

Моделирование динамики инновационного развития с учетом рисков потери устойчивости и детерминированного хаоса.

Предлагаются подходы к моделированию инновационного развития экономических систем на основе методологии нелинейной динамики. Обсуждаются обобщения нелинейных динамических моделей для анализа экономического развития. Потеря устойчивости динамического режима и область детерминированного хаоса рассматриваются с точки зрения анализа рисков.

Инновационное развитие экономической системы предполагает возможность разнообразных сценариев реализации этого процесса. Естественно, наиболее предпочтительными являются устойчивые процессы. По аналогии с определением устойчивости режима динамической системы устойчивым экономическим процессом будем называть такой процесс, который при малых изменениях параметров экономической системы и внешних факторов сохраняет свои основные характеристики, то есть отклонения рассматриваемого процесса, возникшие в результате упомянутых малых отклонений параметров невелики и непринципиальны. Для неустойчивого экономического процесса малые отклонения параметров и среды, всегда присутствующие в реальной системе, приводят к значительному, иногда кардинальному изменению течения процесса, что, как правило, ведет к ухудшению экономических показателей и потере конкурентоспособности. Фактор потери устойчивости следует рассматривать как дополнительный элемент анализа экономических рисков.

Среди сценариев инновационного развития экономической системы выделим некоторые варианты:

- поступательное ускоренное устойчивое развитие – наиболее предпочтительный сценарий;
- потеря устойчивости процесса развития, которая может быть реализована в процессе изменения параметров экономической системы и внешних факторов и достижения этими параметрами критических значений;
- существование точки бифуркации – такой точки на траектории эволюции системы, в которой теряет устойчивость реализовавшийся ранее сценарий развития системы, и зарождаются новые варианты продолжения эволюции системы, некоторые из которых могут быть устойчивыми, другие – неустойчивыми;

- реализация режима детерминированного хаоса, то есть такого сценария развития, когда процесс имеет хаотический характер при полностью детерминированных параметрах системы и внешних факторов; с точки зрения риск-анализа этот режим может в определенных случаях являться дополнительным фактором риска;
- зарождение принципиально нового, не существовавшего при предшествующих значениях изменяемых параметров системы, устойчивого процесса, который может быть весьма желательным вариантом (например, появление новой перспективной технологии и связанного с ней высокодоходного бизнеса).

Приведенный набор сценарных вариантов инновационного развития не претендует на полноту, однако он дает представление о сложности обсуждаемых процессов и их зависимости от параметров системы и внешних факторов. В одной и той же системе в зависимости от значений параметров и начальных условий могут реализовываться различные варианты развития.

Принципиальное отличие экономических систем от технических с точки зрения построения математических моделей – гораздо больший уровень неопределенности функционирования экономической системы. Особенно сильно это отличие проявляется при анализе инновационных сценариев развития, когда неопределенность эволюции экономической системы существенно увеличивается по сравнению с традиционными экономическими процессами. При этом в экономической системе могут реализовываться и революционные сценарии развития, например, зарождение новых эффективных бизнес-направлений, появление которых делает неконкурентоспособными некоторые существовавшие ранее экономические решения. Например, появление сотовой связи привело к угасанию бизнеса, основанного на обслуживании пейджеров, появление тепловозов вызвало свертывание производства паровозов, наращивание мощности и снижение стоимости компьютеров приводит к перераспределению рынка вычислительной техники, появление интернета существенно изменило рынок почтовых услуг и т.д. Очевидно, что эти примеры из разных отраслей экономики и разных эпох соответствуют одному и тому же явлению – инновационная экономика, основанная на новых технических решениях, делает экономически неэффективной (неустойчивой) прежнюю отрасль, основанную на устаревших технических решениях. При этом в переходной период часто возникают элементы хаотического поведения взаимосвязанных технических и экономических систем. На основе инновационного научного и технологического решения возникает множество технических реализаций, которые конкурируют между собой в части технической и экономической эффективности. В результате этой конкуренции, имеющей признаки хаотического поведения, выявляются

наиболее эффективные технико-экономические решения, которые становятся на некоторое время устойчивым трендом развития данного направления. В настоящее время начало такого процесса наблюдается в областях развития альтернативных источников энергии и создания гибридных и электрических автомобилей. В то же время некоторые сформировавшиеся инновационные решения могут оказаться неустойчивыми и неконкурентоспособными с традиционными решениями. Примером этого является сверхзвуковая пассажирская авиация. Вполне возможно, что на следующем уровне развития техники это направление сможет конкурировать с традиционными пассажирскими авиаперевозками, и займет долю рынка в соответствующем сегменте дальних перевозок, то есть станет устойчивым в новых условиях. С точки зрения анализа рисков конкурентная хаотическая среда может являться как источником чистого риска по сравнению с процессом экономического развития, более близким к детерминированному, так и источником спекулятивного риска, когда возможен позитивный исход.

Приведенные примеры из реальных инновационных для своего времени технико-экономических решений показывают, что динамика инновационного экономического развития имеет общие качественные черты с нелинейной динамикой. Эта дисциплина включает развитый аппарат для построения математических моделей, позволяющих проводить анализ решений нелинейных динамических систем, исследовать эволюцию решений при изменениях параметров системы и внешних воздействий, потерю устойчивости, бифуркации, области хаотического поведения решений. Модели нелинейной динамики имеют хорошую точность для многих естественнонаучных приложений в технике, физике, химии, биологии. Для экономических и технико-экономических инновационных систем имеет место только качественное совпадение многих эффектов, некоторые из которых обсуждаются в настоящей работе. С точки зрения количественного анализа экономическая система имеет гораздо большую неопределенность функционирования, чем системы в технических и естественнонаучных приложениях. Именно этим объясняется тот факт, что для экономических и, тем более, для социально-экономических систем пока не построены математические модели, способные на количественном уровне анализировать экономический процесс с учетом динамики и нелинейных эффектов. Для процессов инновационного экономического развития упомянутые трудности имеют еще большее значение в связи с увеличивающейся неопределенностью, связанной с инновационным характером процесса.

Естественным продолжением качественного анализа инновационного развития экономической системы является исследование подходов к построению математической модели соответствующего динамического процесса. Первые результаты в этом

направлении сосредоточены в новом разделе науки, получившем название эконофизика, ранее подобные подходы рассматривались в синергетике, теории катастроф, нелинейной динамике. При этом, как правило, методы математического моделирования, развитые и апробированные в естественнонаучных приложениях, используются для анализа экономических процессов. И главная сложность состоит в построении математической модели эволюции экономической системы. Учет инновационного сценария развития можно трактовать как постбифуркационное зарождение нового устойчивого решения, соответствующего инновационному экономическому направлению.

В качестве одного из подходов к проблеме построения математической модели экономической динамики, учитывающей эффекты, связанные с инновационным характером экономической системы, рассмотрим обобщение модели простой динамической системы, имеющей две притягивающие области (в механике – две потенциальные ямы) (рис. 1).

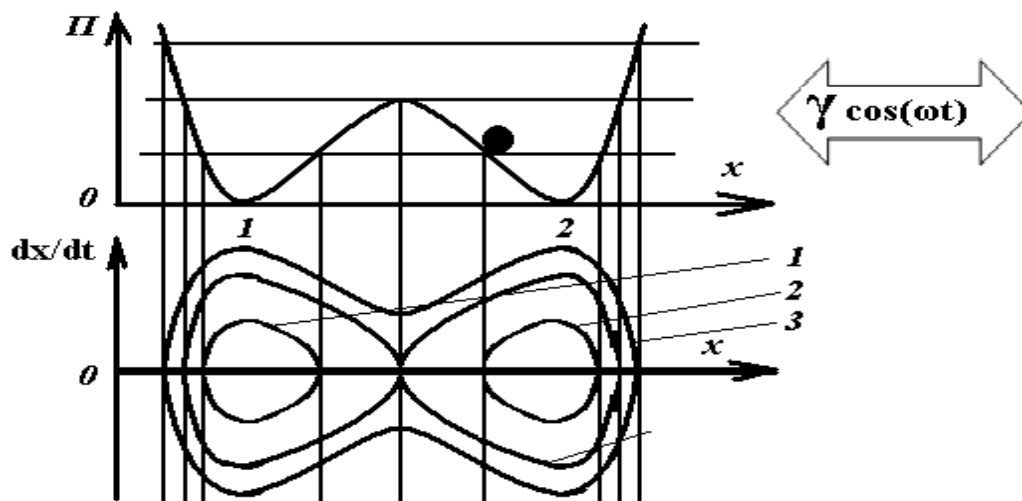


Рис. 1. Динамическая система с двумя притягивающими областями. Кривые 1 и 2 на фазовой плоскости отвечают движениям в областях 1 и 2 соответственно, кривая 3 – охватывает обе притягивающие области.

Уравнение движения имеет вид [9]:

$$m\ddot{x} - \beta x + \delta \dot{x} + \alpha x^3 = \gamma \cos \omega t \quad (1)$$

Здесь m – параметр, определяющий инерционные характеристики системы (в механике это масса), β – параметр, определяющий линейную составляющую отклика системы на внешнее воздействие, δ – параметр диссипативных свойств, α – параметр, определяющий нелинейную составляющую отклика, γ, ω – соответственно амплитуда и частота внешнего периодического воздействия.

Эта модель является частным случаем обобщенной динамической системы с двумя притягивающими областями. Другими частными случаями такой обобщенной динамической системы можно считать две конкурирующие бизнес-системы в экономике, двухпартийную систему в политологии, колебания шарика в системе двух лунок в механике, систему на основе двух базовых языков в лингвистике.

Для относительно простой модели (1) были проведены разнообразные численные исследования, результаты которых подтверждены многочисленными натурными экспериментами для соответствующей механической и электрической систем (аналоговое численное моделирование). Результаты этих исследований, достоверность которых для простых систем не подвергается сомнению, показывают, что даже в такой простой динамической системе существуют разнообразные решения и многочисленные нелинейные эффекты, качественно повторяющиеся в гораздо более сложных системах, в том числе и в инновационном развитии экономической системы. Наряду с относительно простыми решениями, полностью соответствующими внешнему периодическому воздействию, в модели (1) обнаружены бифуркации решений с удвоением периода, существует зона параметров, где решение имеет хаотический характер при полностью детерминированных параметрах системы (1) (странный аттрактор, детерминированный хаос), существуют устойчивые и неустойчивые периодические решения различных периодов, совершенно не отвечающие внешнему воздействию. Еще раз подчеркнем, что эти нетривиальные, совершенно неожиданные результаты достоверно обнаружены и подтверждены в весьма простой существенно нелинейной динамической системе (1). Для иллюстрации на рис.2 представлено хаотическое решение детерминированной системы (1).

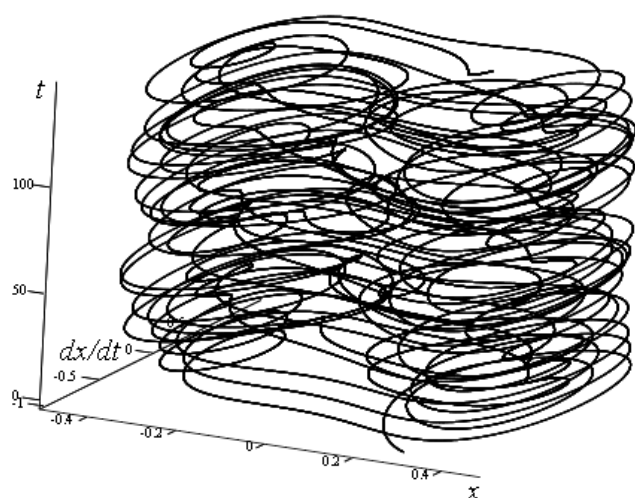


Рис. 2. Хаотическое решение системы 1, представленное в трехмерном пространстве (координата x -скорость dx/dt -время t)

Рассмотрим некоторые возможные обобщения и усложнения системы (1), которые могут быть востребованы при применении обсуждаемого подхода для анализа задач экономической динамики.

1. Кубический вид нелинейности в уравнении (1) может быть без ограничения общности заменен на любую кривую, максимально соответствующую исходной системе. При этом методика исследования изменяется не принципиально. Для зависимостей, задаваемых численно, что характерно для задач экономической динамики, таблица, определяющая вид нелинейной зависимости, может быть аппроксимирована сплайном. При этом система (1) принимает более общий вид

$$m(x,t) \frac{d^2x}{dt^2} + B\left(\frac{dx}{dt}\right) + C(x) = W(t), \quad (2)$$

Здесь $m(x,t)$ – обобщенный параметр, определяющий инерционные свойства системы, $B(dx/dt)$ – функция, определяющая диссипативные свойства системы, $C(x)$ – обобщенный отклик, $W(t)$ – внешнее воздействие, t – время. Для экономических систем $x(t)$ может рассматриваться как экономический индикатор, $W(t)$ – инвестиционное воздействие, $C(x)$ – функция отклика, $B(dx/dt)$ – нелинейная функция, определяющая сопротивление экономической системы переменам под воздействием внешнего инвестиционного воздействия, $m(x,t)$ – функция, определяющая инерционные свойства экономической системы по отношению к инвестициям.

2. Симметричная форма притягивающих областей на Рис. 1 может быть заменена на несимметричную (Рис. 3), что отражает различие в притягивающих областях. Возможен учет большего количества притягивающих областей.

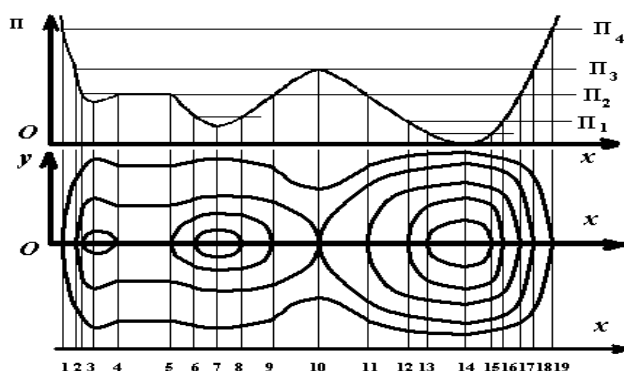


Рис. 3. Обобщение вида формы притягивающих областей.

3. Модель с одной степенью свободы (1) может быть обобщена для систем с несколькими степенями свободы [12]. В этом случае x в модели (2) считается вектором соответствующей размерности. При этом значительно возрастает многообразие выявленных эффектов за счет учета взаимного влияния различных динамических режимов, соответствующих разным степеням свободы.
4. В качестве изменяемых параметров системы, влияющих на вид решения, могут использоваться как параметры внешнего воздействия, так и параметры – определяющие свойства системы – инерционность, диссипацию, нелинейную функцию отклика [13].
5. Если для естественнонаучных приложений основные параметры систем (1) и (2), как правило, очевидным образом определяются из исходной системы, то для экономической системы нетривиальной задачей является определение инерционных и диссипативных свойств. Функции отклика могут быть построены по реальным данным экономического анализа с использованием эконометрических методов.
6. Экономический кризис может трактоваться как потеря устойчивости предыдущего тренда развития, при этом происходит бифуркация и зарождаются новые решения, некоторые из них устойчивы. Цель управления при этом – определить решение, соответствующее экономическому инновационному росту, обеспечить его устойчивость за счет подбора параметров системы и внешнего воздействия, а решение, соответствующее стагнации или спаду сделать неустойчивым.
7. Отметим, что многие социальные явления могут трактоваться как синхронизация динамической социальной системы. Применительно к моделям рассматриваемого класса эффекты синхронизации присутствуют в многомерном обобщении систем вида (2).

Развитие предлагаемого подхода к моделированию динамики экономического развития с учетом инновационных особенностей и разнообразных нелинейных эффектов, наблюдаемых и в реальных экономических системах, и в относительно простых моделях нелинейной динамики, предполагает следующие направления:

1. Разработка методики построения моделей, более полно отражающих характерные особенности экономических процессов;
2. Разработка методики определения основных функциональных зависимостей модели (инерционных, диссипативных и т.д.) по реальным экономическим данным.

Список литературы.

1. Кондратьев Н.Д. Проблемы экономической динамики. М.: 1989. 526 с. ISBN 5-282-00700-2.
2. Арнольд В.И. Теория катастроф. -М.: Едиториал УРСС,2007.-127с. ISBN 978-5-354-01142-1
3. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: изд-во АСТ, 2003. 379 с.
4. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. М.: Мир, 1999. 400 с.
5. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – Изд-во ЛКИ, 2007. 308 с. ISBN: 978-5-382-00079-4.
6. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего.- Едиториал УРСС, 2003. 285 с. ISBN 978-5-354-00296-2
7. Милованов В.П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. 264 с.
8. Милованов В.П. Синергетика и самоорганизация: Экономика. Биофизика. – М.: – М.: Эдиториал УРСС, 2005. 168 с.
9. P.J.Holmes. A nonlinear oscillator with a strange attractor. Philosophical Transaction of the Royal Society. London, 292, pp. 419-448.
10. Петров Л.Ф. Методы динамического анализа экономики. - М.: Инфра-М, 2010, 239 с.
11. Интеллектуальный анализ динамики бизнес-систем. - М.: Инфра-М, 2010, 320 с.+ CD-R. Коллектив авторов. Под редакцией Н.М.Абдикеева, Л.Ф.Петрова, Н.П.Тихомирова.
12. Lev F. Petrov. Nonlinear effects in multidimensional dynamic systems.- Proceeding of 6 international conference Dynamic Systems and Applications, pp. 74.
13. Lev F. Petrov. Control of dynamical regimes of systems with deterministic chaos. - Proceeding of 2 international conference Optimization and applications (OPTIMA 2011) p.p. 175 – 177. ISBN 978-5-91601-051-0
14. Петров Л.Ф. Методы нелинейной динамики как инструменты управления экономической эффективностью.- Журнал «Эффективное антикризисное управление», 2011, №2, с. 58-67.