

## **МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В МОДЕЛИРОВАНИИ МАКРО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Введение.** В настоящее время существует принципиальная задача построения альтернативных сценариев развития сложных, необратимо развивающихся систем. Эти проблемы тем более актуальны, когда приходится выбирать не между хорошим и лучшим, а между плохим и очень плохим вариантом.

Проблема «проектирования будущего», поиска устойчивых и безопасных траекторий развития имеет непосредственное отношение к нелинейной динамике. Социально-технологические объекты представляют собой сложные иерархические системы. Степень их неустойчивости, пределы их предсказуемости различны. В экономической системе горизонт прогнозирования резко уменьшился: если еще 15 лет назад нормой в мире было 5-летнее директивное или индикативное планирование, то сейчас об этом говорить не приходится. В мире – все больше предложение «быстрых денег» и все меньше «медленных». С другой стороны, устойчивое развитие общества требует медленно меняющихся стратегических целей, шкалы общественных ценностей и норм, культуры и идеологии. Нужны техника, теории, формализм, которые позволили бы анализировать возможную динамику «разновременных систем» и на этой основе направлять их развитие.

Сегодня на первый план выходит нелинейная динамика, связанная с поиском единых механизмов в нелинейных системах различной природы. Модель объекта, которым может быть как отдельная отрасль, так и совокупность отраслей экономики, позволяет анализировать множество потенциальных путей развития объекта (или отдельных характерных черт явления, сопровождающего развитие объекта) и выбирать наиболее рациональный путь его развития, в соответствии с целями и задачами, которые ставит исследователь. Для поиска таких путей развития в сложных нелинейных системах используются специальные математические методы, необходимость

применения которых при моделировании и прогнозировании показывается в данной работе.

***Необходимость перехода к новым методам прогнозирования.***

Для обоснования необходимости разработки новых методов прогнозирования необходимо понять причины, по которым это надо делать.

*Основные методы, которые использовались ранее*, при планировании и прогнозировании, можно разделить на три группы: балансовые, исследования операций, эконометрические методы. Их общей чертой можно назвать линейность (или сводимость к ней, посредством процедуры линеаризации соответствующих систем), которая является как недостатком, так и достоинством этих методов.

Предположение о линейной зависимости является сильным упрощением действительности. В частности, игнорируется экономия удельных затрат благодаря увеличению масштабов производства.

Линейный характер связей принимается как постулат, подтвержденный достаточно обширным эмпирическим материалом. Такой постулат можно было принять в условиях плановой экономики, которая характеризовалась стационарным режимом преимущественно экстенсивного роста. В условиях переходной и рыночной экономики, когда большинство процессов носят нестационарный характер, такой постулат нужно применять осторожно, поскольку он сильно огрубляет модель, которая может существенно потерять в степени адекватности описания динамических процессов.

К основным постулатам линейного мышления, которые следуют из детерминистских представлений о мире и математическом способе его описания с помощью систем линейных дифференциальных уравнений, относятся следующие [12, с. 472-473].

1. Возможность описания большинства процессов с большой степенью точности с помощью линейных уравнений или их комбинаций. Нелинейные члены представляют собой лишь небольшие добавки, не вносящие существенных качественных изменений в общую картину.

2. Однозначность стационарного решения в системе линейных уравнений. Это означает, что практически при любых условиях (параметрах системы) существует единственное стационарное решение (или не существует вовсе, что маловероятно), которое достигается независимо от начальных условий. В этом выражается представление о единственно верной цели, к которой следует стремиться любыми способами.

3. Устойчивость решения по отношению к виду уравнений и начальным условиям. Малые отклонения мало влияют на решения. Это соответствует представлениям об объективной зако-

номерности, на которую фактически не могут повлиять личности и обстоятельства.

4. Возможность однозначной идентификации параметров в системе в случае полностью наблюдаемого вектора состояний (по совокупности фактических данных). Это означает, что по следствиям можно однозначно определить причину.

5. К линейно-детерминистскому подходу следует отнести и представление о возможности выделения определяющего, лимитирующего фактора в любом процессе, о существовании ключевого управляющего фактора, обнаружив который, можно инициировать необходимый процесс. Например, в истории нашей страны: электрификация, химизация, монетарная система и т.д.

Во всех сколько-нибудь сложных системах присутствуют свойства, которые могут быть описаны с помощью нелинейных моделей, и для них естественны: ограниченность решений, колебательные и мультистационарные режимы, квазистохастическое пространственное и временное поведение.

С учетом свойств, присущих сложным системам, а также учитывая основные положения принципа линейности, необходимо перейти к нелинейному принципу, который более адекватно подходит к моделированию макроэкономических процессов в переходной экономике.

*Балансовые модели.* В Советском Союзе для прогнозирования и планирования экономических процессов широко использовались статические и динамические модели межотраслевого баланса (МОБ), а также модели межотраслевых взаимодействий (ММВ).

Однако в настоящее время эти модели имеют ограниченную возможность применения, поскольку государство, вследствие суженного (в сравнении с системой централизованного планирования) набора ресурсов и инструментов лимитировано в своем влиянии на рыночный процесс. С другой стороны, степень гетерогенности среды в условиях перехода к рыночной экономике, существенно возросла, и эффекты, связанные с нестационарностью процессов, проявляются в экономической среде через усиление нелинейной реакции агентов, что затрудняет разработку и принятие решений (в том числе стратегических) по управлению социально-экономическими процессами в России. Таким образом, сегодня необходима разработка преимущественно динамических моделей, на основе которых можно моделировать варианты решений актуальных задач развития.

Для того, чтобы модели рассматриваемого типа стали действительно динамическими (в смысле возможности анализа потенциальных режимов), необходимо задавать (вычислять) динамику коэффициентов, которые определяют величины межотраслевых потоков в

ММВ, либо динамику технологических коэффициентов в статической и дополнительно динамику коэффициентов фондоемкости в динамической модели МОБа. Существенная сложность приведенных задач, а также их информационного обеспечения – те причины, по которым они так и не были в полной мере решены.

*Методы исследования операций.* Поскольку в советской экономике задача планирования ставилась как экстремальная задача, данные методы получили широкое распространение. Основная цель оптимизационной модели – определить темпы и направления развития отраслей при обеспечении сбалансированности и пропорциональности.

Преимущества, которые дает постановка задачи на оптимум, заключаются в том, что принцип экономического баланса соединяется здесь с принципом максимально эффективного использования ресурсов. С другой стороны, недостатком задачи на экстремум является фиксация пределов, при которых ищется решение, и полное предвидение в отношении величин (их распределений в случае стохастического программирования), как целевых, так и функциональных. Но поскольку в условиях плановой экономики с увеличением планового периода возрастает как степень неопределенности, так и нелинейности, то возникает необходимость их учета, что существенно усложняет решение задачи на оптимум.

В качестве основной причины, по которой стала возможной постановка и использование задачи на оптимум, являлась целостность экономического пространства СССР, что обеспечило возможность определения потенциального оптимального плана. Это дало возможность А.Л. Лурье обосновать необходимость поиска глобального оптимума, достижение которого, в условиях учета нелинейности, может сочетаться с плановой убыточностью отдельного сектора экономики.

Применение методов математического программирования (линейного, нелинейного, стохастического, динамического) в современной российской экономике ограничено тем, что существует перманентное изменение как глобальных, так и локальных потенциальных критериев, являющееся проявлением существенной нелинейности социально-экономической среды, причем период их изменения существенно короче потенциального периода их реализации.

В настоящее время использование методов математического программирования получило широкое применение в практике индикативного планирования и прогнозирования развитых стран с рыночной экономикой. Связано это с тем, что при высокой степени агрегирования (на уровне экономики или на уровне отрасли), на которой происходит оценка и моделирование сценариев развития, сильно проявляется инерционность экономики и, таким образом, может быть поставлена и ре-

шена задача математического программирования по поиску наиболее рационального варианта решения конкретной проблемы.

*Эконометрические методы.* Одним из основных подходов, который использовался и используется при прогнозировании макроэкономической динамики как в российской, так и в рыночных экономиках, является использование эконометрических методов. При простоте их использования на основе регрессионных уравнений, они имеют ряд недостатков, среди которых можно назвать следующие.

- Значения коэффициентов, входящих в уравнения зависят от длины статистического ряда, аппроксимация которого производится. Эта зависимость будет сказываться на точности прогноза. Возникают сложности с приданием коэффициентам модели соответствующего экономического содержания.
- При построении однофакторных моделей, которые обладают рядом общих признаков<sup>1</sup>, обосновывающих правомерность их применения, которые также являются ограничением возможности и глубины экстраполяции. В частности, для макроэкономических моделей, основанных на годовых данных, эта глубина не превышает 5-7 лет [3, с. 103]. Современная российская экономика, являясь переходной, демонстрирует нестационарность процессов по причине быстрого изменения экономической среды, поэтому эконометрические модели относительно быстро приходят в негодность.
- Общепринято, что период прогноза должен быть меньше длины статистического временного ряда, на котором строилась модель.
- Сложность учета множественности факторов, влияющих на прогнозируемую величину, особенно, если степень влияния факторов переменная.
- Значительная сложность проведения качественного анализа системы, особенно при применении разных типов аппроксимирующих уравнений, что, в свою очередь, затрудняет выявление зависимости стационарного и динамического взаимодействия между отдельными объектами, входящими в модель.

К эконометрическим моделям тесно примыкают модели, в которых либо вообще не используется статистическая информация, либо используется ограниченно. Работы, в которых не используется статистическая информация, ряд зарубежных ученых (Р. Фриш, Г. Дэвис, Ч. Руз, Г. Титнер и др.) относят к, так называемой, математической эконо-

---

<sup>1</sup> Устойчивость динамики процесса во времени; сохранение общих условий воспроизводства на определенный период времени в будущем; отсутствие экзогенных воздействий, способных вызвать резкое, скачкообразное изменение темпов экономического роста.

мике [16, с. 4]. Однако вследствие значительной сложности доказательств правомерности построенных моделей математической экономики, в соответствующих моделях стали использоваться статистические данные. Аппарат, который используется в такого рода моделях наиболее адекватен для моделирования реальной экономики.

Однако, в настоящее время, использовавшиеся ранее методики, по ряду причин, прежде всего, из-за усиливающегося влияния процесса глобализации на переходную российскую экономику и многократно сокращающегося времени принятия оперативных управленческих макроэкономических решений в самой российской экономике требует разработки новых методов для моделирования и прогнозирования и на этой основе комплекса мер, направленных на устойчивое развитие российской экономики.

**Альтернатива существующим методам.** В качестве альтернативы (или дополнения) к используемым методам моделирования и прогнозирования можно назвать:

- системы прогнозирования и моделирования, построенные на нечеткой логике<sup>2</sup>;
- методы теории нейронных сетей основанные на их свойствах (обучение, обобщение и абстрагирование);
- методы теории динамических систем.

*Нечеткое управление и нечеткая логика.* Как известно, аппарат нечетких множеств и нечеткой логики уже давно (более 10 лет) с успехом применяется для решения задач, в которых исходные данные ненадежны и слабо формализованы. Сильные стороны такого подхода:

- описание условий и метода решения задачи на языке, близком к естественному;
- универсальность: согласно знаменитой теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике;

---

<sup>2</sup> Методы нечеткой логики исходят из следующего положения. Если в стандартном подходе поведение динамической системы описывается фазовой траекторией (при детерминированном моделировании) или случайным процессом (при вероятностном моделировании), то при нечетком описании поведение системы описывается ансамблем траекторий с заданной на нем мерой возможности. Эта мера задает порядок на множестве траекторий, указывающий, какие траектории более возможны, какие – менее, а какие невозможны вообще. Поведение системы при этом можно определить как нечеткий процесс, описываемый начальным распределением возможностей перехода системы из одного состояния в другое как функции времени, начального и конечного состояний. Результат нечеткого моделирования говорит о том, что то или иное состояние системы возможно в заданный момент времени, и даже тогда, когда вычисленная возможность некоторого значения координат системы равна единице, это вовсе не означает, что такая ситуация действительно произойдет в реальности.

- эффективность (связана с универсальностью), показываемая при помощи теорем, аналогичных теоремам о полноте для искусственных нейронных сетей.

Вместе с тем для нечетких экспертных и управляющих систем характерны и определенные недостатки.

1. Исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым.

2. Вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Новые подходы позволяют расширить сферу применения теории систем автоматического управления за пределы классической теории. В этом плане можно привести точку зрения Л. Заде: «Я считаю, что излишнее стремление стало оказывать действие, сводящее на нет теорию управления и теорию систем, так как оно приводит к тому, что исследования в этой области сосредотачиваются на тех и только тех проблемах, которые приводят к точному решению. В результате многие классы важных проблем, в которых данные, цели и ограничения являются слишком сложными или плохо определенными для того, чтобы допустить точный математический анализ, оставались и остаются в стороне по той причине, что они не поддаются математической трактовке. Для того чтобы сказать что-либо существенное для проблем подобного рода, мы должны отказаться от наших требований точности и допустить результаты, которые являются несколько размытыми или неопределенными» [4, с. 8].

Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы.

Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда целевые процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно. Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. В основном нечеткая логика обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Наличие математических средств отражения нечеткости исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности, в частности, при моделировании экономических процессов.

*Нейронные сети.* Нейронные сети представляют собой вычислительные структуры и распараллеленные системы, способные к обучению путем анализа положительных и отрицательных воздействий.

Применение нейронных сетей в экономическом моделировании и прогнозировании позволяет решать следующие классы задач:

- кластеризация / категоризация данных и поиск зависимостей;
- прогнозирование;
- оптимизация;
- нахождение оптимального управляющего воздействия на систему.

Основными недостатками аппарата нейронных сетей являются:

- отсутствие строгой теории по выбору структуры нейронных сетей;
- практическая невозможность извлечения приобретенных знаний из обученной нейросети.

Применение нейросетевых технологий и методов нечеткой логики с учетом их свойств (обучение, абстрагирование и обобщение) позволяет разрабатывать компактные гибкие системы моделирования, прогнозирования и управления, которые с существенно меньшими затратами позволяют решать практические задачи.

*Методы теории динамических систем.* Теория динамических систем позволяет производить переход от детерминированного к статистическому (вероятностному) описанию, которым преимущественно пользуются современные эконометристы. Как известно, возникновение случайности происходит из неустойчивости индивидуальных движений, происходящих внутри ограниченного фазового объема. Неустойчивость всех финитных движений (движения происходят в ограниченной области пространства) гарантирует сложность почти всех отдельных движений и бесконечное их разнообразие, благодаря чему появляется понятие ансамбля и основывающееся на нем статистическое описание, которым пользуются эконометристы. Поэтому в принципе возможно описание экономической системы в виде детерминированной динамической системы, которую можно при решении свести к системе низкой размерности, а в процессе анализа ее поведения пользоваться методами теории динамических систем. Это положение целиком сочетается с синергетическим представлением о параметрах порядка, которыми описывается поведение системы в течение определенного времени. Отсюда вытекает идея русел и джокеров, которые позволяют строить картину сближающихся траекторий (русел). Отбрасывая несущественные переменные, строится *проекция реальности*, в которой становится возможен анализ и прогноз поведения объекта, но с принципиально *ограниченной точностью*, и в течение *ограниченного промежутка времени*.

В экономике, как показывают соответствующие экономические теории, тоже есть русла. Однако, они локальны, т.е. обладают предсказывающей силой только в какой-то вполне определенной ситуации, при выполнении определенных требований. По этой причине от них нельзя требовать очень точных и очень длительных прогнозов. Поэтому нужно очень аккуратно оговаривать допущения, исходные предпосылки. На первый план выходит определение: истока, когда посылки начинают быть справедливы; устья русла, когда они больше не выполняются; джокеров, когда нельзя указать следующего русла.

Однако, применение понятия «джокер», предложенного Г.Г. Малинецким и А.Б. Потаповым [7], в экономическом анализе и моделировании, по нашему мнению, должно носить исключительный характер, поскольку в большинстве случаев можно смоделировать и спрогнозировать экономическую динамику, опираясь на положения современной экономической теории. Применение же джокеров любого типа может ослабить или прервать логическую связь между явлениями и соответствующей динамикой, что затруднит понимание явления с теоретической точки зрения.

Как известно, современные методы нелинейной динамики были разработаны в рамках решения практических и теоретических задач естественными науками, прежде всего физикой, химией и биологией. Общим ограничением применений методик естественных наук в общественных науках является то, что общественные науки имеют дело с объектами или явлениями сверхвысокой сложности. В общественных науках наиболее ярко проявилась необходимость сначала строить теорию, а потом уже под нее проводить свои наблюдения. В естественных науках теория практически *всегда* следует из эксперимента.

Кроме того, следует отметить крайнюю политизированность и ангажированность экономических теорий и исследований. Поэтому в экономической науке существует большое количество теорий, ряд из которых неверны или имеют чисто теоретическое значение.

Догматическое применение ранее разработанных экономических моделей или теорий в современной российской практике представляется опасным по причине того, что индивидуальные обстоятельства, складывающиеся в российской экономике на текущий момент времени, неповторяемы. Поэтому требуется разработка соответствующих моделей, которые описывали бы эти обстоятельства.

***Нелинейная парадигма.*** Линейным и однозначным представлениям о процессах нелинейная наука противопоставляет гораздо более сложные и неоднозначные представления, требующие в каждом конкретном случае тщательного исследования. К основным постулатам нелинейного мышления можно отнести следующие [12, с. 474-476].

- Все процессы в живой (и социальной) природе и большинство процессов в неживой природе описываются нелинейными уравнениями. Это связано с тем, что живые и социальные системы являются системами, которые могут обмениваться энергией и веществом с окружающей средой и удалены от термодинамического равновесия.
- Характер стационарного режима в нелинейной системе зависит от типа нелинейности, от параметров системы и ее окружения, наконец, от начальных условий.
- Устойчивость системы к малым отклонениям не является общим свойством. Существуют специальные области фазового пространства – странные аттракторы, при движении в которых состояние становится непредсказуемым. Но и в других нелинейных системах как в параметрическом, так и в фазовом пространстве есть области, где система становится чрезвычайно чувствительной к флуктуациям и малым внешним воздействиям. В параметрическом пространстве это бифуркационные границы, по разные стороны которых система имеет качественно различный характер поведения (например, устойчивое стационарное состояние и колебательный или квазистохастический стационарный режим). В фазовом пространстве – это сепаратрисы, границы, отделяющие области влияния тех или иных аттракторов. Если малая флуктуация «перебрасывает» систему через сепаратрису, она оказывается в области влияния другого аттрактора и зачастую кардинальным образом меняет характер своего поведения<sup>3</sup>.
- В нелинейных системах однозначная идентификация параметров, как правило, невозможна. Это обстоятельство весьма ограничивает возможности науки, классическое содержание которой представляет собой установление природных закономерностей (т.е. математического вида закона и входящих в него параметров) по фактическим данным. Можно лишь предположить один из важнейших вариантов закономерности.

---

<sup>3</sup> В отличие от математических моделей, в реальной жизни невозможно различить два типа качественного (сепаратрисного и бифуркационного) изменения поведения. Приходить в замешательство из-за резкого изменения стереотипа поведения человека, социальной группы, нации не следует. Они «перевалили» через сепаратрису или через бифуркационную границу, изменили свой «паттерн» поведения, и обратный переход практически невозможен. Ведь «граница» представляет собой множество меньшей мощности, чем множество траекторий, и вероятность перейти через нее обратно крайне мала. Поэтому разговоры об опасности «возврата в прошлое» имеют чисто демагогический характер.

стей, которые могли бы определить совокупность наблюдаемых следствий.

- В нелинейных системах принцип «узкого места», к сожалению, не всегда справедлив. Общие принципы управления нелинейными системами, в отличие от линейных, пока не найдены.

**Математический аппарат нелинейной динамики.** Основным математическим аппаратом нелинейной динамики являются, как правило, нелинейные уравнения в частных или в обычных производных. Только такие уравнения могут демонстрировать большой спектр различных режимов, в отличие от обыкновенных линейных дифференциальных уравнений. Однако часть из этих уравнений не имеет аналитического решения, которое является наиболее ценным для анализа, поэтому используются многочисленные числовые алгоритмы решения таких уравнений и построения фазовых диаграмм. Необходимость построения фазовых и бифуркационных диаграмм исходит из задачи анализа долгосрочной (глобальной) динамики динамической системы, а также выявления локальных особенностей поведения системы.

Развитие теории динамических систем в нашей стране можно отнести к началу прошлого века, когда стала очевидной нелинейность большинства явлений в самых различных областях науки. Школа, создателем которой был Л.И. Мандельштам (1879-1944), первая пришла к пониманию возможности изучения нелинейных явлений самой различной природы, в то время как до этого полагали, что эти явления должны изучаться отдельно.

В конце 20-х годов прошлого века ученик Мандельштама А.А. Андронов (1901-1952) установил, что адекватным математическим образом периодических автоколебаний являются предельные циклы Пуанкаре, введенные в его качественной теории дифференциальных уравнений. Андронов использовал также для анализа автоколебательных систем созданный А.М. Ляпуновым (1857-1918) аппарат теории устойчивости [6].

Одним из важных достижений развития теории динамических систем стало формирование Андроновым и Понтрягиным представления о грубых или структурно-устойчивых системах. Система является грубой<sup>4</sup>, если около соответствующей ей точки пространства систем можно указать такую окрестность, что в ней будут располагаться только системы с топологически эквивалентным устройством фазового пространства. Исследовательская программа по А.А. Андронову и Л.С. Понтрягину состоит в выделении грубых ситуаций, а затем негрубых систем возрастающей коразмерности. Что касается

---

<sup>4</sup> Другое определение, которое можно дать: грубые системы – системы, которые качественно не меняют своего поведения при малом изменении параметров.

негрубых ситуаций, то они составляют предмет теории бифуркации [2] – глубокой и хорошо развитой математической дисциплины, являющейся одной из основ теории нелинейной динамики.

Таким образом, исследователи получили в свое распоряжение мощный математический аппарат, который позволяет производить детальный анализ динамических систем с малой размерностью, при этом появляется возможность ответить на любой вопрос, связанный с динамикой рассматриваемой системы.

К середине XX в. была создана качественная теория, зачинателем которой был А. Пуанкаре [10], позволяющая анализировать поведение динамических систем по их уравнениям, не решая сами уравнения. Другим основным приемом, который используется при анализе динамических систем, является теорема Тихонова, которая позволяет упрощать системы уравнений. Таким образом, появляется возможность анализировать относительно простые системы уравнений на соответствующих временных интервалах, что чрезвычайно важно для исследования процессов самоорганизации, проходящих на разных временных интервалах.

Однако иногда применение таких приемов упрощения не позволяет свести систему уравнений до решения в аналитическом виде, дающем возможность проводить анализ методами математического анализа и строить основные диаграммы: бифуркационную и фазовую. В этих случаях используется численное решение с применением ЭВМ.

**Теоретическая парадигма нелинейной динамики в приложениях к экономике.** В неоклассической теории центральным принципом является стремление экономической системы к равновесию. При этом достигается экстремум некоторой величины – будь то максимум функции полезности, минимум затрат или максимум прибыли. Тем самым экономическое развитие подчиняется определенной цели, т.е. носит *телеологический* характер. Внутренняя логическая завершенность и прозрачность математических формулировок неоклассической теории делают ее исключительно удобным инструментом для исследований, но одновременно порождает миф о всеобщности принципа равновесия.

Неоклассический подход бессилён адекватно описать поведение неравновесных открытых социально-экономических систем, когда, говоря языком синергетики, квазиравновесный режим уже потерял устойчивость, но макроскопическая хаотизация (аналог турбулентности) еще не наступила. В частности, в рамках теории общего равновесия нельзя получить ответы на вопросы о причинах научно-технического прогресса или институциональных переменных в странах с переходной экономикой.

Подход эволюционной экономики, основанной на теории самоорганизации, значительно шире и включает в себя неоклассическую теорию в качестве предельного случая близости к равновесию.

Предметом изучения эволюционной экономики являются, в частности, следующие вопросы:

- раскрытие общих законов поведения открытых неравновесных социально-экономических систем;
- теоретическое истолкование явлений экономической эволюции и развития индивидуальных предприятий и институтов;
- непосредственно связанное с этим объяснение механизмов «невидимой руки рынка» А. Смита.

Вышеназванные проблемы являются проблемами, которые характерны для самоорганизующихся систем, проходящих путь необратимого развития, т.е. синергетических систем.

Современная российская экономика характеризуется наличием нестабильных, неравновесных, нестационарных процессов, происходящих в условиях неопределенности, что детерминирует потенциальное множество путей для ее дальнейшего развития, таким образом, возникает задача определения наиболее рационального пути развития экономики в текущих условиях на теоретической основе эволюционной экономики.

**Примеры применения нелинейных моделей.** К настоящему времени построено большое количество моделей нелинейной экономической динамики. За рубежом периодически проходят конференции и публикуются статьи и журналы по данной проблематике [19, 20].

В качестве примеров можно привести зарубежные и российские модели.

*Первая модель* [22] обосновывает возможность использования искусственных нейронных сетей для технических торговых правил (ТТП), используемых для прогнозирования ежедневной ставки обменного курса. Основной вывод состоит в том, что модели выбора ТТП, которые использовались для прогнозирования нелинейной динамики, например, обменного курса, невозможно использовать на длительных интервалах и иногда для окончательного прогноза предпочтительнее использовать искусственные нейросети.

*Вторая модель* [21] демонстрирует применения процедуры выявления областей стабильности на модели Великобритании, построенной на основе системы дифференциальных уравнений. Анализ устойчивости является важным для понимания динамических свойств системы и для определения того, какие из параметров наиболее важны в этих динамических свойствах. Основная цель работы состояла в определении границы параметров, на которых происходит неста-

бильность. Обнаружены два типа таких границ: пограничная транс-критическая<sup>5</sup> бифуркация и граничная бифуркация Хопфа<sup>6</sup>, связанные с двумя различными путями, которые приводят к неустойчивости, если значение параметра пересекает бифуркационную границу.

Наличие пограничной бифуркации Хопфа особенно полезно, поскольку бифуркация Хопфа может предоставить возможность объяснения для некоторых циклических явлений в макроэкономике.

Цифровые алгоритмы поиска стабильных областей, построены таким образом, чтобы определить границы стабильности, которые приведены на трехразмерных диаграммах. Показано, что оба типа бифуркаций могут сосуществовать в построенной модели в соответствующей части фазового пространства.

*Третья модель* [23] представляет пример прогнозирования рецессий и подъемов для разных стран. Процедура строится на анализе выделения спектра предполагаемых кратко-, средне- и долгосрочных колебаний.

Связывая тренд с низкочастотным псевдоспектром в частотной области, и манипулируя широкодиапазонным спектром, можно определить длину трендов с определенными свойствами. В работе показывается, как эти свойства могут быть использованы и доработаны, чтобы спрогнозировать критические точки бизнес цикла, не только в ретроспективе, но также и на перспективу. Эта процедура применялась для квартальных послевоенных данных США, а также для ряда данных, относящимся к нескольким Европейским странам.

Из российских моделей можно привести модели, предложенные А.Д. Смирновым [13-15] и Д.С. Чернавским [18].

Работа А.Д. Смирнова [13] носит демонстрационный характер применения теории катастроф. В ней автор предлагает алгоритм построения политико-экономической нелинейной модели перехода от одной социально-экономической модели развития к другой. Несомненным достоинством работы является классификация социально-экономических систем, являющихся модификациями командной и рыночных экономик, а также демонстрация построения и анализ катастрофы типа «сборка». Однако анализ этот делается уже после того, как соответствующий переход совершен системой, что с точки зрения прогнозирования подобного рода переходов является недос-

---

<sup>5</sup> Транскритическая бифуркация происходит, когда система имеет равновесие с нулевым значением определителя системы.

<sup>6</sup> Бифуркация Хопфа – бифуркация, при которой происходит переход к предельному циклу, а именно, когда в особой точке системы все собственные значения имеют строго отрицательную вещественную часть, за исключением одной пары, пересекающей мнимую ось. При этом подпространство, натянутое на собственные векторы, отвечающие устойчивым значениям, продолжается в двумерное аналитическое многообразие, внутри которого появляется предельный цикл.

татком. Недостатком, по нашему мнению, является и то, что не рассматривается мотивация предпосылок и выбора того или иного способа трансформации системы, а также их эволюционная взаимосвязь.

Вторая работа А.Д. Смирнова [14] посвящена попытке преодоления указанного выше недостатка прогнозирования развития переходной российской экономики. Применение автором методов нелинейной динамики, в частности теории катастроф, для прогнозирования спектра возможного развития, мотивировано тем, что существовавшие на тот момент прогнозы, хотя и подкрепленные обширным эмпирическим материалом, либо имеют высокую степень неопределенности в силу неполноты описания качественных гипотез, либо даже содержат логические противоречия.

Общим достоинством представленных моделей А.Д. Смирнова [13-15] является также анализ возможного спектра развития системы путем трансформации отношений в соответствующих областях (политической, экономической). Автор также выделяет управляющие параметры, от которых, по его мнению, зависит глубина и характер изменений в соответствующих областях.

Модель, предложенная Д.С. Чернавским [18], представляет скорее демонстрацию принципов управления экономикой на макроуровне, под которыми понимаются способы переключения (силовой и параметрический) и перевода развития экономики на режим, который автор называет «высокопродуктивным состоянием», чем реальную модель, предназначенную для анализа возможных вариантов выбора макроэкономической политики.

Все приведенные и другие подобные им модели, относятся к классу моделей математической экономики и ставят своей целью объяснение и/или прогноз некоторого явления, либо выработку мер управления для реализации экономической политики.

**Заключение.** Переходная, также как и рыночная, экономика принадлежит к гетерогенной среде, в которой происходят процессы самоорганизации. К основным характеристикам среды, в которой протекают такие процессы, можно отнести нелинейность, диссипативность, открытость, нестабильность. На степень нелинейности среды влияет множество факторов. Так, например, в настоящее время в некоторых развитых странах происходит переход от индустриального к постиндустриальному обществу, основой которого является информация, а возникновение информационных сред приводит к усилению нелинейности среды, на которой разворачиваются процессы развития.

Сложность учета и анализа нелинейности к настоящему времени полностью осознана наукой и ищутся способы управления и нивелирования двух процессов: эволюции и инволюции, которые протека-

ют в сложных, в том числе социальных, системах. Во взаимодействии двух указанных процессов проявляется общий фундаментальный принцип поведения сложных систем – периодическое чередование стадий эволюции и инволюции, развертывания и свертывания, взрыва активности и схождения к центру, интеграции и расхождения, дезинтеграции, частичного распада. В этом существует аналогия с циклами Н.Д. Кондратьева. Это доказывает общность протекания процессов в различных средах и необходимость использования единого математического аппарата нелинейной науки – синергетики.

Как известно, историки не обсуждают вопроса, почему империи распадаются, они исследуют только конкретные социальные условия краха отдельных империй. Синергетические модели позволяют получить предположительное математическое обоснование этого исторического феномена. Аналогичным образом синергетические модели могут использоваться и в экономической науке.

Квинтэссенцию необходимости применения математических моделей нелинейной науки для моделирования и прогнозирования макроэкономических процессов можно сформулировать следующим образом: исследование спектра возможных состояний и вариантов будущего развития экономики (или отдельных отраслей), который является следствием усиления нелинейности экономической среды по ряду различных причин, и возможность выбора наиболее рациональных вариантов развития позволяют надеяться, с одной стороны, на прогноз и преодоление возможных кризисов с наименьшими потерями, а, с другой, – предложить меры по достижению устойчивого развития экономики (или ее отраслей).

Сложность и масштабность проблем, стоящих в настоящее время перед экономистами (и практиками, и теоретиками) не позволяют надеяться на их успешное решение силами только экономистов. Методы, которые требуются сегодня для моделирования и прогнозирования, должны обладать устойчивостью к изменениям внешней среды, быть компактными и достаточно точно моделировать текущие и будущие состояния моделируемых объектов. Поэтому устойчивость и адекватность системы моделирования и прогнозирования определяется наличием множественного взаимодействия и дальнейшим синтезом многочисленных методов для моделирования и прогнозирования экономической динамики, в том числе и заимствованных из других областей науки.

#### *Литература и информационные источники*

1. Андронов А.А., Леонтович Е.А., Гордон И.И., Майер А.Г. *Качественная теория динамических систем второго порядка*. М.: Наука, 1966.

2. Андронов А.А., Леонтович Е.А., Гордон И.И., Майер А.Г. Теория бифуркаций динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1967.
3. Анчишкин А.И. Прогнозирование роста социалистической экономики. М.: Экономика, 1973.
4. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001.
5. Лурье А.Л. Экономический анализ моделей планирования социалистического хозяйства. М.: Наука, 1973.
6. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950.
7. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2000.
8. Михалевский Б.Н. Перспективные расчеты на основе простых динамических моделей. М.: Наука, 1964.
9. Немыцкий В.В., Степанов В.В. Качественная теория дифференциальных уравнений. М., Л.: Гостехиздат, 1949.
10. Пуанкаре А. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями. М., Л.: ОГИЗ, 1947.
11. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Тэрано Т., Аксаи К., Сугэно М. М.: Мир, 1993.
12. Ризниченко Г.Ю. Нелинейное естественнонаучное мышление и экологическое сознание // Синергетическая парадигма. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
13. Смирнов А.Д. Модель социально-экономической перестройки // Эконом. и мат. методы. 1992. Т. 28. Вып. 2.
14. Смирнов А.Д. Переходная экономика: модель прогноза // Проблемы прогнозирования. 1993. №2.
15. Смирнов А.Д. Инфляция или реформы: нелинейная модель переходной экономики // Проблемы прогнозирования. 1995. №6.
16. Шляпентох В.Э. Эконометрика и проблемы экономического роста. М.: Мысль, 1966.
17. Ченери Х., Кларк П. Экономика межотраслевых связей. М.: Издательство иностранной литературы, 1962.
18. Чернавский Д.С., Старков Н.И., Щербаков А.В. Динамическая модель закрытого общества (институциональные ловушки и кризисы) // Математическое моделирование. 2001. Т. 13. № 11.
19. *Journal of Economic Theory*. 1986. Vol. 40. № 1.
20. *Journal of Economic Theory*. 1994. Vol. 63. № 1.
21. William A. Barnett, Yijun He *Stability Analysis of Continuous-Time Macroeconometric Systems // Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics Quarterly Journal*. 1999. Vol. 3. № 4.
22. Philip Hans Franses, Kasper van Griensven *Forecasting Exchange Rates Using Neural Networks for Technical Trading Rules // Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics Quarterly Journal*, January. 1998. Vol. 2, № 4.
23. Antonio Garcia-Ferrer, Ricardo A. Queralt *Using Long-, Medium-, and Short-Term Trends to Forecast Turning Points in the Business Cycle: Some International Evidence // Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics Quarterly Journal*, July. 1998. Vol. 3. № 2.
24. Silverberg G., Verspagen B. *Evolutionary Theorizing on Economic Growth // Discussion Paper /MERIT, Maastricht*. 1995, August.