster H. G., Just W. *Deterministic Chaos*. Wiley-VCH, Weinheim. 2005.

¹² См.: Kampen van N. G. *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*. North-Holland, Amsterdam. 2007.

¹³ См.: Farmer R. *Macroeconomics of Self-fulfilling Prophecies*. MIT Press, 1999.

Экономисты зачастую не учитывают тот факт, что хаотическая нелинейная динамика — абсолютно характерный тип поведения для сформировавшейся к настоящему времени мировой и национальных ФЭС. При этом необходимо понимать, что наблюдаемое хаотическое поведение возникает не из-за экзогенных факторов, большого числа степеней свободы и неопределенности, а порождается собственной динамикой нелинейной детерминированной мировой ФЭС, которая находится в настоящее время в неопределенности, граничащей с хаосом.

К сложным динамическим системам невозможно применять редукционизм, т. е. анализировать их с помощью законов, свойственных более простым явлениям, или посредством изучения их отдельных частей. Система в состоянии хаоса может демонстрировать сложное поведение из-за простого нелинейного¹⁴ взаимодействия всего нескольких компонент, а их взаимодействие в одном масштабе может вызывать сложное глобальное поведение в более крупном масштабе. В связи с этим можно говорить о невозможности формирования единственно верного прогноза развития системы, находящейся в состоянии хаоса, путем построения трендов и выявления причинно-следственных связей между историческими данными и их искомыми прогнозными значениями.

Таким образом, с одной стороны, будущее полностью определено прошлым; с другой — на практике малые неопределенности увеличиваются и, следовательно, поведение, допускающее краткосрочный прогноз, на долгий срок непредсказуемо. Этим, собственно, и определяется несбыточность средне- и долгосрочных прогнозов, построенных по принципам краткосрочных, а также невозможность установления средне- и долгосрочных целевых ориентиров для национальной экономики.

При рассмотрении ФЭС как сложной не детерминированной, а вероятностной системы сразу возникают проблемы поиска метода качественного анализа и прогнозирования динамики ее поведения.

Линейная теория устойчивости, не имея эффективного способа описания внутренних динамических переменных, характеризующих происходящие в системе процессы и стабилизирующих ее в целом, в данном случае не позволяет определить и оценить устойчивость динамической ФЭС. Альтернативой могут быть только методы системной динамики. В последние десятилетия разработаны различные научные подходы к анализу сложных динамических систем, в частности:

- интеллектуальный анализ крупномасштабных данных;
- анализ сети;
- моделирование сценариев;
- анализ чувствительности;
- неравновесная статистическая физика;
- нелинейная динамика и теория хаоса;
- теории систем и кибернетики;
- теория катастроф;
- теория самоорганизации;
- статистика экстремальных событий;
- теория критических явлений;
- агент-ориентированное моделирование.

Рассмотрим наиболее перспективные из них — теории хаоса, самоорганизации и сетей, а также агент-ориентированное моделирование.

ТЕОРИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ

Проблему самоорганизации впервые начал разрабатывать немецкий физик-теоретик Г. Хакен¹⁵, заметив, что при наличии достаточного числа элементов в результате их сложного взаимодействия на месте хаоса самопроизвольно рождается порядок. Г. Хакен назвал теорию самоорганизации синергетикой (теорией совместного

¹⁴ Нелинейность означает, что причины и следствия не пропорциональны друг другу.

¹⁵ См.: Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. — М.: Мир, 1985.

действия). В соответствии с ней порядок в системах с взаимными связями между элементами возникает вокруг аттракторов¹⁶, которые формируют поле, создающее и поддерживающее устойчивость системы.

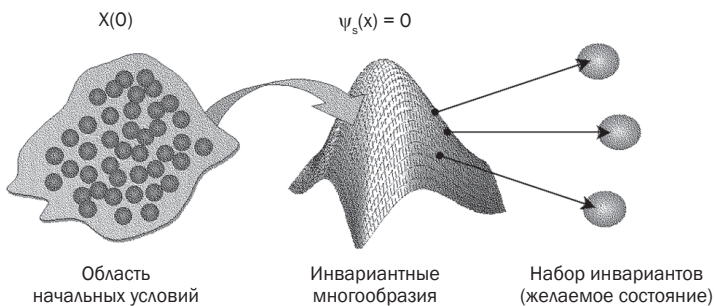
Успешная реализация целей управления системой, обладающей ограниченным числом степеней свободы, заключается в расширении фазового пространства исходного объекта. Следовательно, для синтеза эффективных систем управления следует предварительно тем или иным способом добавить достаточное для реализации целей число степеней свободы. Данное утверждение коррелируется с законом кибернетики Эшби¹⁷ (законом необходимого разнообразия).

Однако глобальная рыночная экономика обладает огромным числом степеней свободы со слабой координацией на микроуровне. Вследствие непрозрачности микрооснования, порождаемая взаимодействием элементов на данном уровне динамика оказывает существенное влияние на макроуровень. Таким образом, объектом управления в сложившихся условиях должна выступать редукция¹⁸ избыточных по отношению к заданной управленческой цели (обеспечению устойчивости системы) степеней свободы. В результате должны остаться только те степени свободы, которые определяют формирование аттракторов, отражающих целевое состояние систем и обеспечивающих организованное, относительно устойчивое их поведение. Редукция степеней свободы в синергетически обусловленной системе должна проходить посредством построения между ее участниками определенных связей — инвариантных многообразий — и выбора желаемого набора инвариантов.

Формирование желаемых инвариантов и аттракторов — способ осуществления направленной самоорганизации систем (рис. 1).

Рисунок 1

Постановка проблемы синергетического синтеза систем



Источник: Синергетическая теория управления / А. А. Колесников, Г. Е. Веселов и др. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2011.

Таким образом, управление сложными экономическими системами необходимо строить на основе принципов самоорганизации. Особенности данного подхода применительно к проблеме системного синтеза состоят, во-первых, в кардинальном изменении методологии выработки стратегических целей и управленческих воздействий для их достижения; во-вторых, в абсолютно новом подходе к анализу процедур синтеза, учитывающих свойства нелинейных объектов; в-третьих, в формировании нового механизма аналитической генерации естественной совокупности отрицательных и положительных обратных связей¹⁹, которые обеспечивают процессы направленной самоорганизации.

¹⁶ Аттрактор — некоторое конечное состояние системы, выражаемое компактным подмножеством ее фазового пространства, к которому она стремится в своем развитии при стремящемся к бесконечности времени, притягивая множество траекторий, формируемых совокупностью экзогенных и эндогенных факторов.

¹⁷ См.: Эшби У. Р. Введение в кибернетику. — М.: Иностранная литература, 1959.

¹⁸ Редукция — логико-методологический прием сведения сложного к простому.

¹⁹ Отрицательные обратные связи обеспечивают возвращение системы в исходное состояние, т. е. подавление отклонений управляемого процесса, а положительные — усиливают отклонение регулируемой величины от исходного состояния, обеспечивая взаимную стимуляцию двух процессов.

ТЕОРИИ ХАОСА И САМООРГАНИЗАЦИИ В АНАЛИЗЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Экономика как подсистема общества и его коммуникационных связей представляет собой классический пример хаоса и самоорганизованной критичности. Воспринимая ее как беспорядочную систему, ученые и политики пытаются наполнить ее смыслом путем установления весьма абстрактных и противоречивых рамок, ограничений и допущений. При этом линейные причинно-следственные подходы к пониманию экономической системы упрощают ее и отрывают теоретический базис от реально происходящих процессов. Изучение экономики с позиций хаоса и нелинейной динамики может коренным образом изменить методологию стратегического управления экономикой.

Создание стратегии в хаотической нелинейной системе должно основываться на анализе основных элементов, формирующих критичность: фазового пространства системы, ее формы и структуры. Учитывая самоподобие хаотических систем, можно говорить о ряде их потенциальных преимуществ, которые основаны на псевдослучайных последовательностях. Хаотичное состояние системы дает возможность построить достаточно простые, но при этом весьма емкие модели, которые позволяют не только записывать, хранить и извлекать информацию с помощью траекторий динамических систем, но и посредством оценивания данных траекторий и их силы моделировать их поведение.

С одной стороны, хаос накладывает определенные ограничения на возможность прогнозирования; с другой — обнаруживает причинные связи там, где раньше их никто не предполагал найти. При этом заложенный в нем детерминизм показывает, что в хаосе тоже есть некий порядок. В основе хаотического поведения лежат изящные геометрические структуры, позволяющие повысить предсказуемость многих случайных явлений.

Необходимо учитывать не только тип аттрактора и особенности его поведения, но и его притяжение — аттракцию, описываемую терминами «глубина» (сила) и «ширина» (вероятность достижения конкретного состояния в различных ситуациях) его впадины. Соответственно, глубокая, но узкая впадина может характеризовать состояние сильное, редко доступное; глубокая и широкая — интенсивное с высокой вероятностью его достижения в разных обстоятельствах; мелкая и широкая — часто встречающееся и не очень интенсивное; мелкая и узкая — сверхкраткосрочное, ощущаемое очень редко и не очень сильно²⁰.

Фазовое пространство можно зонировать по уровню устойчивости, выделив устойчивый центр и относительно неустойчивую среду и периферию. Подобное зонирование позволит не только определить общую динамику системы, но и оценить положение в ней агентов и ранжировать их по степени устойчивости.

Кроме того, необходимо учитывать траекторию и силу притяжения аттракторов, обуславливающие степень тяготения системы к тому или иному аттрактору (к примеру, с положительным или отрицательным экзогенным ростом). При этом на модели аттрактора можно тестировать различные эндогенные механизмы с целью выявления их влияния на устойчивость роста.

При формировании стратегии управления экономической системой в условиях приближения к фазовому переходу²¹ необходимо ставить задачу не установления жесткого набора показателей устойчивости, а определения меры хаоса в системе, в частности посредством энтропии движения, а также силы притяжения аттрактора и динамики микроскопических флуктуаций, оценив размерность аттрактора и его тип. Собственно, стратегия должна не задавать рамки развития самой экономической системы, а учитывать ее способность к самоорганизации и порядку и стимулировать эти процессы.

²⁰ См. подробнее: Синергетическая теория управления / А. А. Колесников, Г. Е. Веселов и др. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2011.

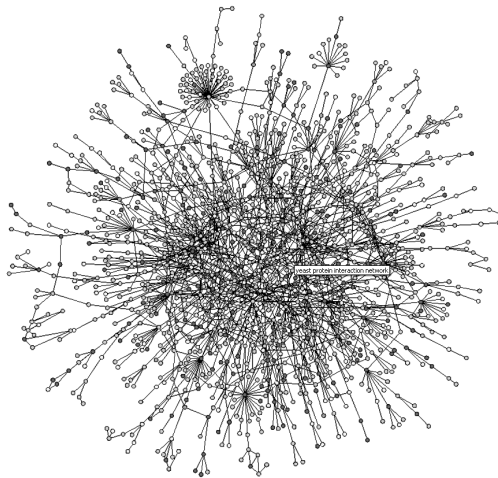
²¹ Фазовый переход — критическая точка, в которой устойчивое развитие, т. е. способность системы нивелировать случайные отклонения от основного тренда развития, сменяется неустойчивостью и возможностью реализации множества сценариев.

ТЕОРИЯ СЕТЕЙ

Еще один относительно простой способ визуализации и анализа глобальных свойств ФЭС, в первую очередь потоков капитала, — использование теории сетей, согласно которой такая система в комплексе представляет собой сеть, состоящую из большого числа взаимосвязанных динамических единиц. Построенные на базе этой теории модели представляются в виде графов, узлы которых — динамические тела, к примеру страны, и связи между ними, например потоки капитала. При этом возникают структурные проблемы с определением топологии сложной архитектуры подобных сетей, выявлением объединяющих принципов, сегментов, которые лежат в их основе, а также с разработкой модели для имитации роста сетей и воспроизведения их структурных свойств. Немаловажно также определить подходы к изучению сложных сетей в динамике и возможности использования «обучения» при воздействии на сетевые процессы, просчитать вероятность возникновения кумулятивного эффекта при наличии большого количества динамических систем, взаимодействующих через сложную топологическую структуру сетевых связей (рис. 2).

Рисунок 2

Визуализированная сеть



Источник: Research scope: Complex systems / Neural networks & evolution / Bordalier Institute (<http://www.bordalierinstitute.com/target1.html>).

При изучении сетевой топологии необходимо учитывать:

- структурную роль сильной и слабой связи между динамическими единицами сети²²;
- особенности и методы кластеризации, а также модульную структуру сети, условия и пределы ее роста²³;
- пространственные ограничения на свойства сети и причины возникновения «заторов», приводящих к локальным и глобальным фазовым переходам²⁴;

²² См.: Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports* 424. 2006; Newman M. E. J. *The Structure and Function of Complex Networks*, SIAM Review Vol. 45, No. 2, 2003.

²³ См.: Fortunato S. Community detection in graphs. *Physics Reports* 486, 2010.

²⁴ См.: Carmi S., Wu Z., L'opez E., Havlin S., Stanley H. E. Transport between multiple users in complex networks. *The European Physical Journal B* 57, 2007; Garas A., Argyrakis P., Havlin S. The structural role of weak and strong links in a financial market network. *The European Physical Journal B* 63, 2008; Jahnke L., Kantelhardt J. W., Berkovits R., Havlin S. Wave Localization in Complex Networks with High Clustering. *Physical Review Letters PRL* 101, 175702, 2008.

— коллективное и однородное поведение агентов как признак скорого краха системы;
— дифференцированные последствия изменения структуры сети вследствие изменения ядра системы (коры) или ее менее значимых слоев²⁵.

При этом в целях снижения уязвимости сложной динамической сети перед негативными событиями нужно обеспечить следующие условия, которыми имеет смысл пользоваться адаптивно, в зависимости от состояния системы:

- Структура сети должна иметь способность при необходимости раскладываться на несколько слабо связанных (даже несвязанных) подсетей.
- Структура сети должна иметь возможность улучшаться за счет дублирования, т. е. предоставления альтернативы, в результате чего критическое возмущение системы или отказ каскадов по ней (или большей ее части) возникнет только в том случае, если несколько узлов все-таки окажутся незащищенными и будут передавать возмущение далее.
- Слишком большое количество взаимосвязей может быть вредно, поскольку в этом случае формируется «инфраструктура» для широкого распространения неожиданных проблем по сети, следовательно, целесообразно ограничить степень связности и размер сети.
- Можно ввести брандмауэры — несколько сетей, каждая из которых характеризуется сильной связью, тогда как связи между самими сетями слабые. Данный прием позволяет предотвратить распространение проблем по всей системе с помощью стратегии отключения.
- Неоднородность узлов, связей между узлами (с точки зрения принципов построения и функционирования стратегий), как правило, увеличивает системную надежность и устойчивость.
- От возможности быстро реагировать на возмущения в сети зависит количество необходимых ресурсов и стратегия их распространения. В случае значительных задержек сила распространения каскада вряд ли может быть смягчена, даже при направлении в этот узел большого количества ресурсов.
- Умеренные колебания могут быть полезны в нивелировании или даже устранении потенциально вредных корреляций в системе. Они могут быть созданы эндогенно участниками системы, однако следует отметить, что подобные колебания могут привести к критическим возмущениям системы.
- Введение законов сохранения системы может способствовать снижению волатильности посредством уменьшения вероятностей событий, вызывающих системные риски.

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

В условиях возрастающей сложности и неустойчивости экономики агент-ориентированные модели (agent-based model — ABM) — перспективная альтернатива текущим макроэкономическим методам, в которых доминируют динамические стохастические модели общего равновесия (dynamic stochastic general equilibrium modeling — DSGE). Неудачи в прогнозировании поведения ФЭС со сложной динамикой посредством DSGE-моделей обычно списывают на игнорирование данными моделями взаимодействия гетерогенных агентов. Основа ABM, напротив, — компьютерное моделирование и исследование динамических экономических систем, представленных виртуальными мирами взаимодействующих агентов.

По нашему мнению, в настоящее время для прогнозирования вариантов развития мировой экономической системы наиболее эффективны как раз методы агентного моделирования. С их помощью можно строить модели исходя из реалистичных (основанных на эмпирических и экспериментальных наблюдениях) предпосылок о поведении и взаимодействиях агентов системы.

²⁵ См.: Caldarelli G., Capocci A., Garlaschelli D. *A self-organized model for network evolution. The European Physical Journal B* 64, 2008.

При этом агенты могут различаться по типу принимаемых решений, формам социального поведения и пр. Кроме того, данный тип моделей позволяет строить иерархические конструкции экономики, разноуровневые и содержащие различные группы агентов, взаимодействующих на разном уровне обобщения.

АВМ демонстрируют роль микроагентов и их локального взаимодействия в формировании глобальных закономерностей, таких как занятость и темпы роста, распределение доходов, рыночных институтов и пр. При этом можно сформировать сложную виртуальную систему взаимосвязанных условий поведения экономических агентов, моделей их взаимодействия и общих закономерностей.

Использование АВМ позволяет проводить сравнительный анализ последствий альтернативных вариантов политики, структурных, институциональных и поведенческих изменений в достаточно уникальных условиях конкретной экономической среды. В отличие от неоклассических моделей, основанных на принципах абсолютной рациональности и репрезентативности агентов, в агент-ориентированном моделировании учитывается ограниченная рациональность и гетерогенность агентов, их непосредственное взаимодействие и эндогенная неравновесная динамика.

Так, агенты могут менять свое поведение на основе предыдущего опыта, и процесс обучения может быть откалиброван в соответствии с наблюдаемыми результатами в реальном мире. АВМ сочетает в себе аспекты эволюционной игры и теории культурной эволюции, убеждения, предпочтения, поведение и взаимодействие агентов, при этом она может варьироваться эндогенно с течением времени и позволяет агентам участвовать в гибкой социальной коммуникации. Однако самое главное преимущество данной модели — относительная автономия агентов, что обуславливает способность АВМ к самоуправлению.

При этом исследователь может получить модель, описывающую влияние коллективной динамики на экономику различных стран, частично абстрагируясь при этом от исторических данных для построения сценариев развития системы; учесть фактор времени и ряд иных неопределимых переменных.

В последнее время на базе агентных моделей получены некоторые результаты, поставившие под сомнение положения классической теории. Так, в одних работах (Marchesi, Setzu, Chen, Chie, 2008) показано, что налог Тобина не способен, как предполагалось ранее, стабилизировать валютный и финансовый рынки и уменьшить спекуляцию. Построенные другими исследователями (Dawid, Gemkow, Harting, Dosi et al., 2008) модели для оценки влияния альтернативных сценариев развития научного знания и технологий на темпы экономического роста демонстрируют, например, что патенты способствуют повышению безработицы, а возможность заимствования технологий ускоряет рост ВВП.

Достаточно интересной является модель С. Кинселлы (Kinsella, Greiff, Edward, Nell, 2010), в которой используется макроэкономический подход для оценки монетарной экономики. При этом предполагается, что индивидуальное поведение агентов непредсказуемо, но сами агенты следуют простым правилам при принятии ими управленческих решений.

В подходе С. Кинселлы моделируется динамика четырехсекторной (домохозяйства, фирмы, банки и правительство) макроэкономической системы локально взаимодействующих гетерогенных агентов и воспроизводятся основные реально наблюдаемые стилизованные факты социально-экономических систем, включая распределение доходов или богатства, бизнес-циклы и другие эмпирические распределения с тяжелыми хвостами.

На базе модели Кинселлы была апробирована возможность выявления влияния межстрановых потоков капитала, факторов экономического роста, перераспределительных функций государства на формирование и распределение богатства в системе экономических агентов — развитых и развивающихся стран²⁶.

²⁶ См.: Каурова Н. Н. Новые подходы к моделированию системы мировых потоков капитала / Московский оценщик (<http://www.moo-msk.ru/upload/iblock/dba/1-68.pdf>).

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ ЕЮ

Применение указанных методов для анализа экономических систем позволит лучше оценить их чувствительность или надежность, а также продемонстрировать, что сложные динамические системы несут не только угрозы, неустойчивую динамику и неопределенность, а, напротив, наделены рядом положительных свойств, которые могут быть использованы в обеспечении эффективного развития экономики. Это, в свою очередь, может привести к качественной положительной перестройке всей мировой ФЭС.

Таким образом, оценка устойчивости требует проведения весьма сложной аналитической процедуры, опирающейся больше на статистические и геометрические свойства системы, чем на прогнозы, граничащие с предсказаниями. Кроме того, принято считать, что природа хаоса исключает возможность управлять им. Современные экономисты и политики зачастую ошибочно боятся его присутствия в ФЭС. В реальности неустойчивость траекторий хаотических систем делает их чрезвычайно чувствительными к управлению. Они демонстрируют одновременно хорошую управляемость и удивительную пластичность: чутко реагируют на внешние воздействия, при этом сохраняя тип движения. Именно комбинация управляемости и пластичности, по мнению многих исследователей, — причина, к примеру, того, что сердце, благодаря хаотическому характеру сердечного ритма, гибко реагирует на изменение физических и эмоциональных нагрузок, демонстрируя запас динамической прочности.

Плохо предсказуемое и неконтролируемое поведение сложных систем, в частности финансово-экономических, в настоящее время бросает вызов общепринятому образу мышления. Основанные на ошибочной теоретической концепции, которая рассматривает ФЭС исключительно как линейную с большим числом рациональных агентов, редуционистские управленческие решения и действия многих политиков и экономистов — постоянный источник роста энтропии. Это приближает ФЭС к точке критической неустойчивости (фазовому переходу), в которой система перестраивается из одной определенности в другую, выбрав один из множества возможных путей развития, предсказать который невозможно.

Применять к сложным динамическим системам, находящимся в подобном состоянии, жесткие методы управления недопустимо, поскольку это может усилить их неустойчивость. На практике наблюдается другая тенденция — повышение роли государства и его регуляторных мер в борьбе с кризисными проявлениями. Однако даже небольшие изменения системы вследствие применения тех или иных мер в средне- и долгосрочном периоде могут привести к заметным переменам. Учитывая отсутствие прогнозных методов и имитационных моделей, вместо ожидаемого положительного результата можно получить повышение уязвимости и неустойчивости всей мировой ФЭС.

Происходящие в последнее время финансово-экономические и общественные кризисы — свидетельство того, что лица, принимающие решения, недостаточно хорошо понимают системную динамику, а это приводит к серьезным ошибкам управления. При этом ошибочные регуляторные воздействия при хаотической динамике экспоненциально накапливаются в системе, в результате с течением времени любое, даже самое малое воздействие быстро растет и достигает пределов предсказуемости²⁷. Экспоненциальное накопление ошибок снижает достоверность средне- и долгосрочных прогнозов, в особенности основанных на исторических данных в замкнутой форме (без учета фазового пространства).

При этом, с одной стороны, система может никак не реагировать на существенные изменения в сетевом взаимодействии и не проявить подобных эффектов (что соответствует принципу Ле Шателье, согласно которому система стремится противодействовать внешним попыткам контроля). Однако, с другой стороны, если система близка к критической точке, даже небольшие изменения могут вызвать внезапную трансформацию (переход, катастрофу). Конечно, необходимо помнить про некоторые ранние сигналы

²⁷ Это одно из основных свойств хаоса, отмеченное Н. С. Крыловым и изученное Я. Г. Синаем. См.: Синай Я. Г. *Случайность неслучайного // Природа. — 1981. — № 3.*

предупреждения о таких критических переходах²⁸, такие как феномен медленной релаксации, свидетельствующий о необходимости большего количества времени для устранения возмущений в системе и обеспечения ее устойчивости, а также критические флуктуации, которые обычно выявляются тяжелыми хвостами распределения.

Кроме того, нельзя не отметить также роль неприводимых случайностей, т. е. степеней неопределенности или возмущений, а также задержек, которые могут привести к нестабильному поведению системы и являются типичной проблемой и причиной отказа системы управления²⁹. Наконец, существует проблема «неизвестные неизвестные»³⁰, т. е. скрытые факторы, которые влияют на поведение системы, но пока не выявлены. Они, к примеру, могут создать структурные неустойчивости³¹, проявляющиеся в экономике возникновением инноваций и новых продуктов, технологий и пр.

При этом все качественные и количественные характеристики ФЭС после выхода ее на точку бифуркации будут обречены на принципиальное изменение, приводящее к изменению сущности самой системы, при котором прежний, предсказуемый путь ее развития невозможен.

Таким образом, переживаемая нами повышенная энтропия и хаотичное поведение современной мировой ФЭС — следствие адаптации последней к возрастающей сложности мировых финансово-экономических рынков, изменяющимся нагрузкам и растущему регуляторному давлению извне в целях обеспечения динамической прочности данной системы.

Проводимые в последнее время антикризисные программы и мероприятия не только не учитывают особенности поведения сложных динамических систем — национальных и мировых финансово-экономических рынков, в средне- и долгосрочной перспективе они лишь усиливают общую энтропию системы и стимулируют ее выход из состояния сложной динамики, что влечет еще большую угрозу для ее устойчивости.

При проведении национальной и международной антикризисной политики необходимо учитывать, что для получения требуемого результата в сложной динамической ФЭС достаточно одного или нескольких малозаметных, незначительных возмущений ее траектории. Через некоторое время накопление и экспоненциальное усиление малых возмущений приведет к достаточно сильной коррекции траектории развития. Конечно, особую роль играет не только сила направленных на систему возмущений, но и их правильный выбор.

Нельзя однозначно отрицать применяемые в настоящее время к сложным динамическим ФЭС классические централизованные управленческие подходы, которые имеют ряд положительных черт, например способность к быстрой крупномасштабной координации и высокую скорость взаимодействия элементов системы даже с самыми удаленными ее частями. Однако недостатки, заключающиеся в неустойчивости централизованной системы управления вследствие ее критического размера и проявляющиеся в большей уязвимости сети и вероятности ее информационной перегрузки, риске выбора неверных параметров контроля и задержек обратной связи в адаптивном управлении, намного более существенны.

В настоящее время в противовес централизованным структурам управления разработан ряд управленческих подходов, которые основаны на децентрализованной стратегии координации, позволяющей приспосабливать гибкую настройку системы к локальным условиям. Из-за большей устойчивости к возмущениям децентрализованные подходы управления могут работать значительно лучше в сложных системах с разнородными элементами, высокой степенью колебаний и краткосрочной предсказуемостью. Для реализации децентрализованного подхода необходим набор норм, стандартов и правил.

²⁸ См.: Scheffer M., Bascompte J., Brock W. A., Brovkin V., Carpenter S. R., Dakos V., Held H., van Nes E. H., Rietkerk M., Sugihara G. *Early-warning signals for critical transitions. Nature* 461, 2009.

²⁹ См.: Michiels W., Niculescu S.-I. *Stability and Stabilization of Time-Delay Systems. SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2007.*

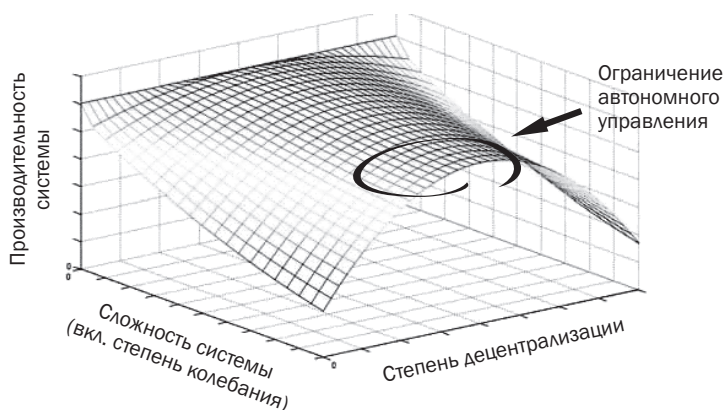
³⁰ См.: Taleb N. N. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. Random House. 2007.*

³¹ См.: Nicolis G., Prigogine I. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems. Wiley, New York. 1977.*

Пример развития экосистем демонстрирует, что сетевая система может иметь высокую степень надежности без централизованного контроля. Надежность требует лишь правил взаимодействия, которые могут быть реализованы, например, в социальных нормах, законах, технологических мерах и др., в зависимости от системы.

Рисунок 3

Производительность системы в условиях централизации и децентрализации



Источник: Windt K., Philipp T., Boese F. Complexity cube for the characterization of complex production systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 21 (2). 2007.

Верный подход к управлению сложными системами — поддержка и укрепление самоорганизации и самоконтроля системы при одновременном формировании ее дизайна. Координация и сотрудничество в сложной системе формируются сами по себе. Поэтому управленческое воздействие должно основываться на правилах, не регламентирующих жестко поведение отдельных элементов системы, а определяющих параметры, которые обеспечивают системе достаточное количество степеней свободы для самоорганизации.

С одной стороны, управление посредством централизованной модели уже практически невозможно или слишком дорого в реализации. С другой — переход управленческой парадигмы к более гибким, подвижным, адаптивным системам может быть затянута. Поэтому в настоящее время основная задача — это поиск оптимального сочетания централизованного и децентрализованного подходов.

В любом случае управление сложностью не должно строиться на жестких принципах и догмах, а должно иметь более гибкую и динамичную организацию, позволяющую обеспечивать в средне- и долгосрочной перспективе устойчивость развития системы во всевозрастающей неопределенности и системной динамике. Этого можно достичь только посредством трансформации управленческой модели, придания ей большей гибкости благодаря вертикально интегрированным нормам и правилам и их критическим значениям, дающим сложной системе большую свободу для самоорганизации.

Таким образом, управление устойчивостью ФЭС должно заключаться в обеспечении направленной самоорганизации и динамической декомпозиции целевых ориентиров для перехода от непредсказуемого к направленному желаемому поведению системы (движению) на аттракторе (или вдоль желаемых инвариантных многообразий), динамика которого передается всем другим переменным системы.

Для оказания поддержки лицам, принимающим решения, необходимо разработать методологию, адекватную сложности современных ФЭС. Усилия современной экономической науки должны быть направлены на преодоление разрыва между существующими финансово-экономическими и общественными проблемами и применяемыми к их оценке подходами, позволяющими не искать решение для возникшей проблемы, а предупреждать ее возникновение.

Библиография

1. Кратчфилд, Дж. П., Фармер, Д. Дж., Паккард, Н. Х., Шоу, Р. С. Хаос // В мире науки. — 1987. — № 2.
2. Синай, Я. Г. Случайность неслучайного // Природа. — 1981. — № 3.
3. Синергетическая теория управления / А. А. Колесников, Г. Е. Веселов и др. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2011.
4. Хакен, Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. — М.: Мир, 1985.
5. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику. — М.: Иностранная литература, 1959.
6. Arnold, V. I., Wassermann, G. S., Thomas, R. K. Catastrophe Theory. Springer, Berlin. 2004.
7. Barrat, A., Barthélemy, M., Vespignani, A. Dynamical Processes on Complex Networks. Cambridge University, Cambridge. 2008.
8. Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.-U. Complex networks: Structure and dynamics. Physics Reports 424. 2006.
9. Caldarelli, G., Capocci, A., Garlaschelli, D. A self-organized model for network evolution. The European Physical Journal B 64, 2008.
10. Carmi, S., Wu, Z., Lopez, E., Havlin, S., Stanley, H. E. Transport between multiple users in complex networks. The European Physical Journal B 57, 2007.
11. Carrington, P. J., Scott, J., Wassermann, S. Models and Methods in Social Network Analysis. Cambridge University, New York. 2005.
12. Colander, D., ed. The Complexity Vision and the Teaching of Economics. Elgar, Cheltenham, UK, 2000.
13. Davidson, P. A. Turbulence. Cambridge University, Cambridge. 2004.
14. Dornier, D. The Logic Of Failure: Recognizing and Avoiding Error in Complex Situations. Basic, New York. 1997.
15. Garas, A., Argyrakis, P., Havlin, S. The structural role of weak and strong links in a financial market network. The European Physical Journal B 63, 2008.
16. Gladwell, M. The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference. Back Bay. 2002.
17. Farmer, R. Macroeconomics of Self-fulfilling Prophecies. MIT Press, 1999.
18. Fortunato, S. Community detection in graphs. Physics Reports 486, 2010.
19. Haken, H. Synergetics: Introduction and Advanced Topics. Springer, Berlin, 2004.
20. Helbing, D. Systemic risks in society and economics, International Risk Governance Council (irgc), 2010.
21. Helbing, D., Buzna, L., Peters, K. D. Efficient response to cascading disaster spreading. Physical Review E 75, 2007.
22. Jackson, M. O. Social and Economic Networks. Princeton University, Princeton, NJ. 2008.
23. Jahnke, L., Kantelhardt, J. W., Berkovits, R., Havlin, S. Wave Localization in Complex Networks with High Clustering. Physical Review Letters PRL 101, 175702, 2008.
24. Jensen, H. J. Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems. Cambridge University, Cambridge, 1998.
25. Kampen van, N. G. Stochastic Processes in Physics and Chemistry. North-Holland, Amsterdam. 2007.
26. Krugman, P. The Self-Organizing Economy. Blackwell, Malden, MA, 1996.
27. Lorenz, H. W. Nonlinear Dynamical Equations and Chaotic Economy. Springer, Berlin, 1993.
28. Lorenz, J., Battiston, S., Schweitzer, F. Systemic risk in a unifying framework for cascading processes on networks. The European Physical Journal B 71(4), 2009.
29. Michiels, W., Niculescu, S.-I. Stability and Stabilization of Time-Delay Systems. SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2007.
30. Nicolis, G., Prigogine, I. Self-Organization in Nonequilibrium Systems. Wiley, New York. 1977.
31. Newman, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks, SIAM Review Vol. 45, No. 2, 2003.
32. Newman, M., Barabasi, A.-L., Watts, D. J., eds. The Structure and Dynamics of Networks. Princeton University, Princeton, NJ. 2006.
33. Pyka, A., Scharnhorst, A., eds. Innovation Networks. Springer, Berlin. 2009.
34. Saichev, A., Malevergne, Y., Sornette, D. Theory of Zipf's Law and Beyond. Springer, Berlin. 2010.
35. Schroeder, M. Fractals, Chaos, Power Laws. Dover. 2009.
36. Schuster, H. G., Just, W. Deterministic Chaos. Wiley-VCH, Weinheim. 2005.
37. Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W. A., Brovkin, V., Carpenter, S. R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E. H., Rietkerk, M., Sugihara, G. Early-warning signals for critical transitions. Nature 461, 2009.
38. Stanley, H. E. Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena. Oxford University. 1987.
39. Sterman, J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw Hill, 2000.
40. Taleb, N. N. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. Random House. 2007.
41. Windt, K., Philipp, T., Boese, F. Complexity cube for the characterization of complex production systems. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 21 (2). 2007.