

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 330.111+330.5.051+338.2. Проф. Б.Е. Одинцов, д-р екон. наук – ВЗФЭИ,
г. Москва; доц. В.Д. Шквир, канд. екон. наук –
НУ "Львовская политехника"

ОБРАТНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Показаны возможности аппарата обратных вычислений в управлении устойчивостью экономических систем. Аппарат обратных вычислений продемонстрирован на примере воздействия в некоторой бифуркационной точке системы.

Ключевые слова: обратные вычисления, устойчивое развитие социально-экономических систем, точка бифуркации системы, аттракторы, диссипативные процессы.

Классическая наука прогнозирования, базирующаяся на причинно-следственной парадигме, в большинстве случаев не оправдала возлагавшихся на нее надежд, так как множество потрясших человечество кризисов, разразившихся в XX и начале XXI веков, не были предвидены. Различные по размаху и глубине (глобальные и локальные, финансовые и техногенные, политические и социальные, этнические и межгосударственные), они породили неверие в научное предсказывание в долгосрочной перспективе.

Пессимизм постепенно стал трансформироваться в надежду и уверенность по мере переноса иного взгляда на эволюцию социально-экономических систем ранее известного под названием Физика неравновесных процессов, становление которой привело к появлению понятий самоорганизация и саморазвитие систем. Позднее, благодаря Г. Хакену, данное научное направление получило название синергетики [2], главная задача которого состоит в поиске устойчивых, то есть адекватных системе способов организации в ней процессов. Такой подход, новый для экономики и социологии, давно и успешно используется в математике, физике, химии, космологии, экологии, биологии и т.д. Однако в экономике он носит пока сугубо теоретический характер, оставаясь на уровне качественных рекомендаций. Настоящее сообщение носит практический характер, в котором синергетические идеи реализуются с помощью обратных вычислений.

Новый взгляд на развитие социально-экономических систем требует их рассмотрения сквозь призму того неоспоримого факта, что все законы природы сводятся к соответствующим законам сохранения. Отсюда можно сделать важный вывод: любое поведение системы направлено на самосохранение, т.е. на то устойчивое состояние, которое позволит ей дальнейшее существование и развитие. Поиск устойчивого состояния возможен при условии отражения поведения системы с помощью нелинейных динамических моделей, обычно содержащих различного рода нелинейные дифференциальные уравнения.

Изучение и анализ основных идей данного научного направления – теории бифуркаций, теории катастроф, теории сложности, фракталов и хаоса показывают, что основные усилия ученых направлены на предвидение процессов развития или поведения систем. Однако предвидеть будущее неустойчивое состояние системы и, впоследствии, неконтролируемое изменение траектории ее развития, недостаточно. Требуется своевременное вмешательство с целью предотвращения кризисных явлений. Следует особо подчеркнуть – речь не идет о поддержании мифа, будто внешним воздействием на сложную систему траекторию ее поведения можно изменять в соответствии с пожеланиями субъекта без всякого учета ее природы (структуры). Времена такого рода иллюзий прошли. Практика показала, что влияя на систему жесткими мерами, можно достичь лишь кратковременный эффект, так как система рано или поздно придет к одному из своих устойчивых состояний, которое адекватно ее природе. Поэтому нужно знать природу системы, ее структуру, что позволит с минимальными усилиями направить процесс ее развития именно к ней. Вмешательство должно быть не "административным", а "мягким", то есть учитывающим структуру, которая обеспечивает устойчивое состояние системы. Этой проблеме, на наш взгляд, уделяется пока недостаточно внимания, что требует поиска путей восполнения данного пробела.

Распространение идей и принципов моделирования процессов эволюции и самоорганизации биологических, химических и других систем методами нелинейной динамики на социально-экономические явления потребовало для анализа последних переноса ряда понятий, ранее в экономике не использовавшихся. К таким понятиям, кроме прочих, относятся точки бифуркации, аттракторы и диссипативные процессы.

Под бифуркацией некоторой системы понимается преобразование ее фазового портрета в результате изменения значений параметров. Преодоление параметром его некоторого порога, в результате чего система будет находиться в неустойчивом состоянии, определяет точку бифуркации. Одни и те же действия могут привести к противоположным результатам даже при малых сдвигах в критической, то есть бифуркационной области значений параметров системы. В самой же точке бифуркации система качественно меняет свое поведение, направляясь к одному из очередных аттракторов.

В основе понятия аттрактора лежит фундаментальное стремление всех систем к самосохранению. Все сущее существует постольку, поскольку оно способно противостоять внешним воздействиям в постепенном продвижении к устойчивому состоянию. Поэтому под аттрактором, как правило, понимается то стабильное состояние, к которому в данный момент стремится система. Применительно к социально-экономическим системам это, условно, то есть в первом приближении, можно использовать цель, формулируемую субъективно.

Преодоление бифуркационной точки может осуществляться естественным, то есть не контролируемым путем (методом проб и ошибок), или же целенаправленно, на основе во время сгенерированных управляющих воздействий, предназначенных для корректировки траектории поведения системы. Не контролируемый процесс чреват выходом системы на ошибочную траекторию, то есть на одну из многочисленных неустойчивых траекторий

развития, которая со временем будет разрушена диссипативными процессами. Диссипативные процессы, введенные И. Пригожиным, это хаотические процессы, приводящие к рассеянию энергии, вещества и информации [1]. Они служат инструментом "естественного отбора" правильной траектории развития, которая соответствует одному из аттракторов.

Отсюда возникает вполне оправданное желание ускорить выход системы на желаемый аттрактор, сохраняя время и затраты на развитие неустойчивых структур и последующее их разрушение диссипативными процессами. Для этого в точке бифуркации или ее окрестностях необходимо осуществить вполне определенные изменения в значениях факторов, от которых зависит последующее развитие системы, избежав тем самым фазу проб и ошибок.

Направить процесс в нужное русло, как нам представляется, можно с помощью обратных вычислений, вырабатывающих управляющие мероприятия в детерминированной и стохастических средах. Теория такого рода вычислений, изложенная в [4], применима также и для формирования решений в неопределенной среде. Применение данного аппарата предполагает знание точки бифуркации (ветвления) и хотя бы одного аттрактора, аналогом которого, в упрощенном варианте, может служить цель управления, принявшая одну из субъективных форм объективно существующего содержания. Формальное задание аттрактора должно рассматриваться в качестве отдельной проблемы, так как если в естественных науках данное понятие достаточно развито, то в экономике оно имеет свою, порой трудно учитываемую специфику, связанную с большим уровнем субъективизма и неопределенности. В первом приближении в качестве аттракторов можно считать цели развития общества в целом или отдельных его регионов или отраслей (производства, образования, здравоохранения и т.д.). Целями могут служить также стремление изменить поведение глобальных процессов (финансовых, политических, экологических и т.д.). Перечисленные цели можно задавать асимптотически приближениями к некоторому идеализированному состоянию, либо задавать нормативные уровни некоторого качества (образования, загрязнения и т.д.). Для этого, согласно В.Б. Зангу, все переменные можно подразделить на подмножества быстрых и медленных переменных [3]. Медленные переменные играют роль существенных параметров (параметров порядка по Хакену [2]). Именно за счет последних возможно влияние на поведение экономических и социальных систем и достижение некоторой предсказуемости в их поведении при заданном наборе факторов, отражаемых переменными.

В задачу теории бифуркаций, строящейся на основе качественного анализа особых точек динамической системы, входит выявление условий устойчивости системы, зависящих от параметров системы. Некоторые значения последних, называемых бифуркационными, влекут за собой качественные изменения в поведении системы. В окрестностях бифуркационной точки, система после некоторого пребывания в состоянии неустойчивости, продолжает свое движение в направлении аттрактора, выбранного случайно. Для того чтобы этот выбор был более направленным, зададим поведение системы, зависящей, к примеру, от двух переменных, с помощью нелинейного уравнения вида

$$F(x, y, u, u_x, u_y) = 0,$$

где x, y – переменные, определенные в некотором пространстве; $u(x, y)$ – искомая функция; u_x, u_y – частные производные по x, y ;

Если задача решается аналитически, то можно получить решение в виде общего интеграла, который равен

$$\Phi(x, y, u, r) = 0$$

где r – параметр.

Пусть, далее, в результате качественного анализа данного уравнения определено то пороговое значение параметра r , которое является точкой бифуркации. Через эту точку может проходить две или более ветвей решения данного уравнения. Известно, что при прохождении параметра через бифуркационное значение может произойти расщепление особой точки на несколько или может появиться новый цикл [5].

Для поиска "мягких" управляющих воздействий на поведение объекта вначале следует ввести исходные (фактические) значения переменных и определить значение функции в некотором приближении к точке бифуркации:

$$u_0 = u(x_0, y_0, r_0 - \varepsilon),$$

где $r_0 - \varepsilon$ – бифуркационное значение параметра в некоторой его окрестности.

Для получения управляющих воздействий, то есть для постановки задачи обратных вычислений, необходима дополнительная информация субъективного свойства, а именно: прирост функции $\pm \Delta u$, отражающий желаемое приближение к аттрактору, приоритеты в приращениях переменных, равные α и β , а также направления в изменениях этих переменных (знаки плюс или минус). Тогда полученное решение дополнится следующей информацией:

$$u_0^\pm = u(x_0^\pm(\alpha), y_0^\pm(\beta), r_0 - \varepsilon),$$

где $x_0^\pm(\alpha), y_0^\pm(\beta)$ – положительный или отрицательный прирост переменных x, y , зависящие от приоритетности путей достижения цели.

Для отыскания управляющих воздействий следует решить следующую задачу обратных вычислений:

$$\begin{cases} u_0 \pm \Delta u = u(x_0 \pm \Delta x, y_0 \pm \Delta y, r_0) \\ \frac{\Delta x_0}{\Delta y_0} = \frac{\alpha}{\beta} \end{cases}$$

где $\pm \Delta u$ – цель управления поведением системы (желаемый прирост функции $u(x, y)$); $\pm \Delta x, \pm \Delta y$ – искомые приросты переменных, имеющих содержание управляющих воздействий.

Рассмотрим пример с готовым решением дифференциального уравнения. Пусть динамика некоторого экономического процесса описывается нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных вида

$$z^2 = \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} xy,$$

решение которого приведено в [8]. Оно равно $z = bx^a y^{1/a}$, где a, b – произвольные константы. Будем считать, что константа b содержит некоторое пороговое значение b_0 , которое является точкой бифуркации. Определим значение функции z , в некотором приближении к этой точке, то есть найдем значение $z_0 = (b_0 - \varepsilon)x_0^a y_0^{1/a}$. Так как речь идет об управлении, поэтому должна быть известна цель, движение к которой указывается направлением изменения точки z_0 . Зададим это направление следующим образом:

$$z_0 \pm \Delta z_0 = (b_0 - \varepsilon)(x_0 \pm \Delta x_0)^a (y_0 \pm \Delta y_0)^{1/a}.$$

Знаки приростов функции и аргументов выбираются в зависимости от целей управления. Для определенности будем считать, что прирост функции положительный, а аргументов – первый положительный, а второй отрицательный. Если известна приоритетность в изменении каждого из аргументов, то приходим к задаче обратных вычислений. Для степенной функции, согласно [3], получим стандартную систему уравнений:

$$\begin{cases} z_0 + \Delta z_0 = (b_0 - \varepsilon)(x_0 + \Delta x_0)^a (y_0 - \Delta y_0)^{1/a} \\ \frac{\Delta x_0}{\Delta y_0} = \frac{\alpha}{\beta} \end{cases}$$

где α, β – коэффициенты приоритетности в изменении аргументов.

Порядок выполнения обратных вычислений приведен в [3]. Получив искомые приросты Δx и Δy можно реально воздействовать на экономический процесс в некотором диапазоне, равном $b_0 - \varepsilon$.

Если уравнение не решается аналитически и возникает потребность в использовании одного из методов его приближенного решения, то общая постановка задачи обратных вычислений приобретает иной вид. Например, для двумерных уравнений можно построить конечно-разностное уравнение, решение которого позволит определить значения искомой функции в виде таблицы (метод сеток, который может быть реализован либо с помощью системы линейных уравнений, либо на основе итерационного метода (релаксаций)). Тогда поиск управляющих воздействий сводится к выполнению следующих этапов:

Формулируется первая краевая задача [6, с. 254]. На контуре Γ , ограничивающим область G , задается непрерывная функция $\varphi(p) = \varphi(x, y)$. Требуется найти функцию $u(p) = u(x, y)$, удовлетворяющую внутри G исходному дифференциальному уравнению. Методом сеток определяются значения $u_{ij} = u(x_i, y_j)$, среди которых определяется то значение, которое отражает фактическое положение объекта в области G : $u_0 = u(x_0, y_0)$.

На основе известного (желаемого) прироста функции $u(x, y)$, равного $\pm \Delta u_0$, а также приоритетов в указании направления движения объекта, ставится обратная задача.

Например, если имеет место уравнение параболического типа вида $\frac{\partial u}{\partial y} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$, которое путем введения новой переменной $\tau = a^2 x$ можно при-

вести к виду $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ и если известно, что при $y=0$ $u(x, 0) = f(x)$, $u(0, y) = f(y)$ и $u(l, y) = \psi(y)$, то можно получить следующее конечно-разностное уравнение [6]:

$$u(x_i, y_j + h) = \frac{1}{6} [u(x_i - h, y_j) + 4u(x_i, y_j) + u(x_i + h, y_j)].$$

Оно позволяет сформулировать обратную задачу в виде:

$$\begin{cases} u_0 \pm \Delta u_0 = \frac{1}{6} [u(x_0 \pm \Delta x_0 - h, y_0 \pm \Delta y_0) + 4u(x_0 \pm \Delta x_0, y_0 \pm \Delta y_0) + \\ + u(x_0 \pm \Delta x_0 + h, y_0 \pm \Delta y_0)] \\ \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\alpha}{\beta} \end{cases}$$

где как и прежде $\pm \Delta u_0$ – цель управления поведением системы (желаемый прирост функции $u(x, y)$); $\pm \Delta x, \pm \Delta y$ – искомые приросты переменных, имеющих содержание управляющих воздействий; α, β – приоритеты в приращениях переменных; h – шаг, используемый для построения сетки.

Так как приросты переменных могут быть как положительными, так и отрицательными, поэтому возникают варианты расширения области G , и соответственно смещения контура Γ , представленные на рис.

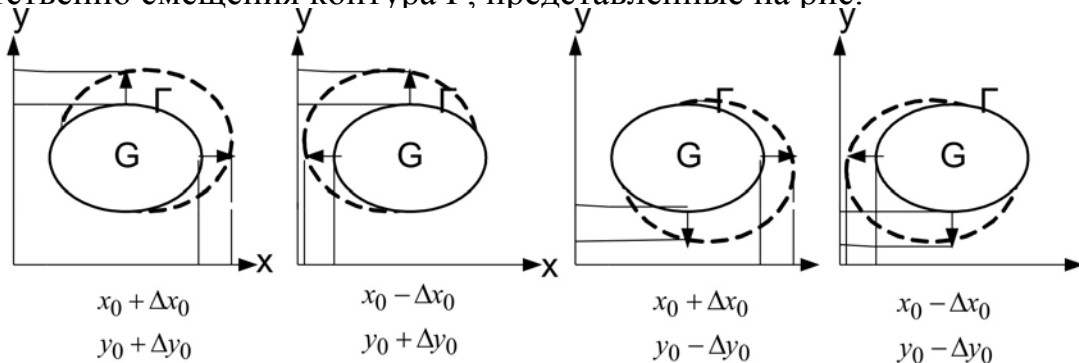


Рис. Варианты расширения области G и смещения контура Γ

Если значение параметра $r = r_0$ является бифуркационным, и при этом известно $u_0 \pm \Delta u_0 = u(x_0 \pm \Delta x_0, y_0 \pm \Delta y_0, a_0)$, то можно считать, что преодоление точки $(x_0 \pm \Delta p, y_0 \pm \Delta q)$, где $\Delta p < \Delta x_0, \Delta q < \Delta y_0$, будет целенаправленным.

Приведенные постановки задач предполагают знание ответов на ряд важнейших вопросов, например: Каким образом определить те будущие структуры системы, которые наилучшим образом соответствуют ее природе? Каким образом оценить и выбрать социально-экономический аттрактор, который наилучшим образом соответствует управляемому процессу? Что следует предпринять, если при прохождении параметра через бифуркационное значение произошло расщепление особой точки на несколько? Каким образом следует ставить задачу обратных вычислений при наличии нескольких параметров? Ответы на эти вопросы позволят разработать реальные рычаги воздействия на процессы социально-экономического характера.

Заканчивая демонстрацию возможностей аппарата обратных вычислений в управлении устойчивостью экономических систем, следует упомянуть также и то, что сегодня существует и иной взгляд на ценность дифференци-

ального исчисления как инструмента анализа условий, влияющих на равновесие экономических систем. Например, в работе [7] автор, лауреат Нобелевской премии, считает, что необходим не только новый математический инструментарий, но и новая теория, исключающие дифференциальное исчисление из базы средств изучения равновесных систем. Автор считает, что "... новая теория претендует на то, чтобы стимулировать размышления, быть более общей, более реалистической и более строгой, нежели предшествующие теории, опирающиеся на дифференциальное исчисление" [7, с. 227]. За тем идет следующий вывод: исключить использование дифференциального исчисления из арсенала средств изучения условий равновесия и состояний эффективности экономических систем.

Обоснованность столь категоричного заключения оценит время. Мы же заметим, что всегда останется потребность у человека влиять на ход тех или иных событий, процессов или объектов. И если эти процессы или события могут быть представлены аналитически (дифференциальными или другими уравнениями) и при этом известны цели влияния на них, то аппарат обратных вычислений, продемонстрированный на примере воздействия в некоторой бифуркационной точке, будет востребован в любом случае.

Литература

1. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы / И.А. Пригожин. – Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотичная динамика", 2001. – 216 с.
2. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности / Г. Хакен. – М., 2001. – 353 с.
3. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / В.Б. Занг : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1999. – 335 с.
4. Одинцов Б.Е. Обратные вычисления в формировании экономических решений / Б.Е. Одинцов. – М. : Изд-во "Финансы и статистика", 2004. – 192 с.
5. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях / В.В. Амелькин. – М. : Изд-во "Едиториал УРСС", 2003. – 208 с.
6. Демидович Б.П. Численные методы анализа / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М. : Изд-во "Наука", 1967. – 368 с.
7. Алле М. Условия эффективности в экономике / М. Алле : пер. с франц. – М. : Изд-во Научно-издательский центр "Наука для общества", 1998. – 304 с.
8. Шарма Дж.Н. Уравнения в частных производных для инженеров / Дж. Н. Шарма, К. Сингх : пер. с англ. – М. : Изд-во "Техносфера", 2002. – 320 с.

Одинцов Б.Е., Шків В.Д. Зворотні обчислення як засіб забезпечення стійкого розвитку соціально-економічних систем

Зазначено можливості апарату зворотних обчислень в управлінні стійкістю економічних систем, який продемонстровано на прикладі впливу в деякій біфуркаційній точці системи.

Ключові слова: зворотні обчислення, стійкий розвиток соціально-економічних систем, точка біфуркації системи, аттрактори, дисипативні процеси.

Odintsov B.E., Shkvir V.D. Inverse calculations as a tool for sustainable development of socio-economic systems

Were shown possibilities of the apparatus inverse calculations in management of economic systems stability. The apparatus of inverse calculations was demonstrated on the example of the impact of some bifurcation point system.

Keywords: inverse calculation, stable development of socio-economic systems, point of bifurcation system, attractors, dissipative processes.