

---

*АКТУАЛЬНЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ТЕОРИИ* НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ  
ИННОВАЦИОННОГО РОСТА  
И УСЛОВИЯ САМОРАЗВИТИЯ  
ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

*О.А. Романова, А.В. Гребенкин,  
В.В. Акбердина*

В статье на основе статистических данных обоснованы нелинейные модели анализа взаимосвязи инновационных и экономических показателей развития открытых систем в предкризисных и кризисных условиях. Большое внимание уделено условиям самоорганизации и саморазвития открытых экономических систем.

*Ключевые слова:* синергетика, нелинейные модели, открытые экономические системы, самоорганизация, саморазвитие.

## ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономические системы принадлежат к классу так называемых открытых систем, которые интенсивно изучают в последнее время в различных направлениях естественных наук. В экономических системах построение математических моделей неравновесных процессов, опирающихся на изучение феномена «открытости», наталкивается на ряд трудностей не только технического, но и принципиального гносеологического характера. Поэтому разработка способов изучения эволюции открытых социально-

---

© Романова О.А., Гребенкин А.В.,  
Акбердина В.В., 2011 г.

<sup>1</sup> Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-06-00335).

экономических систем, в том числе и на мезоуровне, развитие методов прогнозирования инновационной динамики в рамках такого подхода являются актуальной научной проблемой (см. работы основоположников теории синергетики (Хакен, 1985; Пригожин, Николис, 2003; Николис, 1989; Гилмор, 1984)).

Открытая социально-экономическая система и ее компоненты в неустойчивом состоянии подвергаются изменениям – флуктуациям, которые экономика до определенного предела может нейтрализовать благодаря устойчивости своей структуры на протяжении эволюционного периода. Но если флуктуирующие параметры превышают некоторые критические значения, то дальнейшее изменение параметров приводит к скачкообразному переходу экономики в качественно иное состояние – на новую траекторию развития. Так наступает точка бифуркации – точка ветвления вариантов развития. Таким образом, при изменяющихся внешних условиях эволюция системы представляет собой последовательность различных аттракторов, переход между которыми происходит через неустойчивые состояния и бифуркации.

При синтезе и анализе социально-экономических систем синергетические модели представляют интерес для выявления узких мест, возникающих в ходе развития открытой системы. Средствами адекватных моделей могут быть проанализированы альтернативные экономические стратегии и дан прогноз развития системы при различных управляющих воздействиях.

Необходимо отметить, что синергетические модели позволяют лишь качественно (на концептуальном уровне) описать некие исследуемые явления. Тем не менее с их помощью можно выявить различные нелинейные особенности изучаемых процессов (что невозможно сделать в рамках имитационных моделей). Кроме того, ценность этих моделей состоит в том, что они позволяют исследовать влияние различных эндо- и экзогенных факторов на поведение нелинейных траекторий изучаемой системы.

В работах (Флуд, 2006; Павлов, 2006) выполнен анализ подходов к определению понятия «социально-экономическая устойчивость» и описаны интегральные индикаторы устойчивого развития. Современные индикаторы устойчивого развития социально-экономических систем не претендуют на универсальность: «их доработка и развитие – предмет продолжающейся работы широкого круга специалистов, занимающихся проблемами устойчивого развития и его измерения» (Флуд, 2006). Таким образом, на основе важнейших достижений современной динамики нелинейных систем и теории самоорганизации может быть предложен новый подход к анализу устойчивого развития социально-экономических систем открытого типа.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Синергетика, применяемая сегодня к целостному анализу различных систем, находящихся в сильно неравновесных состояниях, дает уникальные возможности строить адекватные нелинейные модели процессов самоорганизации в физических и биологических открытых системах. В известных трудах по синергетике и теории катастроф (Хакен, 1985; Мун, 1990; Арнольд, 1983; Гилмор, 1984) приведены возможные области применения методов этого зарождающегося направления в теории управления, экономике, социологии. Однако эти описания имеют схематичный характер и не являются исследованиями в полном смысле слова.

В наиболее интересных в методическом плане работах (Быстрой, 2003; Чернавский, 2001; Братченко, 2005) отмечается, что в настоящее время существуют предпосылки для формализованного описания неравновесных фазовых переходов в мезоэкономических системах, т.е. на уровне отрасли промышленности и региона в целом.

В данной работе показано, как применяется метод квазистатических неравновесных потенциальных функций, в качестве которых для региональных систем выступает максимизируемая валовая добавленная стоимость (валовой внутренний продукт). Данный метод позволяет описать их нелинейное взаимодействие с другими показателями.

Трудности практической реализации метода связаны с отсутствием формализованного языка описания неравновесных процессов в социально-экономических системах. Затруднения вызваны плохо формализуемой иррациональной деятельностью человека, наличием задач с последствием, дискретным характером представляемых статистических данных, широким спектром частотных характеристик внешних воздействий и т.д.

Работы зарубежных и российских авторов показали, что исследование устойчивости стационарных состояний эффективно осуществляется методами теории катастроф (Гилмор, 1984). Эта теория, обрабатывая исторические (статистические) данные о социально-экономическом положении региона, позволяет дать оценку текущего состояния с точки зрения локальной или глобальной устойчивости и представить ее в наглядном, графическом виде, определить точки равновесия и исследовать временную деформацию потенциальных функций, а значит, и формализовать на мезоуровне задачи управления устойчивым развитием объекта.

Целью настоящего исследования является разработка в рамках синергетического подхода принципов и количественных моделей развития региональной социально-экономической системы на основе математического описания нелинейной инвестиционно-инновационной динамики, а также формулировка задач, связанных с созданием условий для саморазвития системы и достижением устойчивого равновесия путем инновационного фазового перехода (скачка).

В статье с помощью физических, химических, физико-химических, биологических, кибернетических саморазвивающихся струк-

тур, образующихся в результате диссипации (рассеивания) энергии, сформулированы понятия и принципы саморазвивающихся диссипативных структур (Пригожин, Николис, 2003). Под диссипативными структурами понимают организованные в пространстве и времени (или как в пространстве, так и во времени) состояния, которые могут перейти в состояние термодинамического равновесия только путем скачка (в результате кинетического фазового перехода).

В настоящем исследовании саморазвитие региональной социально-экономической системы понимается как скачкообразное движение системы к устойчивой точке равновесия (или «норме хаотичности» (Быстрай, 2003)) в результате реализации принимаемых управленческих решений по выбранным критериям в инвестиционно-инновационной сфере.

Целью работы является создание в рамках синергетического подхода метода построения неравновесных потенциальных функций для социально-экономических систем на мезоуровне для определения их текущей и прогнозной устойчивости (локальной или глобальной). Эти функции необходимы для получения описания устойчивого долгосрочного развития региона.

Полная модель должна включать основные социально-экономические показатели региона, известные из статистических отчетов за различные периоды времени. Для внутреннего управления экономическими объектами планировалось выделить такие критерии управления, которые позволили бы идентифицировать целевые задачи перехода к наиболее оптимальным соотношениям переменных не только на верхнем, но и на нижнем уровне агрегации, т.е. на уровне отраслей.

Для проверки моделей были обработаны реальные статистические данные по Свердловской области за период 1994–2007 гг. Статистические данные, участвовавшие в процессе анализа, исследовались как в полном объеме, так и по частям. Декомпозиция производилась в соответствии с принципом поиска локальных максимумов и минимумов с помо-

щью отслеживания изменений тенденций поведения системы на небольших интервальных участках в фиксированный момент времени (момент изменения тенденции), который и является началом нового интервала. В результате получают интервалы данных различной продолжительности. Таким образом обеспечивается более точная аппроксимация модели по экспериментальным данным на каждом из участков разбиения.

При изучении проблемы большое внимание было уделено определению устойчивого текущего социально-экономического положения объектов исследования, описанию бистабильных и хаотических режимов. В работе предполагалось использовать *метод диаграммного анализа* (Быстрая, 2003) текущих состояний объекта исследования. Метод позволяет по диаграммам идентифицировать текущие состояния объектов экономики, определять их устойчивость, локальную или глобальную, области метастабильных состояний и особых (критических) точек, а также отслеживать их изменения.

*Анализируемые показатели:*  $V$  – валовой региональный продукт,  $I$  – инвестиции в основной капитал,  $R$  – внутренние затраты на исследования и разработки. Реально в математических моделях использовались относительные величины, имеющие экономический смысл:  $e$  – экономическая эффективность затрат на исследования и разработки ( $V/R$ );  $c$  – обеспеченность инновационных процессов необходимым приростом основных фондов ( $I/R$ ).

## НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО РОСТА

На первом этапе нелинейного моделирования выбиралась аппроксимирующая функция для ограниченного числа взаимосвязанных показателей. Обработка всех экспериментальных данных производилась мето-

дом наименьших квадратов. Опытным путем было доказано, что среди всех рассмотренных функций наилучшими аппроксимирующими свойствами обладает полиномиальная функция вида  $y = b_0 + b_1 x + \dots + b_i x^i + \dots + b_n x^n$ . В дальнейшем сравнение прогностических качеств моделей производилось только по числу степени полинома. Так, например, в большинстве случаев экспериментальные данные обрабатывались полиномом четвертой степени:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + b_4 x^4.$$

Параметры  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  определялись для функции  $y = f(x)$  из статистических данных. Такой полином, связанный с катастрофой сборки, дает три точки равновесия, две из которых могут быть устойчивыми; для катастрофы двойственной сборки имеется только одна устойчивая точка равновесия, которая может стать неустойчивой (Быстрая, 2003).

Эмпирически были получены модели вида  $v = f(r), e = f(c)$ . Эти модели описывают взаимосвязь среднедушевого ВРП и среднедушевых затрат на НИОКР, а также экономической эффективности НИОКР (ВРП на один рубль затрат на исследования и разработки предыдущего года) и показателя обеспеченности НИОКР необходимым притоком инвестиций за предыдущий период ( $c$ ).

Во многих работах рассматривается обособленное влияние инвестиций и затрат на исследования и разработки на ВРП. Однако необходимо иметь в виду, что эти процессы воздействуют одновременно. Рост валовой добавленной стоимости, а соответственно и доходов населения приводит к росту валовых сбережений, что в свою очередь увеличивает валовые инвестиции. Вместе с тем исследования и разработки, воплощенные в конечной продукции, увеличивают валовую добавленную стоимость и предъявляют большой спрос на инвестиционные ресурсы для обновления основного капитала предприятий. При этом возможности использовать старые и новые знания зависят от имеющегося запаса основного (физического) капитала и темпа его накопления. В то же время накопление физическо-

го капитала представляет собой не что иное, как воплощаемое в экономике новое знание (Коссов, Липсиц, 2003).

Таким образом, экономическое развитие определяется как капиталовооруженностью и ее динамикой, порождаемой прежде всего инвестициями, так и затратами на НИОКР. При моделировании инвестиционно-инновационной динамики важно учитывать определенный лаг (запаздывание во времени) роста валовой добавленной стоимости в ответ на прирост инвестиций и затрат на исследования и разработки.

Следует заметить, что с точки зрения общей теории система, в которой может успешно происходить возникновение и распространение новшеств, должна обладать определенными структурными свойствами. Основное свойство с позиции объяснения эволюции системы связано с понятием структурной устойчивости. Под этим обычно подразумевается реакция рассматриваемой системы на введение в нее новых элементов (технологий, продуктов, организационно-управленческих решений и т.п.), способных увеличивать поле своей активности и вовлекать во взаимодействие с собой другие элементы и процессы, происходящие в системе.

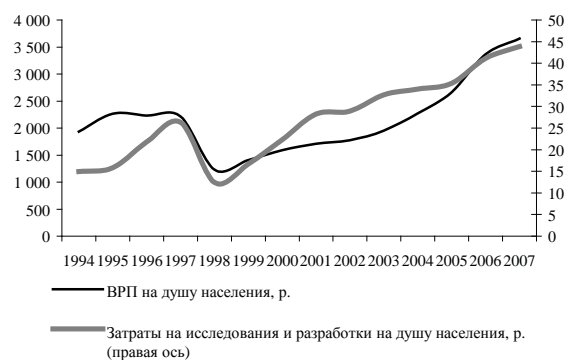
По-видимому, в достаточно общей ситуации успешное внедрение новшеств во многом связано с «расшатыванием» устойчивости структуры системы путем создания для нее сильно неравновесных условий. Структура системы, в которой новшества успешно применяются и могут перестроить всю систему на новый режим работы, должна обладать некоторой неустойчивостью.

На рис. 1 представлены фактические данные о среднедушевом ВРП и среднедушевых расходах на исследования и разработки за период 1994–2007 гг., а на рис. 2 – потенциальная модель, описывающая зависимость среднедушевого ВРП от среднедушевых затрат на исследования и разработки. Экспериментальные данные были обработаны полиномом четвертой степени, что позволило выделить *два максимума* – локальный и глобальный.

На рис. 2 можно отчетливо выделить три периода с различной динамикой: предкризисный – 1995–1997 гг. (точки 1–3), восстановительного роста – 1998–2002 гг. (точки 4–7) и стабилизации роста – 2003–2007 гг. (точки 8–13).

В предкризисный период наблюдается двукратное опережение темпов снижения ВРП в сравнении с темпами снижения затрат на исследования и разработки, что связано с оптимистичными инновационными ожиданиями предприятий (рис. 3). Однако на рис. 2 ясно видно, что в этот период достаточно большой амплитуде значений затрат на исследования и разработки соответствовал примерно одинаковый уровень ВРП. Это свидетельствует о том, что, несмотря на позитивные инновационные ожидания, экономика не реагировала на инновационные импульсы.

Кризис 1998 г. зафиксировал минимальное значение анализируемых показателей. После этого начался восстановительный рост. И к концу 2002 г. экономика Свердловской области вышла на предкризисный уровень ВРП, а по объемам затрат на исследования и разработки превысила уровень 1997 г. При этом темпы роста затрат на исследования и разработки существенно превышали темпы роста



Источники: по данным Центральной базы статистических данных Росстата (см. данные с сайта [www.gks.ru](http://www.gks.ru)).

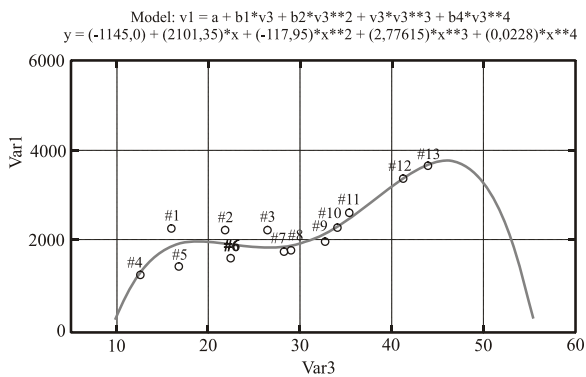
Рис. 1. Среднедушевые значения ВРП и затрат на исследования и разработки в Свердловской области за период 1994–2007 гг. (в ценах 1994 г.)

ВРП, что подтверждает позитивные инновационные ожидания предприятий (см. рис. 3).

В следующий период экономика стремится к новой точке равновесия, которая могла бы быть устойчивой в течение некоторого периода времени. Однако реально существует убывающая предельная отдача от затрат на исследования и разработки. Помимо увеличения объема затрат необходимо прежде всего изменить направления вложения средств на НИОКР. Для преодоления убывающей отдачи затрат на исследования и разработки экономике нужно перейти в новую точку равновесия за счет структурных изменений.

Новой устойчивой точкой равновесия может выступать значение среднедушевых затрат на НИОКР в развитых странах. Однако, учитывая сверхбольшое отставание по данному показателю Свердловской области от европейских стран, США и Японии, такой переход должен осуществляться в несколько этапов<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Для справки: среднедушевые затраты на исследования и разработки в Свердловской области меньше, чем в США, в 31 раз, чем в Японии – в 26, чем в Германии – в 20 и чем в Италии – в 8 раз.



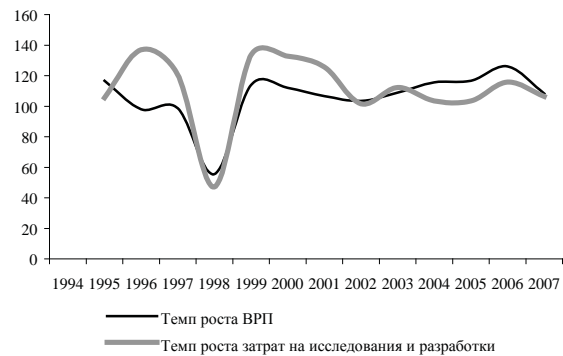
Источник: по данным Центральной базы статистических данных Росстата.

Рис. 2. Потенциальная функция для описания зависимости среднего ВРП от среднедушевых затрат на исследования и разработки за период 1994–2007 гг.: аппроксимирующая функция – полином четвертой степени (в рамках катастрофы сборки)

Выше мы рассмотрели влияние инвестиций и затрат на исследования и разработки на ВРП. Но все процессы происходят одновременно. Рост валовой добавленной стоимости, а соответственно и доходов населения приводит к росту валовых сбережений, что в свою очередь увеличивает валовые инвестиции. Исследования и разработки, воплощенные в конечной продукции, увеличивают валовую добавленную стоимость и порождают спрос на инвестиционные ресурсы для обновления основного капитала предприятий. При этом способности использовать старое и новое знание зависят от запаса основного (физического) капитала и темпа его накопления. В то же время накопление физического капитала представляет собой не что иное, как воплощаемое в экономике новое знание.

На рис. 4 представлена динамика ВРП текущего года на 1 р. затрат на НИОКР предыдущего года и динамика инвестиций на 1 р. затрат на НИОКР с лагом в один год.

На графике отчетливо видно, что в кризисный 1998 г. экономическая эффективность затрат на исследования и разработки, хотя и существенно уменьшилась, но не достигла



Источник: по данным Центральной базы статистических данных Росстата.

Рис. 3. Темпы роста ВРП и затрат на исследования и разработки в Свердловской области за период 1995–2007 гг. (в сопоставимых ценах)

минимального значения. Минимальные значения ВРП на 1 р. затрат на НИОКР и обеспеченность НИОКР инвестиционными ресурсами приходятся на начало стабилизации экономического роста – 2002 г. Это явление можно объяснить тем, что в момент завершения периода восстановительного роста небольшой прирост затрат на НИОКР резко увеличивает полезность инновационной продукции. При этом существующий спрос начинает удовлетворяться за счет выпуска меньшего числа продуктов и в достаточно короткое время.

Тем не менее спад 1998 г. был достаточно резким. К этому привела аморфность научно-промышленной политики в течение всего периода радикальных экономических преобразований, проявившаяся в слабой структуризации целей и недостаточности мер прямой и косвенной поддержки инновационной деятельности. Не произошло своевременного и адекватного возмещения финансово-ресурсной базы для инновационной деятельности за счет собственных (внутренних) источников предприятий или заемных средств. Да это и не было возможно в силу того, что высокая активность в высокзатратной инновационной сфере может быть обеспечена только при условии доминирующей роли государства и его финансовой поддержке.

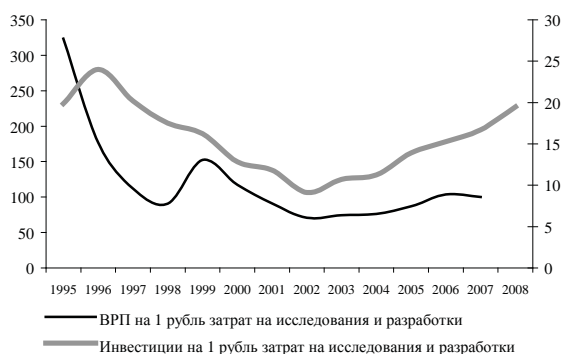


Рис. 4. Динамика ВРП текущего года на 1 р. затрат на НИОКР предыдущего года и динамика инвестиций на 1 р. затрат на НИОКР с лагом в один год

Опыт индустриально развитых стран с долгой историей рыночного развития показывает, что для активизации инновационной деятельности одних только рыночных механизмов недостаточно, – необходима целенаправленная регулирующая функция государства в сфере НИОКР, его ответственность за общую стратегию технологического развития, его поддержка наукоемких технологий и фундаментальных исследований.

После 2002 г. начинается период стабилизации роста, когда ежегодное приращение обеспеченности НИОКР инвестиционными ресурсами в свою очередь вызывает рост экономической эффективности затрат на исследования и разработки.

В предкризисный 2007 г. инвестиции на 1 р. затрат на НИОКР продолжают расти, но экономическая эффективность этих затрат уже начинает снижаться. Это связано в большей степени с тем, что инновационные ожидания носили экстраполятивный характер. Дело в том, что ожидания могут быть регрессивными только тогда, когда у большинства хозяйствующих субъектов вырабатывается мнение о некоем «нормальном» или «естественном» значении переменной (по поводу будущих величин которой формируются некоторые предположения). В отношении ожидаемой эффективности затрат на НИОКР и технических нововведений в целом вряд ли можно сформировать мнение о «нормальной» величине, а тем более – в масштабе всей экономики, характеризующейся необратимыми трансформационными изменениями. А если субъекты считают, что изменения имеют характер долговременной (или хотя бы «средне-временной») тенденции, тогда ожидания неизбежно становятся экстраполятивными.

Указанные выше соображения позволяют дать экономическую интерпретацию модели  $e = f(c)$ . Модель описывает взаимосвязь экономической эффективности инноваций (ВРП на 1 р. затрат на исследования и разработки предыдущего года) с показателем обеспеченности НИОКР необходимым притоком инвестиций за предыдущий период (рис. 5).

На рис. 5 видны существенные флуктуации региональной социально-экономической системы. Учитывая достаточно большое число колебаний фактических данных, в качестве аппроксимирующей функции был использован полином шестой степени. Динамика фактических показателей может при этом рассматриваться как хаотическая (Быстрая, 2003).

На рис. 5 можно выделить три минимума и два максимума функции  $e = f(c)$ . Крайний левый минимум описывает ситуацию в 2002 г., рассмотренную выше. Два других минимума позволяют сделать вполне убедительный вывод о наличии бифуркации в инвестиционно-инновационной сфере в преддверии системных кризисов. Два устойчивых минимума экономической эффективности НИОКР, примерно равных по величине, возникают при разных значениях параметра  $c$ .

Правый минимум соответствует низкому значению затрат на НИОКР в предкризисные 1996–1997 гг. В те годы действительно имело место недофинансирование сферы НИОКР со стороны государства, а у частных предприятий не было средств на проведение исследований и разработок. Это привело к

тому, что параметр  $c$  был один из самых высоких за весь анализируемый период. Средний минимум соответствует ситуации 2006–2007 гг. В этот период и затраты на НИОКР, и инвестиции прирастали достаточно высокими темпами, что привело к относительному снижению параметра  $c$ .

Таким образом, экономическая система может достичь минимума при различных значениях обеспеченности НИОКР инвестиционными ресурсами.

На рис. 5 наблюдается один устойчивый глобальный максимум, второй максимум является локальным и неустойчивым. Рыночное регулирование воздействует на инновационный процесс таким образом, что социально-экономическая система, в которой прилагается мало усилий для ее развития, практически неизбежно оказывается в так называемом состоянии «равновесия на низком уровне». Такое равновесие характеризуется тем, что большая часть ресурсов системы в той или иной форме расходуется на внутреннее потребление, оплату долгов и процентов по ним. При этом удовлетворяется часть спроса (растет валовая добавленная стоимость), что и позволяет достигнуть некоторого состояния равновесия, оно оказывается вполне устойчивым в статическом смысле с формальной точки зрения, поскольку такое состояние почти не содержит рисков.

В то же самое время подобная система не может сохранить свое положение (рейтинговую позицию) среди других аналогичных систем в динамическом плане, поскольку среди подобных систем всегда найдутся такие, в которых много внимания уделяется их развитию, благодаря чему многие системы улучшают свои характеристики и выходят на более высокие уровни экономического равновесия. В этом соревновательном процессе существенную роль играет повышение эффективности производства с помощью наукоемких и ресурсосберегающих технологий, стартом которых являются затраты на исследования и разработки.

Следует считать непреложным фактом, что любая попытка выхода из состояния

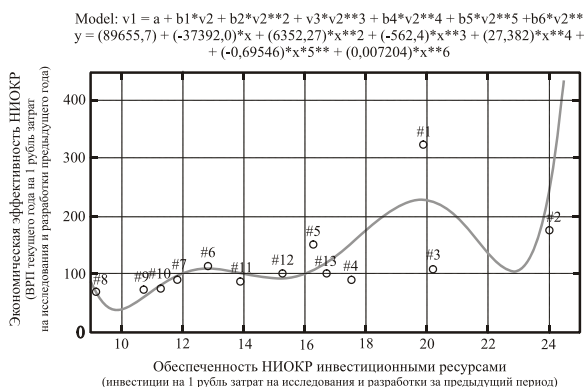


Рис. 5. Потенциальная функция зависимости экономической эффективности НИОКР от обеспеченности НИОКР инвестиционными ресурсами в Свердловской области за период 1994–2007 гг.: аппроксимирующая функция – полином шестой степени



равновесия «на низком уровне» связана с необходимостью усиления динамической составляющей в хозяйственной деятельности системы, что в свою очередь приводит к необходимости работать в условиях неопределенности. В самом деле, стремление развиваться означает, что существенная доля производимой добавленной стоимости должна быть направлена на расходы, возможные результаты которых имеют долговременный характер, а их эффективность может быть оценена только в будущем.

Согласно экспериментальным данным максимальное значение экономической эффективности НИОКР наблюдается при больших значениях параметра  $c$ , что соответствует ситуации, когда инвестиции прирастают большими темпами, чем прирастают затраты на исследования и разработки. Однако может наблюдаться и иная ситуация: высоким значениям экономической эффективности НИОКР соответствуют малые объемы затрат на исследования и разработки. При этом важно отслеживать «качество» этих затрат и направления применения результатов НИОКР (нано- и биотехнологии, информационные технологии, эффективная энергетика, высокотехнологичное здравоохранение и др.). В этом случае относительно небольшие затраты на исследования в этих отраслях экономики дадут колоссальный экономический эффект.

Говоря о «качестве» затрат на исследования и разработки, необходимо остановиться на «инновационных ловушках развития». Для понимания сути этого явления воспользуемся терминологией Д. Норта: «приращение изменений в технологической сфере, однажды принявшее определенное направление, может привести к победе одного технологического решения над другими даже тогда, когда первое технологическое направление, в конце концов, оказывается менее эффективным по сравнению с отвергнутой альтернативой».

В этой связи, рассматривая два устойчивых максимума функции  $e = f(c)$ , мы можем отнести их к «инновационным ловушкам» (Полтерович, 1998). Формирование иннова-

ционной ловушки происходит за более короткий срок, чем выход из нее. Это объясняется тем, что для восприятия выгоды от долгосрочных инвестиций экономическим агентам требуется больше времени, чем для укоренения обратной модели поведения, причем значительный лаг времени существует между принятием решений и получением выгод новаторами и консерваторами, принимающими решение о долгосрочных инвестициях только после того, как новаторы будут получать не разовую, а постоянную прибыль.

Выход из инновационной ловушки очень длительный и достаточно тяжелый (точка бифуркации – новый экономический кризис). Эволюционный путь возможен, но только с помощью государства. Пока оно само не изменит свою политику с краткосрочной модели на долгосрочную и не начнет вкладывать свой капитал (в большей степени в человеческий капитал, поскольку вложения в производственный могут быть осуществлены и частным сектором), показывая серьезность намерений, экономические агенты будут чувствовать себя неуверенно и не станут предпринимать долгосрочных инвестиций и нести затраты на исследования и разработки (т.е. не станут менять свою модель поведения с краткосрочной на долгосрочную). Только тогда, когда экономические агенты-резиденты начнут получать выгоды от следования долгосрочной модели, можно ожидать перехода системы в точку устойчивого максимума (Клейнер, Качалов, Сушко, 2005).

Функция  $e = f(c)$  является максимизируемой по определению. Соответственно движение к точке глобального максимума представляет собой процесс самоорганизации региональной социально-экономической системы, тогда как все остальные точки являются неустойчивыми.

Как отмечалось ранее, задача данного исследования состояла в попытке обосновать необходимые и достаточные условия саморазвития региональной социально-экономической системы, лежащие в инвестиционно-инновационной сфере. В этой связи проверились

условия инновационного саморазвития, взятые из естественных наук.

## УСЛОВИЯ ИННОВАЦИОННОГО САМОРАЗВИТИЯ ОТКРЫТЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В 1990-е гг. в мировой практике доминировала парадигма регионального развития, ориентированная на саморазвитие территорий. В этот период мощный стимул развития получила концепция эндогенных источников и механизмов территориального саморазвития (в виде технологических парков и технополисов, «предпринимательских зон», различных форм стимулирования мелкого и среднего предпринимательства, особенно инновационного). Вместе с тем на ключевую роль инновационности среди всех составляющих элементов саморазвития обращает внимание М. Портер, который утверждает, что только инновационность позволяет предприятиям и территориям выиграть в конкурентном, эволюционном отборе (Портер, 2005). Исходя из вышеизложенного инновационность экономической системы представляется качественной характеристикой ее способности самообновляться и саморазвиваться по критериям технологичности, наукоемкости, динамичности.

*Инновационное саморазвитие открытой экономической системы* – стратегически устойчивая способность экономической системы в условиях развития НТП и инновационных циклов обеспечивать синергетический рост капитализации инновационного потенциала за счет самофинансирования затрат на НИОКР и когерентного поведения участников инновационной деятельности в целях обеспечения конкурентоспособности в мировой экономике и роста социально-экономического благополучия.

Важно отметить, что процесс создания конкурентных преимуществ за счет инновационности – это осознанно управляемый

процесс. Основной целью управления инновационным саморазвитием является капитализация инновационного потенциала экономической системы.

Под капитализацией инновационного потенциала экономической системы будем понимать стоимость всех будущих величин денежных потоков от использования инновационного потенциала за равные периоды времени. Расчет производится путем деления величины денежного потока от использования инновационного потенциала за первый после даты оценки период на соответствующую ставку капитализации.

Инновационно-технологический потенциал экономических систем в экономической литературе рассматривается с точки зрения как ресурсной компоненты, характеризующей возможности отдельных ресурсов для осуществления инновационной деятельности, так и результативной компоненты, отражающей результат реализации ресурсных возможностей, т.е. характеризующей достигнутый уровень инновационно-технологического потенциала (Гребенкин, Акбердина, 2009).

С точки зрения ресурсов в качестве количественной оценки капитализации инновационного потенциала экономической системы можно принять рост стоимости материальных и нематериальных активов инновационного сектора экономики. В данном случае инновационный или высокотехнологичный сектор определяется согласно трактовке Министерства экономического развития и торговли РФ. С результативной точки зрения количественной оценкой капитализации может выступать рост стоимости инновационной ренты, понимаемой как стоимостный вклад инновационного сектора промышленности в ВРП.

Выделим условия, обеспечивающие инновационное саморазвитие экономических систем. Нацеливание управления на создание и реализацию условий развития является ключевой задачей всей системы управления (Клейнер, 2007). Необходимо напомнить, что инновационное саморазвитие экономической системы с позиции синергетики понимается

как скачкообразное движение системы к устойчивой точке равновесия в результате реализации принимаемых управленческих решений по выбранным критериям в инвестиционно-инновационной сфере. С математической точки зрения условиями саморазвития являются большие отклонения от равновесия в текущем периоде, нелинейность описывающих систему уравнений и усиление отклонений от неустойчивых состояний. Справедливость этих условий была доказана в рамках моделирования нелинейной инвестиционно-инновационной динамики.

Сформулируем необходимые и достаточные условия для инновационного саморазвития экономической системы, заимствованные из естественных наук и имеющие экономическую интерпретацию.

1. Когерентное (согласованное) поведение подсистем, а именно инновационное партнерство всех участников инвестиционно-инновационной деятельности (всех участников можно объединить в три группы: а) создание и распространение знаний; б) создание инновационного климата; в) создание, коммерциализация и использование знаний).

2. Замкнутость внутренних процессов при внешней открытости системы, понимаемая как замкнутый инновационный цикл «идеи – инновации – технологии – финансы – производство» внутри экономической системы.

3. Усложнение системы по мере эволюционного развития, трактуемое как рост числа малых инновационных предприятий и элементов инновационной инфраструктуры.

4. Изменение внутренней структуры системы и повышение ее качества, понимаемое как позитивные изменения технологической структуры и инновационного контура экономической системы.

5. Использование внутренних источников для развития системы, рассматриваемое как полное использование инновационного потенциала экономической системы путем его капитализации.

6. Усложнение связей между элементами системы, трактуемое как развитие внутрен-

него рынка инноваций, способствующего росту стоимости материальных и нематериальных активов инновационного сектора экономики.

7. Внутренняя непротиворечивость системы, понимаемая как наличие единой методологической базы законодательства.

8. Постоянный приток отрицательной энтропии, а именно – многоуровневый и разносторонний информационный обмен экономической системы с внешней средой, приводящий к упорядочиванию инновационной деятельности и формированию инновационной стратегии и промышленной политики.

Указанные выше необходимые и достаточные условия для инновационного саморазвития экономических систем следует учесть при разработке концептуальной модели управления саморазвитием любой экономической системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечалось ранее, исследование синергетических моделей управления социально-экономическими системами становится в последнее время особенно востребованным. В рамках синергетических представлений развитие экономической системы представляет собой качественное изменение ее структуры и функционирования за счет кооперативного взаимодействия ее компонентов. Как и любая другая сложная открытая система, экономическая система проходит череду стадий порядка и хаоса.

Главная мысль в эпоху диссипативных структур заключается в том, что любая система, несмотря на сложность элементов ее внутренней структуры, становится упорядоченной и ведет себя на внешнем уровне просто.

Синергетический подход позволяет проводить качественный сравнительный анализ в реальном времени агрегированной информации об инвестиционно-инновационной динамике региональной социально-экономической

системы в геометрическом и топологическом видах, характерных для теории катастроф. Это существенно облегчает работу пользователей (экспертов, аналитиков, органов исполнительной власти, бизнесменов, разработчиков инновационной продукции), если они имеют соответствующую подготовку.

Используя предлагаемые в исследовании модели, можно давать прогнозы последствий принятых управленческих решений или готовить различные сценарии развития событий на определенных этапах развития, включая прохождение особых точек.

Применение в анализе инвестиционно-инновационной динамики синергетического подхода позволяет строить математические модели неравновесных и сильно неравновесных региональных социально-экономических систем с учетом иерархических, многоуровневых связей и взаимоотношений, которые диктует структура хозяйственных и экономических связей. Для этого необходимо, чтобы функционирование объектов могло быть формализовано в расширенном динамическом диапазоне данных, включая как полную, так и частичную информацию по направлениям их деятельности.

Реализация предлагаемого метода может осуществляться в трех направлениях:

- 1) разработка теории стационарных фазовых переходов (математическое обеспечение, алгоритмизация и программное обеспечение);
- 2) создание полных математических моделей для параметров порядка, описывающих нелинейную динамику неравновесных фазовых переходов, в том числе вблизи особых точек;
- 3) описание детерминированного хаоса в динамике показателей.

Используемая в данной работе математическая модель является нелинейной. Поскольку инвестиционно-инновационная динамика происходит вдали от возможных равновесных состояний, то для исследования и анализа явлений необходимо опираться на методы и теорию нелинейной динамики, которая изучает динамическую неустойчивость движения.

Скачки из области одного минимума потенциальных функций в другой свидетельствуют о наличии «переходного хаоса» (Быстрой, 2003). Можно говорить также о гомофазных и гетерофазных флуктуациях переменных. Вместе с тем необходимо отметить, что приведенные в статье модели не дают прогноз на будущее, а только описывают предыдущие соотношения между рассматриваемыми показателями.

В развитие данного исследования должны быть разработаны основные положения стационарной и динамической теории неравновесных фазовых переходов на микро- и мезоуровнях в рамках теории катастроф и теории бифуркаций. Здесь возникнут проблемы идентификации переменных и параметров задачи. Тем не менее уже на первых этапах решения этой научной задачи могут быть составлены алгоритмы определения устойчивости состояний (локальной или глобальной), несмотря на хаотическую динамику переменных.

Данный подход позволит разработать унифицированные методы диаграммного представления текущих состояний экономических объектов, что позволит идентифицировать текущие состояния, определять их устойчивость (локальную или глобальную), находить области метастабильных состояний и особые (критические) точки и отслеживать их изменение (в том числе при резких изменениях внешних управляющих параметров) и релаксацию.

## Литература

- Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1983.
- Братченко Н.Ю. Разработка схемы исследования нелинейных динамических систем // Вестник ТИСБИ. 2005. Вып. 2.
- Быстрая Г.П. Методы синергетики в анализе структурных сдвигов в промышленности: Разработка унифицированных моделей и алгоритмов анализа устойчивости текущих состояний в условиях внешнего и внутреннего управле-

- ния // Вестник кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. Вып. 2.
- Быстрой Г.П.* Нелинейная экономика // Деловой мир. 1993. № 61.
- Гилмор Р.* Прикладная теория катастроф. Т. 1, 2. М.: Мир, 1984.
- Гребенкин А.В., Акбердина В.В.* Инновационно-технологический потенциал региона и методика его сравнительной оценки // Инновационное управление технологическим развитием промышленности региона. Екатеринбург: ИЭ УрО РАН, 2009.
- Клейнер Г.Б.* Системная парадигма и экономическая политика // Общественные науки и современность. 2007. № 2.
- Клейнер Г.Б., Качалов Р.М., Сушко Е.Д.* Экономическое состояние и институциональное окружение российских промышленных предприятий: эмпирический анализ взаимосвязей // Вопросы экономики. 2005. № 9.
- Коссов В.В., Липиц И.В.* Экономический анализ реальных инвестиций. М.: Экономист, 2003.
- Мун Ф.* Хаотические колебания. М.: Мир, 1990.
- Николис Дж.* Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М.: Мир, 1989.
- Норт Д.* Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997.
- Павлов К.В.* Социально-экономическая и экологическая устойчивость. Реформы // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2006. № 9.
- Полтерович В.М.* Институциональные ловушки и экономические реформы. М.: Российская экономическая школа, 1998.
- Портер М.* Конкуренция. М.: Вильямс, 2005.
- Пригожин И., Николис Г.* Познание сложного. М.: Едиториал УРСС, 2003.
- Флуд Н.А.* Как измерить «устойчивость развития»? // Вопросы статистики. 2006. № 10.
- Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1985.
- Чернавский Д.С.* Синергетика и информация. Динамическая теория информации. М.: Наука, 2001.

*Рукопись поступила в редакцию 01.03.2010 г.*

## ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ПРИНЦИП КЮРИ<sup>1</sup>

*С.Г. Кирдина*

Обсуждается проблема «коридора» возможных институциональных изменений в общественных системах. Применение синергетического подхода в анализе социально-экономических систем позволяет предполагать, что в точках бифуркации развитие институциональных структур может происходить непредсказуемым образом. Принцип диссимметрии Кюри (Curie Dissymmetry Principle) накладывает ограничения на характер возможных структурных изменений. С этой точки зрения рассматриваются перспективы изменения траекторий обществ с доминированием X- или Y-институциональных матриц. Основной акцент сделан на развитии экономики как разновидности сложной материальной системы.

*Ключевые слова:* институциональный подход, эволюционный подход.

### 1. ЭКОНОМИКА КАК СЛОЖНАЯ СИСТЕМА

Вопрос о том, в какой мере применимы подходы естественных наук к анализу социокультурных систем, дискутируется постоянно. Представители гуманитарных и социально-экономических дисциплин отстаивают суверенитет своих наук как рефлексивных. Они полагают общества как специфические формы пространства и времени, «творимые субстанционально свободной человеческой волей» (Момджян, 2001, с. 610). Характер

© Кирдина С.Г., 2011 г.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-06-00052а).