

Понятие сложности и нестационарности экономических систем

В.Н. Костюк¹

¹ Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию понятия нестационарного поведения в современной экономике. Различие между стационарностью и нестационарностью характеризуется посредством специально определяемого понятия реализуемого состояния системы. Предполагается, что современная нестационарная экономика, достигшая определенного уровня сложности, функционирует вблизи нелинейного равновесия. Также рассмотрено влияние роста сложности на развитие экономической системы.

Ключевые слова: система, стационарность, нестационарность, сложность, равновесие, устойчивость, самоорганизованная критичность, бифуркация.

DOI: 10.14357/20790279180303

Во второй половине прошлого столетия лауреат Нобелевской премии по физике, создатель теории нелинейной неравновесной термодинамики Илья Пригожин высказал предположение, согласно которому следует различать системы «вблизи равновесия» и «вдали от равновесия». Системы «вблизи равновесия» линейны и стационарны (их поведение не зависит от времени). Это относительно простые системы. Системы «вдали от равновесия» могут иметь различные способы поведения. Они могут быть как стационарными, так и нестационарными (их поведение меняется во времени), как простыми, так и сложными, линейными или нелинейными (постулат Пригожина). Созданная Пригожиным нелинейная термодинамика характеризует термодинамические процессы вдали от равновесия. В этой статье мы будем следовать этому постулату применительно к экономическим системам.

Разнообразие систем вдали от равновесия огромно. Пригожин, в частности, предположил, и его предположение прекрасно оправдалось, что вдали от равновесия могут возникать различного рода *диссипативные структуры* (пространственные и временные неоднородности, возникающие в первоначально однородной среде), которые существуют только благодаря обмену энергии и вещества с внешней средой. Их появление спонтанно и потому должно рассматриваться как проявление самоорганизации [1]. Вдали от равновесия существуют и другие типы систем и структур,

многие из которых еще не стали объектом научного исследования.

Сформулированный Пригожиным постулат методологически весьма привлекателен. Проблема, однако, состоит в том, что в различных науках понятия линейности и нелинейности, равновесия неравновесия, стационарности и нестационарности трактуются по-разному. Википедия, например, перечисляет следующие виды равновесия, используемые в разных науках. В механике *равновесным* называется состояние тела, находящегося в покое, или движущегося равномерно, в котором сумма сил и моментов, действующих на него, равна нулю. Химический раствор находится в состоянии равновесия, если в нем не изменяется количество каждого входящего в него компонента. Система находится в состоянии термодинамического равновесия, если происходящие в ней внутренние процессы не изменяют макроскопических параметров (таких, как температура и давление). Равновесие по Нэшу предполагает, что у каждого игрока нет оснований пересматривать свои ожидания. В экономической науке принято считать, что товарные рынки находятся в состоянии равновесия при наличии равенства спроса и предложения. Финансовые рынки равновесны, если на них отсутствует возможность арбитража и т. д. Это затрудняет использование постулата Пригожина применительно к той или иной конкретной науке.

Столкнувшись с таким многообразием, можно поступить двояким образом. Можно либо по-

пытаться навести порядок в этом многообразии и систематизировать его, либо отказаться от такой задачи и сосредоточиться на специфическом применении понятий линейности и нелинейности для решения конкретных задач в рамках одной науки. В данном исследовании был избран второй путь – применительно к рассмотрению проблем стационарного и нестационарного экономического поведения. В целях необходимого упрощения будем сближать понятия стационарного, линейного и равновесного поведения. Относительно нестационарного поведения будем предполагать, что оно может быть как линейным, так и нелинейным, как равновесным, так и неравновесным.

Для характеристики поведения систем в интересующем нас аспекте будем использовать в качестве исходных понятия «состояние системы», «реализуемого состояния системы» и «множества реализуемых состояний системы».

Состояние системы – это набор присущих ей характеристик, определяющих тот или иной способ ее поведения. Состояние системы реализуемо, если имеется некоторый набор условий, при выполнении которых оно будет находиться в некоторой области реально существующего пространства-времени. Множество состояний системы – это непустое множество альтернативных (попарно несовместимых) реализуемых состояний системы.

Мы называем систему *стационарной*, если она имеет одно и только одно реализуемое состояние. Предполагается, что это состояние не только реализуемо, но и реализовано, и что вся система находится в состоянии линейного равновесия*.

Для пояснения свойств линейного равновесия можно использовать метафорический язык, на котором можно сказать, что для таких систем «будущее похоже на прошлое» (имеет место приближительная симметрия между прошлым и будущим) и что «целое равно сумме своих частей» (синергия отсутствует).

Мы называем систему *нестационарной*, если она имеет несколько (не менее двух) различных реализуемых состояний, причем в каждый данный момент времени только одно из них реализовано. Поведение таких систем предполагает наличие некоторого управляющего параметра,

* Эвристически мы использовали в этом рассуждении ряд допущений. Принимаем, что типичная линейная система может быть охарактеризована посредством некоторой системы однородных линейных дифференциальных уравнений. Известно, что для такой системы уравнений справедлив принцип супер-позиции: сумма частных решений также является решением. Поэтому системы такого рода можно анализировать по частям, а затем объединить результаты анализа в единственное решение. Затем мы считаем, что это единственное решение характеризует равновесное состояние линейной системы. Для нелинейных систем все сложнее.

который при изменении условий функционирования системы переводит одно реализованное в данный отрезок времени состояние в другое реализованное состояние.

На метафорическом языке можно сказать, что для таких систем справедлив принцип «целое не равно сумме своих частей» (свойство системной синергии) и «будущее может сильно отличаться от прошлого» (нарушение симметрии между прошлым и будущим). Примером системной синергии может служить возникновение когерентного поведения элементов системы, которые раньше вели себя независимо друг от друга.

Дальнейший анализ поведения систем требует привлечения пары сопряженных понятий *устойчивости* и *неустойчивости*. Если линейное равновесие системы устойчиво, то неизбежные малые случайные воздействия среды, несколько выводящие систему из состояния равновесия, постепенно затухают и система возвращается в прежнее равновесное состояние. Пренебрегая этим движением можно сказать, что в состоянии устойчивого равновесия с системой ничего нового не происходит, если, конечно, отвлечься от возможных значительных внешних воздействий.

Если состояние линейного равновесия неустойчиво, то малые случайные воздействия на систему (флуктуаций, представляющие собой отклонения от существующих в данный момент средних величин) не только не затухают, но могут усиливаться и приводить к разрушению данной линейной равновесной системы. При этом может возникнуть состояние «вдали от равновесия» (точнее, вдали от линейного равновесия, поскольку, как мы увидим ниже, вдали от равновесия может возникнуть другой тип равновесия, который мы называем *нелинейным равновесием*), характеризующее нелинейную систему.

Для нестационарных систем соответствующая конструкция становится более сложной. Такая система обладает *потенциальной структурой*, т. е. набором реализуемых способов ее поведения. В каждый данный момент реализуется только один из них, остальные существуют только потенциально [2].

Пусть x – совокупность всех реализуемых состояний нелинейной системы. Будем считать, что в ходе эволюции этой системы при подходящих условиях может быть реализовано любое состояние, принадлежащее x , но при этом нельзя достигнуть никакого состояния, не принадлежащего x . Сам переход из одного состояния в другое происходит либо спонтанно, либо определяется изменением значений внешнего управляющего параметра системы.

Множество x образует потенциальную структуру такой системы и определяет коридор возможных путей ее эволюции (последовательного перехода из одних допустимых состояний в другие). Состав множества x может изменяться со временем, минимальное число элементов этого множества равно двум. Такие системы будем называть *нелинейными* в отличие от линейных систем, в которых множество содержит только один элемент*.

При этом, когда управляющий параметр нелинейной системы принимает некоторое критическое значение, существующий способ поведения нелинейной системы становится неустойчивым и исчезает (переходит в потенциальное состояние), а одно из потенциальных состояний реализуется (становится устойчивым) и занимает его место. Возникает, таким образом «обмен устойчивостью» (терминология В.Н. Арнольда). Благодаря такому обмену нелинейная система может изменять способ своего поведения.

Допустим, что управляющий параметр нелинейной системы находится «вблизи» своего критического значения, изменяющего поведение системы. Тогда может оказаться, что небольшое внешнее воздействие на систему окажется достаточным, чтобы управляющий параметр принял критическое значение, благодаря чему поведение системы изменится качественно. Напротив, если управляющий параметр нелинейной системы находится «вдали» от своего критического значения, то даже большое воздействие на систему может оказаться недостаточным для того, чтобы система изменила способ своего поведения. В этом смысле говорят; что малые воздействия на нелинейные системы могут вызвать большие изменения в них, а большие воздействия оставить такие системы почти без изменений.

Полностью функциональная значимость множества x раскрывается через бифуркации. Бифуркации – это спонтанные разделения пути эволюции системы на несколько альтернативных продолжений, выбор между которыми не является детерминированным. Это обстоятельство также было отмечено И. Пригожиным: «С одними и теми же граничными условиями оказываются совместимыми множество различных диссипативных структур. Это – следствие нелинейного характера сильно неравновесных ситуаций. <...> Необходимо также учитывать реальные процес-

* Отметим в связи с этим важное различие между неустойчивостью линейной системы и неустойчивостью нелинейной системы. Неустойчивая линейная система исчезает (разрушается неустраняемыми малыми случайными воздействиями среды). Неустойчивая нелинейная система не исчезает, она только изменяет способ своего поведения.

сы, приводящие к «выбору» одной из возможных структур» [3]. Инструментом такого «выбора» и служит бифуркация.

Вблизи точек бифуркации флуктуации становятся аномально сильными. Вместо того чтобы оставаться малыми поправками к средним значениям, флуктуации существенно изменяют сами средние значения. Текущее состояние системы становится неустойчивым и замещается каким-то другим состоянием из множества x .

Благодаря бифуркациям существенное значение для поведения системы вдали от равновесия имеет не только то, что происходит с ней реально, но и то, что могло бы произойти при тех или иных условиях. Поведение такой системы характеризует некоторое «пространство возможностей», влияющее на реализацию событий в ней. Каждая бифуркация в поведении системы создаст также относительный предел предсказуемости ее поведения.

Но ограниченность предсказуемости в нелинейных системах имеет и другие фундаментальные причины. Примером может служить постепенное возникновение динамического хаоса в полностью детерминированных нелинейных системах. На уровне функционирования такой хаос не отличим от чисто случайного поведения. В динамической системе он возникает внутренне (в результате запутанности ее траекторий), а не под влиянием внешних факторов.

Формально системы динамического хаоса являются детерминированными. Точно зная их текущее состояние, можно в принципе установить, что произойдет с системой в сколь угодно далеком будущем. Однако на практике верно предсказывать их поведение можно лишь в течение ограниченного времени. Сколь угодно малая неточность в определении начального состояния системы нарастает со временем, и с некоторого момента исчезает возможность верных предсказаний. Система начинает вести себя хаотически [4,5].

О таких системах говорят, что они обладают чувствительностью к начальным данным и что их поведение зависит от странного аттрактора**. Аттрактором часто является неподвижная точка или периодическая траектория. Но странный аттрактор, в отличие от обычного, имеет неперiodические траектории (они не замыкаются), режим функционирования которых неустойчив (малые отклонения от режима нарастают экспоненциально). В результате орбиты на хаотическом аттракторе перемешиваются. Перемешивание происходит

** Напомним, что аттрактор – это компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему с течением времени.

примерно так, как пекарь месит тесто для выпечки хлеба. Тесто растягивается и сжимается, и то же самое происходит в аттракторе. При растяжении близкие траектории удаляются друг от друга (в частности, возникает неопределенность начальных данных), при складывании – сближаются далеко отстоящие траектории. Благодаря этому входящая в аттрактор траектория может оказаться в любом его месте. Аттрактор становится фракталом, и точное предсказание будущего поведения такой системы становится невозможным.

Системы такого рода обладают двумя принципиально важными особенностями. Во-первых, это малый горизонт видимости. Благодаря неустойчивости движений в странном аттракторе малая исходная неточность со временем нарастает, и дальнейшее состояние системы уже нельзя предвидеть. Во-вторых, возникает возможность резкого усиления слабых тенденций. Некоторые из них могут оказаться опасными и иметь непредвиденные тяжелые последствия.

Аналогичными свойствами могут обладать и другие достаточно сложные нелинейные системы. С учетом многих возможных фактов такого рода «мы должны признать, что не можем полностью контролировать окружающий нас мир нестабильных феноменов» [6].

Из числа других возможных способов поведения нелинейной системы отметим режим спонтанных катастроф. Согласно В.И. Арнольду, «Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий» [7]. Катастрофы другого рода возникают в стохастических нелинейных системах, поведение которых определяется степенными распределениями вероятностей.

Следующим шагом при изучении нелинейных (неравновесных, нестационарных) систем является выделение из их совокупности подмножества *сложных систем*. Понятие сложности в том смысле, в котором мы будем его использовать, существенно отличается от алгоритмической сложности Колмогорова. Сложные системы – это нелинейные системы, которые обладают двумя дополнительными свойствами:

1. наличием цепей положительных обратных связей, создающих и отличие от отрицательных обратных связей, эффект быстрого (например, экспоненциального) роста того или иного фрагмента системы и его последующей нестабильности;
2. наличием свойства самоорганизованной критичности.

Сложные системы могут также обладать чувствительностью к начальным данным.

Рассмотрим сначала первое свойство. Благодаря положительным обратным связям в сложной системе могут возникнуть взаимосогласованные процессы, которые могут быстро (как цепная реакция) охватывать огромное число элементов, обеспечивая единое поведение системы. К согласованному поведению огромного числа элементов относятся возникновение смерчей и циклонов в атмосфере, течений в океане и пр. С процессами такого рода связаны также войны, революции и кризисы (политические и экономические), втягивающие в орбиту своего влияния огромные массы людей, часто против их воли. Уровень рисков в сложных системах может оказаться очень большим, поэтому они должны стремиться к избыточности (иметь большие резервы и пр.).

Под влиянием положительных обратных связей в сложной системе может возникнуть режим сверхбыстрых изменений следующего вида:

$$N(t) = \frac{C_0}{t_c - t}, \quad t \rightarrow t_c, \quad C_0 = \text{const.}$$

Такой режим существенно зависит от критического момента времени t_c – начала сверхбыстрого роста. Пока t значительно меньше t_c в поведении системы мало что меняется. Но когда t попадает в малую окрестность t_c , возникает сверхбыстрый рост величины $N(t)$, которая стремится к бесконечности за конечное (часто даже небольшое) время. Такое явление называется *эффектом сингулярности*. Содержательно оно означает переход к качественно иному режиму поведения такой системы. В общем случае будем говорить, что сложные системы имеют один или несколько внешних управляющих параметров, с достижением критических значений которых поведение системы внезапно (скачком) изменяется.

Перейдем к характеристике второго свойства сложных систем. Согласно нашей гипотезе, именно это свойство, модифицированное определенным образом, играет ключевую роль в поведении сложных *экономических систем*.

Понятие самоорганизованной критичности впервые было введено американскими исследователями П. Баком и К. Ченом при модельном изучении поведения растущей кучи песка [8-10]. В качестве физической основы модели берется устройство, которое медленно и равномерно – по одной песчинке – насыпает песок на круглую подложку. Постепенно песчинки начинают громоздиться друг на друга, образуя кучу с пологим склоном, который со временем становится более крутым.

Допустим, что сцепление между песчинками является достаточно большим. Это позволяет ограничиться движением песка на поверхности кучи. Для изучения такого движения выберем достаточно малый отрезок времени Δt , за который на кучу падает только одна песчинка. В большинстве случаев от добавления одной песчинки в куче ничего не происходит, но иногда возникают *лавины*, когда добавление одной песчинки вызывает движение других ранее неподвижных песчинок.

Лавина является разновидностью цепной реакции, или ветвящегося процесса, возникающего в результате действия положительных обратных связей. В начале схода лавины одна песчинка соскальзывает вниз в результате неустойчивости своего положения на поверхности кучи. Эта песчинка остановится только тогда, когда окажется в устойчивом положении. Если она столкнется с песчинками, которые почти неустойчивы, она заставит их также катиться вниз, захватывая другие (почти) неустойчивые песчинки. Процесс прекратится, когда все активные песчинки, обладающие в начальный момент некоторым запасом неустойчивости, остановятся или скатятся с кучи. Понятно, что состояние такой системы определяется наклоном поверхности. Это *управляющий параметр* системы. В тех местах поверхности кучи, где локальный подъем оказывается больше порога устойчивости, возникает лавина. По мере добавления песка и увеличения крутизны склона средний размер лавин увеличивается.

Постепенно некоторые песчинки начинают сваливаться с подложки. Куча перестает расти, когда количество добавляемого песка компенсируется в среднем количеством песка, сваливающегося с края. Тем самым куча достигает своего *критического* состояния. Как и всякое другое состояние кучи, оно характеризуется высотой кучи h и крутизной склона z . Угол наклона (крутизна склона) для критического состояния обозначим через z_c , высоту кучи в критическом состоянии – через h_c . Считая величины z_c и h_c взаимозависимыми, выберем в качестве основного параметра эволюции кучи угол наклона z_c .

С учетом различий в крутизне склона можно выделить три основных состояния кучи: докритическое, критическое и сверхкритическое. Если $z < z_c$, то куча находится в докритическом состоянии; $z = z_c$, то в критическом; $z > z_c$, – в сверхкритическом состоянии.

Если куча находится в докритическом состоянии (крутизна склона кучи меньше критической), то лавины возникают редко и их размеры весьма

невелики. Практически такими лавинами можно пренебречь. Последовательное добавление песчинок не создает лавин, но увеличивает угол наклона кучи. Докритическая куча будет расти, пока не достигнет критического состояния.

В критическом состоянии кучи лавины возникают слишком часто, чтобы ими можно пренебречь. В качестве основного параметра к величине z_c добавляется распределение U числа и силы лавин. Эмпирически показано, что распределение U является *степенным*.

Если крутизна склона больше критической (сверхкритическое состояние), то лавины будут значительно больше тех, что генерируются критическим состоянием. Угол наклона сверхкритической кучи будет уменьшаться, пока куча не перейдет в критическое состояние. Таким образом, докритическая и сверхкритическая кучи тяготеют со временем к своему критическому состоянию. Такое тяготение обеспечивается отрицательными (стабилизирующими) обратными связями.

Существенно, что к критическому состоянию растущая куча песка приходит всегда, независимо от конкретного вида алгоритма насыпания песка и независимо от того, используется песок или другое вещество, состоящее из многих частиц, характеризующихся определенной силой сцепления между ними. Важно только, чтобы размерность площади насыпания (подложки) была не меньше 2 и чтобы существовала величина z_c .

Увеличив интенсивность падения песчинок или поставив преграды их скатыванию, можно добиться того, чтобы кучи перешли в сверхкритическое состояние (крутизна склона кучи станет больше критической). Но это состояние временно. Теперь лавины будут намного больше тех, что генерируются критическим состоянием. В результате наклон сверхкритической кучи будет уменьшаться, пока куча не перейдет в критическое состояние. Возможны одна или несколько глобальных лавин, которые быстро возвращают кучу в критическое состояние.

Таким образом, критическое состояние является итогом эволюции растущей кучи, в которой взаимодействуют положительные и отрицательные обратные связи. Лавины вызываются положительными обратными связями, но стабильность критического состояния кучи обеспечивается отрицательной обратной связью, вынуждающей любой наклон кучи принять со временем значение $z = z_c$ вне зависимости от начального профиля поверхности (от начальных условий) и от любых действий по удержанию лавин. Поскольку такое состояние достигается в этих процессах спонтанно, то оно

называется *самоорганизованной критичностью*.

В критическом состоянии песочная куча обладает двумя важными свойствами, которые на первый взгляд исключают друг друга: она неустойчива во многих различных местах своей поверхности (локально неустойчива). Однако ее критическое состояние стабильно (имеет место глобальная устойчивость изменяющейся во времени кучи песка). Локальные рельефы кучи постоянно меняются из-за локальных лавин. Однако распределение размеров лавин по всей поверхности кучи, достигшей критического состояния, остается неизменным.

Но дело не только в этом. Важно, что целостность сложной системы создается *дальними* (медленно убывающими) временными и пространственными корреляциями. Появление дальних корреляций является принципиальным обстоятельством, означающим, что система с первоначальными локальными свойствами (элементы которой способны лишь к взаимодействию со своими ближайшими соседями) обнаруживает глобальное поведение. Вся куча начинает вести себя как единое целое, а вероятность поведения лавины размера L принимает степенной вид:

$$P(L) \sim L^{-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 2.$$

Теперь можно сделать следующий шаг в нашем рассуждении: критическое состояние кучи мы называем ее *равновесием*. Основанием для этого служит наличие отрицательных обратных связей возвращающих систему к критическому состоянию при любом отклонении от него. Но это равновесие нелинейно, поскольку возникает в нелинейной системе. Таким образом, поведение растущей кучи песка приводит со временем к состоянию *нелинейного равновесия*. Такое равновесие устойчиво в следующем смысле: значительно отклоняясь в тот или иной момент от критического состояния, растущая куча всегда возвращается в критическое состояние.

Нелинейное равновесие значительно отличается от линейного по своим свойствам. В условиях нелинейного равновесия симметрия между прошлым и будущим становится ограниченной. Нормальное распределение вероятностей, характерное для линейного равновесия стохастических систем, заменяется степенными распределениями вероятностей.

Изменяется и отношение равновесия к сопряженной паре понятий *устойчивость/неустойчивость*. Линейное равновесие может быть либо устойчивым, либо неустойчивым. Нелинейное равновесие может одновременно быть и устойчи-

вым, и неустойчивым. Оно является неустойчивым локально и устойчивым глобально. Геометрия нелинейного равновесия в самом общем виде является фрактальной.

Мы полагаем, что такое нелинейное равновесие может возникать во всех сложных системах вдали от линейного равновесия, в том числе и в экономике. При этом применительно к экономике локальную лавину следует понимать как локальный кризис, а возврат из сверхкритического состояния в критическое, как глобальный кризис. Таким образом, нелинейное равновесие в экономике оказывается совместимым с кризисами.

Как только экономика переходит в состояние нелинейного равновесия, локальные кризисы становятся ее неотъемлемой частью. Апериодически в ней возникают и глобальные кризисы (когда экономика сначала переходит из критического состояния в сверхкритическое, а затем из сверхкритического возвращается в критическое).

Кроме того, когда понятие нелинейного равновесия применяется к экономике, в него следует внести важное изменение, отсутствующее в исходной песочной модели. В песочной модели всякий раз, когда куча из сверхкритического состояния возвращается в критическое, то это критическое состояние совпадает с тем, какое уже было до перехода в сверхкритическое состояние. В этом смысле с кучей на достаточно больших временных интервалах ничего нового не происходит. Однако когда экономика (и, возможно, некоторые другие сложные системы) из сверхкритического состояния возвращается в критическое, то возникает бифуркация. По одной ее ветви экономика возвращается в прежнее критическое состояние, как в песочной модели. По другой ветви экономика переходит в *новое* критическое состояние, отличное от прежнего критического. В результате нестационарная экономика *спонтанно эволюционирует*, приобретая со временем новые качества. Наличие спонтанности отличает эволюцию сложной системы от сдвигов состояния линейного равновесия, вызываемого внешними причинами.

Отметим также различия в предсказуемости кризисов, возникающих в системах, аналогичных растущей куче, порождающей лавины. Локальные кризисы предсказуемы, поскольку предсказуемы локальные лавины. Для их предсказания достаточно сравнить локальный угол наклона с углом наклона всей кучи. Если первый угол больше второго на определенную величину, то возникновение локальной лавины в этом месте практически неизбежно. Напротив, предсказание глобально-

го кризиса практически невозможно или сильно затруднено, поскольку конечный результат определяется не наблюдаемыми локальными особенностями поверхности кучи, а изменением ее внутренней структуры. Такое изменение непосредственно не наблюдаемо и его предсказание в общем случае требует понимания внутренней целостности системы.

Все это применимо и к экономике. Вблизи линейного равновесия экономика демонстрирует линейное поведение, которое хорошо описывается равновесными экономическими моделями. Математической основой этих моделей служат в первую очередь теория линейных дифференциальных уравнений, линейная алгебра и математическая статистика, основанная на нормальном распределении вероятностей. Присущей экономике внутренней неопределенностью на этом уровне можно в значительной степени пренебречь.

Вдали от линейного равновесия поведение экономики становится существенно нелинейным. Нелинейное поведение экономики в принципе нельзя характеризовать на приемлемом уровне точности равновесными моделями, образующими сегодня мейнстрим экономической науки. Рано или поздно приходится создавать нелинейные экономические модели, общий уровень которых пока, к сожалению, является недостаточно глубоким. Математической основой таких моделей являются в первую очередь теория нелинейных дифференциальных уравнений, теория фракталов и математическая статистика, основанная на степенных распределениях вероятностей. Экономическое поведение на этом уровне изобилует многочисленными «отрезками непредсказуемости и нестабильности», связанными в первую очередь с рыночными пузырями и кризисами.

Существенную роль в современной экономике играют и процессы, во многом аналогичные диссипативным структурам, возникающим в природных сложных системах. Наиболее важной экономической диссипативной структурой является рынок (совокупность рынков), характеризующий той или иной силой конкуренции. Его основная экономическая функция – приспособление к неопределенному и во многом неизвестному будущему.

Необходимость такого приспособления со временем растет. В основе этого процесса лежит различие между уменьшением горизонта видимости по мере усложнения экономики и увеличением длительности планов той части экономических субъектов, которая работает на перспективу, стремясь к опережению конкурентов. Однако размеры

их ошибок быстро растут с удлинением времени прогноза. Отсюда растущая потребность в конкурентном рынке, обладающем способностью спонтанно (без предварительных расчетов) приспособляться к неизвестному будущему. Чем неопределеннее будущее, тем большие размеры рынка требуются для приспособления к нему и тем больше ошибок совершает рынок, корректируя одновременно свои собственные ошибки. Наибольшей приспособительной способностью обладают *финансовые рынки* (возможно, за счет большей скорости сделок, более быстрого изменения самой структуры сделок и более обширного инструментария управления рисками).

При этом сложность финансовых рынков растет быстрее сложности экономики в целом. Этот феномен практически общепризнан. «Финансовые рынки усложнились. В США это позволило игнорировать правила, установленные государством» [11]. Результатом стали аperiодические колебания финансовых рынков, сходные с эффектом, порождаемым странным аттрактором.

Так, реальная стоимость фондового рынка США с 1920 по 1929 гг. выросла в 5 раз, после чего в 1929–1932 гг. вновь упала до исходного значения. С 1954 по 1973 гг. этот показатель удвоился, а с 1973 по 1974 гг. вновь опустился до исходного значения. За 1982–2000 гг. реальная стоимость обращающихся на фондовом рынке бумаг увеличилась почти в 8 раз, затем к 2008 г. уменьшилась вдвое* [11]. Это означает, что приспособление к будущему через рынки происходит посредством проб и ошибок.

Сложность всей экономики также растет, опережая рост вещественного богатства. Формируется характерная для сложных нелинейных изменений положительная обратная связь вида:

рост сложности экономики →
увеличение относительной значимости
ее финансового сектора →
дальнейшее увеличение роста сложности
экономики.

Этот процесс повторяется снова и снова.

В зависимости от специфики сложности экономического поведения мы различаем стационарную экономику и несколько типов нестационарной экономики. Стационарная экономика функционирует вблизи линейного равновесия. Поведение экономики изменяется гладко, без заметных скачков. Результаты экономической деятельности почти полностью предвидимы. Ведущим экономическим

* Эти данные не учитывают изменения на рынках производных ценных бумаг.

сектором является производство товаров и услуг (реальный сектор экономики).

Нестационарная экономика функционирует вдали от линейного равновесия. Поведение экономики может сильно варьировать. Результаты экономической деятельности могут оказаться неожиданными. Ведущим экономическим сектором становится финансовый сектор, функционирование которого во многом определяет границы производства товаров и услуг.

Мы различаем три основных типа нестационарных экономических систем:

1. нестационарная экономика, в которой объем доступных ресурсов количественно растет и улучшается качественно. Эта ресурсы используются во все большем объеме;
2. нестационарная экономика, в которой постоянный или уменьшающийся уровень доступных в принципе ресурсов используется лишь частично;
3. нестационарная экономика – экономика финансовых пузырей и кризисов*. Возникновение в ней пузырей и кризисов рассматривается как результат увеличения сложности нестационарной экономики, особенно ее финансового сектора.

Может ли сложность экономики расти неограниченно, и если да, то не обрушит ли рост сложности саму экономику, образующую основу всей жизнедеятельности человека? Существует ли возможность ликвидации этой угрозы естественным путем (т. е. в рамках эволюции самой рыночной экономики), а не в результате проведения необдуманных реформ**, непредвиденные результаты

которых могут оказаться хуже самой болезни? Эти вопросы подлежат дальнейшему рассмотрению.

Литература

1. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
2. *Костюк В.Н.* Потенциальная реальность // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1992-1994. М.: URSS, 1996. С. 115-135.
3. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. М.: URSS, 2003. С. 58-59.
4. *Лоскутов А.Ю.* Очарование хаоса // Успехи физических наук. 2010, т. 180. С. 1305-1329.
5. *Кузнецов С.П.* Динамический хаос (курс лекций). М.: Физматлит, 2001. 290 с.
6. *Пригожин И.* Философия неустойчивости // Вопросы философии, 1991, №6. С. 51.
7. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. Пятое издание. М.: URSS, 2009. С. 8.
8. *Bak P., Tang C., and Wiesenfeld K.* 1988. Self-organized criticality. Phys. Rev. Vol. 38. No.1. PP. 364-374.
9. *Бак П., Кан Ч.* Самоорганизованная критичность // В мире науки, 1991, №3, С.16-24.
10. *Bak P.* 1996. How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. N.Y.: Copernicus Pubs. 212 p.
11. *Акерлоф Дж., Р. Шиллер.* Как человеческая психология управляет экономикой. М.: Альпина, 2010, с. 181.

Костюк Владимир Николаевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор экономических наук. Количество печатных работ: более 180. Область научных интересов: теория эволюции; макроэкономика; современные финансы; проблемы синергетики; теории сложных систем; «новой» экономики. E-mail: vlad.kostiuk@gmail.com

* Отметим, что спады в составе делового цикла мы относим к стационарной экономике.

** ...направленных, например, на искусственное упрощение экономики.

The concept of complexity and non-stationarity of economic systems

V.N. Kostiuk¹

¹ Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of the concept of non-stationary behavior in the modern economy. The difference between stationarity and non-stationarity is characterized by a specially defined concept of the state of the system being realized. It is assumed that the modern non-stationary economy, having reached a certain level of complexity, functions near non-linear equilibrium. This article also examines the impact of increasing complexity on the development of the economic system.

Keywords: *system, stationarity, nonstationarity, complexity, equilibrium, stability, self-organized criticality, bifurcation.*

DOI: 10.14357/20790279180303

References

1. *Nikolis G., and Prigozhin I.* 1979. Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh [Self-organization in non-equilibrium systems]. Moscow: World Pubs. 512 p.
2. *Kostiuk V.N.* 1996. Potentsial'naya real'nost' [Potential Reality]. Sistemnyye issledovaniya. Metodologicheskiye problemy. Yezhegodnik 1992-1994. [System Studies. Methodological problems. Yearbook 1992-1994]. Moscow: URSS Pubs. P. 115-135.
3. *Prigozhin I., and Stengers I.* 2003. Vremya. Khaos. Kvant. K resheniyu paradoksa vremeni. [Time. Chaos. Quantum. To the solution of the paradox of time]. Moscow: URSS Pubs. P. 58-59.
4. *Loskutov A. YU.* 2010. Ocharovaniye khaosa [Charm of chaos]. Uspekhi fizicheskikh nauk [Successes of physical sciences]. 180: 1305-1329.
5. *Kuznetsov S.P.* 2001. Dinamicheskiy khaos (kurs lektsiy) [Dynamic chaos (course of lectures)]. Moscow: Physical and mathematical literature Pubs. 290 p.
6. *Prigozhin I.* 1991. Filosofiya nestabil'nosti [Philosophy of instability. Voprosy filosofii [Problems of Philosophy]. 6: 51.
7. *Arnol'd V.I.* 2009. Teoriya katastrof. [The theory of catastrophes] – 5th ed. Moscow: URSS. P. 8.
8. *Bak P., Tang C., and Wiesenfeld K.* 1988. Self-organized criticality. Phys. Rev. Vol. 38. No.1. PP. 364-374.
9. *Bak P., and Kan CH.* 1991. Samoorganizovannaya kritichnost' [Self-organized criticality]. V mire nauki [In the world of science]. 3: 16-24.
10. *Bak P.* 1996. How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. N.Y.: Copernicus Pubs. 212 p.
11. *Akerlof Dzh. and Shiller R.* 2010. Kak chelovecheskaya psikhologiya upravlyayet ekonomikoy [How human psychology manages the economy]. Moscow: Alpina Pubs. 181 p.

Kostiuk V.N. Lab. “Systems Analysis of Natural Monopolies Efficiency”, Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences (ISA FRC CSC RAS), Moscow, Russia. E-mail: vlad.kostiuk@gmail.com