

## **СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Л.А.Серков, Европейско-Азиатский институт управления и предпринимательства,  
г. Екатеринбург*

В рамках синергетического подхода изучалась стохастичность инновационного процесса и влияние на этот процесс инновационной глобализации, являющейся системным фактором. Авторами показано, что роль случайностей (шума) заключается в индуцировании ими явления, называемого самоорганизованной критичностью. Вовлечение в инновационный процесс все большего числа участников (инновационная глобализация) приводит к некоторому подавлению флуктуаций, к уменьшению роли случайности в появлении и развитии инноваций.

## **SYNERGETIC MODELLING OF INNOVATIVE PROCESSES**

*L.A.Serkov, European-Asian Institute of management and business, Ekaterinburg*

In frameworks of the synergetic approach stochasticity of innovative process and influence on this process of the innovative globalization was studied. By authors it is shown, that the role of noise consists in noise-induced phenomenon named self-organized criticality. Involving in innovative process of the increasing number of participants (innovative globalization) leads to to some suppression of fluctuations, to reduction of a role of accident in occurrence and development of innovations.

Синтез и анализ синергетических моделей управления социально – экономическими системами становится в последнее время особенно актуальным. Это происходит вследствие того, что все социально – экономические объекты являются открытыми системами и обладают способностями к самоорганизации и адаптации, поэтому представляется перспективным подход к управлению этими объектами через распознавание, анализ, прогнозирование и управление процессами самоорганизации. Этот подход является главной составной частью системного управления и предполагает рассмотрение системы управления организацией как целостной совокупности элементов. В этой сфере синергетические модели нужны для выявления «узких мест», возникающих в ходе развития системы. В случае построения адекватных моделей могут быть проанализированы альтернативные экономические стратегии и дан прогноз развития системы при различных управляющих воздействиях. Кроме того, в ходе верификации моделей становится ясно, какой информацией об исследуемой системе мы не располагаем. Это может стать важным стимулом для проведения дальнейших социологических и экономических исследований систем. Наконец, модели, в отличие от общих подходов, допускают более конкретную и аргументированную критику.

Теоретические исследования в области синергетического моделирования в экономике проводятся в разных направлениях. При этом все динамические модели, как аналитические, так

и допускающие лишь вычислительный эксперимент, можно условно разделить на две группы. К первой относятся модели экономического роста, ко второй – модели экономического цикла или, в более широком смысле, экономических колебаний. Хотя колебательная динамика в большей мере соответствует реальным процессам по сравнению с поведением моделей роста [1], тем не менее выявление «узких мест» последних, в том числе влияние управляющих воздействий на поведение траекторий моделей роста, представляет также научный и практический интерес.

Одной из распространенных нелинейных моделей экономического роста является модель распространения (диффузии) инноваций. Заметим, что моделирование инновационных процессов является необходимым для понимания природы и организации системного управления нововведениями. В работе А.И. Яблонского [2] высказано предположение о возможности использования  $S$  – образных кривых (логистическая, Гомпертца, модифицированная экспоненциальная и др.) и уравнений типа Лотки-Вольтера для моделирования процессов технологического развития. Экспериментальные исследования [3,4] показали, что процесс диффузии, выраженный в виде доли выпуска продукции определенного технологического уровня, или доли фирм, освоивших рынок новой продукции, также описывается логистической кривой или ее модификациями (рис.1).

Логистическая кривая является решением уравнения

$$dx/dt = \lambda * x * (Y - x), \quad (1)$$

где  $x$  – зависимый от времени показатель эволюции объекта,  $\lambda$  – параметр, определяющий скорость изменений (тренд эволюции),  $Y$  – параметр, определяющий предел изменений в рамках текущего состояния рынка. Фактически уравнение (1) описывает эволюцию объекта в условиях ограниченных ресурсов и конкуренции, ограничивающей рост. При этом начало и конец инновационного производства, смена технологических укладов приводит к появлению скачков (рис.1) на логистических кривых. Использование положительных свойств логистической кривой для описания жизненного цикла макрогенераций (продуктовых инноваций в экономике США, определяющих динамику ВВП) предложено в работе В.И.Маевского [5].

Недостатком практически всех моделей является отсутствие учета влияния системообразующих и субъективных причин (в том числе влияние состояния окружающей социально-экономической среды) на эволюцию инноваций. Между тем, такие характерные особенности инновационных процессов, как лавинообразный характер начала процесса развития, природа скачков на логистических кривых, субъективность (стохастичность процесса) невозможно объяснить в рамках эконометрических и имитационных моделей. Эти особенности связаны с нелинейностью инновационных процессов и для их объяснения можно использовать синергетический подход. Заметим, что хотя синергетические модели позволяют лишь качественно (на концептуальном уровне) описать исследуемые явления, тем не менее с их

помощью можно выявлять 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 эндогенных и экзогенных факторов на поведение траекторий изучаемой системы.

В предлагаемой работе в рамках синергетического подхода исследуется стохастичность инновационного процесса и влияние на этот процесс такого системообразующего фактора, как взаимосвязь исследуемой системы с другими подсистемами. Исходное уравнение для исследуемой модели инновационного роста в детерминированном случае запишем в виде

$$dx/dt = A + p/N * x * (N - x) - \beta * x, \quad (2)$$

где  $x = x(t)$  – число участников (компаний) региона, участвующих в инновационном процессе в момент времени  $t$ ,  $N$  – общее число участников,  $p$  ( $p > 0$ ) – коэффициент роста числа участников. Второй член уравнения учитывает конкуренцию между участниками инновационного процесса. Последний член уравнения учитывает отторжение инноваций некоторыми компаниями – участницами,  $\beta$  – коэффициент отторжения ( $\beta > 0$ ). Наконец,  $A$  – постоянная скорость появления новых участников инновационного процесса, в том числе и из других регионов в силу открытости системы. В безразмерных переменных  $x' = x/N, t' = t * \beta$  уравнение (2) запишется в виде

$$dx'/dt' = \alpha + \gamma * x' * (1 - x') - x', \quad (3)$$

где  $\alpha = A/\beta * N, \gamma = p/\beta$ . В дальнейшем будем опускать штрихи в уравнении (3) и называть переменную  $x$  инновационной активностью.

Модели, соответствующие уравнению (3), встречаются в популяционной генетике и имеют химическую реализацию [6]. Если для простоты положить  $\alpha = 1/2$ , то физический смысл имеет стационарное значение

$$\bar{x} = [\gamma - 1 + (\gamma^2 + 1)^{1/2}] / (2 * \gamma). \quad (4)$$

Это значение задает взаимно-однозначное отображение интервала  $(-\infty, +\infty)$  на интервал  $(0,1)$  [6]. Анализ устойчивости по линейному приближению показывает асимптотическую глобальную устойчивость стационарных состояний (4), т.е. в детерминированном случае в модели инновационного процесса, описываемой уравнением (3) не происходит потери устойчивости. Следовательно, любая потеря устойчивости в этой модели, наблюдающаяся при флуктуациях среды, является чисто индуцированным шумом эффектом, соответствующим качественному изменению макроскопических свойств [6].

#### **Анализ стохастической модели инновационных процессов**

Любые экономические системы и их элементы подвержены флуктуациям (колебаниям, изменениям), которые могут быть как внутренними, так и внешними по отношению к системе.

Флуктуации, воздействующие на систему, в зависимости от своей силы, могут иметь совершенно разные для нее последствия. С ростом числа флуктуаций система постепенно становится неустойчивой, чувствительной даже к малым воздействиям. Постепенно колебания экономических параметров усиливаются, и когда они превысят некоторые критические значения, наступает момент, когда сколь угодно малое изменение параметров приводит к скачкообразному переходу систему в качественно новое состояние. Так наступает точка бифуркации – переломный, критический момент в развитии системы, точка, в которой происходит катастрофа. При этом решающее значение приобретают эндогенные флуктуации, способствующие скорейшей адаптации и самоорганизации системы.

Возникновение инноваций всегда сопряжено со случайностями, так что параметр тренда  $\gamma$  является флуктуирующим. Заметим, что этот параметр характеризует внутренние свойства инновационной системы. В предположении, что эндогенные флуктуации довольно быстры, заменим параметр  $\gamma$  стационарным случайным процессом  $\gamma_t = \gamma + \sigma * \zeta_t$ , где гауссов белый шум  $\zeta_t$  имеет нулевое среднее значение и интенсивность  $\sigma^2$ , т.е.

$$\langle \zeta_t(t) \rangle = 0, \quad \langle \zeta_t(t) * \zeta_{t'}(t') \rangle = \sigma^2 * \delta(t - t'). \quad (5)$$

Заметим также, что инновационный процесс протекает в пространстве множества технологий. Это можно учесть путем введения взаимодействия между участниками технологического трансфера, отражающего инновационную глобализацию. Учитывая вышесказанное запишем стохастическое дифференциальное уравнение для участников инновационного процесса (уравнение Ланжевена)

$$dx_i / dt = f(x_i) - D / M * \sum_{j=1}^M (x_i - x_j) + g(x_i) * \zeta_i(t) \quad (6)$$

$$f(x_i) = \alpha + \gamma * x_i * (1 - x_i) - x_i, \quad g(x_i) = x_i * (1 - x_i), \quad (6a)$$

где  $x_i$  – доля участников процесса в пространстве  $i$ -ой технологии (инновационная активность),  $D$  – агрегированная величина взаимодействия (коммуникационного и производственного) между участниками технологического трансфера ( $D > 0$ ),  $M$  – размерность пространства технологий (количество инновационных технологий). Белый шум  $\zeta_i(t)$  определяется как

$$\langle \zeta_i(t) \rangle = 0, \quad \langle \zeta_i(t) * \zeta_j(t') \rangle = \sigma^2 * \delta_{ij} * \delta(t - t'). \quad (7)$$

В дальнейшем будем рассматривать случайный процесс в интерпретации Стратоновича [6] и интересоваться динамикой макроскопической переменной  $\langle x \rangle = 1 / M * \sum_i x_i$  и ее

стационарным значением  $\langle x \rangle^* = \mu$ , используемым в качестве параметра порядка. Для упрощения расчетов примем в дальнейшем без потери общности  $\alpha = 1/2$ . В приближении среднего поля (это приближение является точным в случае глобального взаимодействия при  $M \rightarrow \infty$ ), заменяя  $x_j$  средним значением  $\mu$ , систему уравнений (6) - (7) можно записать в виде

$$dx_i / dt = f(x_i) - D^*(x_i - \mu) + g(x_i)^* \zeta_i(t), \quad (8)$$

где  $\mu$  определяется с помощью самосогласованного уравнения

$$\mu = \int_0^1 x^* P_{st}(x, \mu) dx \equiv \Phi(\mu), \quad (9)$$

используя стационарную плотность вероятности  $P_{st}(x, \mu)$ . Последнюю определим из стационарного уравнения Фоккера - Планка [7]

$$0 = d/dx_i (-f(x_i) + D^*(x_i - \mu) + \sigma^2/2^* g(x_i)^* d/dx_i(g(x_i))) P_{st}(x_i). \quad (10)$$

Из последнего уравнения (опуская нижний индекс  $i$ ) найдем  $P_{st}(x)$  [7]

$$P_{st}(x) = Z^{-1} * \exp \left\{ \int_0^x dy^* (f(y) - \sigma^2/2^* g(y)^* g'(y) - D^*(y - \mu)^* (\sigma^2/2^* g^2(y))^{-1}) \right\} \quad (11)$$

где  $Z$  – нормированная постоянная ( $Z = \int_0^1 P_{st}(x, \mu) dx$ ),  $g'(y)$  – обозначение производной.

Из уравнения (11) для  $\alpha = 1/2$

$$P_{st}(x, \mu) = (Z^* g(x))^{-1} * \exp \{ 2/\sigma^2^* [-(1 + 2^* D^* x + 2^* D^* \mu^* (1 - 2^* x))/(2^* x^* (1 - x)) - \gamma^* \ln((1 - x)/x) + D^* \ln(x/(1 - x))^* (2^* \mu - 1)] \}. \quad (12)$$

Исследуем сначала инновационный процесс, описываемый уравнением (8) при  $D = 0$ , т.е. в отсутствие взаимосвязей между участниками технологического трансфера с разными технологиями. В этом случае из уравнения

$$f(\bar{x}) - \sigma^2/2^* g(\bar{x})^* g'(\bar{x}) = 0 \quad (13)$$

легко найти экстремумы стационарной плотности вероятности  $\bar{x}$  [7]. Например, в случае  $\gamma = 0$  (для простоты) стационарное решение детерминированного уравнения (3)  $\bar{x} = 1/2$  ( $\alpha = 1/2$ ). При флуктуирующем параметре  $\gamma$  из уравнения (13) получим [6]

$$\bar{x}_1 = 1/2, \quad \bar{x}_{2,3} = (1/2) * \left[ 1 \pm (1 - 4/\sigma^2)^{1/2} \right] \quad (14)$$

Таким образом, при  $\sigma^2 > 4$  стационарная плотность вероятности имеет три экстремума, из которых  $\bar{x}_{2,3}$  – максимумы, а наиболее вероятное детерминированное состояние  $\bar{x}_1 = 1/2$  в стохастическом случае превращается в минимум (рис.2). То есть, при превышении критического значения интенсивности шума  $\sigma_c^2 = 4$  ( $\gamma = 0$ ), плотность вероятности становится бимодальной. В асимметричном случае  $\gamma \neq 0$  ситуация качественно остается такой же, только пороговое значение интенсивности шума возрастает с увеличением  $|\gamma|$  (рис.3). В этом случае при  $\gamma > 0$  пик, соответствующий в детерминированном уравнении стационарному состоянию, движется в направлении  $x = 1$  по мере увеличения  $\sigma^2$ , и если  $\sigma^2$  превышает некоторое пороговое значение  $\sigma_{пор}^2 > 4$ , то на конечном расстоянии от первоначального пика, вблизи другой границы пространства состояний ( $x = 0$ ) появляется второй пик (рис.3). Иначе говоря, любой переход в рассматриваемой модели инновационного процесса всегда является чисто шумовым процессом. В [6] резюмируется, что экстремумы стационарной плотности вероятности  $P_{st}(x)$  претерпевают в верхней полуплоскости  $(\gamma, \sigma^2)$  катастрофу типа сборки с критической точкой (острием клюва) в  $(0,4)$ . В отличие от [6] авторы настоящей публикации настаивают на том, что все переходы в исследуемой модели, как при  $\gamma = 0$ , так и при  $\gamma \neq 0$  являются критическими. Субкритических переходов (переходов первого рода), характерных для катастроф типа сборки, авторами не обнаружено. Доказательство этих утверждений основано на бифуркационном анализе модели, которое будет приведено в следующем разделе и на поведении параметра порядка  $\mu$ , определяемого решениями самосогласованного уравнения (9) при  $D \neq 0$ .

На рис 4 приведены решения уравнения (9) при  $\gamma = 0, D = 16$  и  $\sigma^2 = 16$ . На приведенном графике присутствуют решения, соответствующие лишь критической точке при  $\bar{x} = 1/2$ . Субкритических точек, соответствующих переходам первого рода, не обнаружено. В пользу приведенных утверждений свидетельствует и поведение параметра порядка  $\mu$  в зависимости от параметра тренда  $\gamma$  на рис.5, характерное для критических явлений (отсутствие разрывов на кривой зависимости  $\mu$  от  $\gamma$ ).

Авторы считают, что описанные выше закономерности, индуцированные мультипликативным белым шумом в уравнении (6), характерны для явления «самоорганизованной критичности» [8]. В пользу последнего утверждения свидетельствует и приведенная на рис.6 зависимость спектральной плотности  $S(f)$  решений стохастического уравнения (6) от частоты. При этом спектр плотности имеет на низких частотах степенной вид  $S(f) \sim f^{-\beta}$ , где  $\beta \sim 1$ . Подобная зависимость называется фликкер - шумом [8]. Наличие последнего означает, что значительная часть энергии исследуемой системы связана с очень медленными процессами, и в такой системе возможны очень большие флуктуации. Это позволяет предположить, что система находится в окрестности критической точки, или точки бифуркации, где обычно и происходят такие явления. В пользу самоорганизованной критичности свидетельствует также наблюдающееся на практике лавинообразное протекание инновационных процессов в период замен одних технологий на более совершенные и приводящее к скачкам на логистических кривых (рис.1). Кроме того, одной из закономерностей самоорганизованной критичности является наличие прерванного равновесия или перемежаемости, заключающееся во вспышках высокой инновационной активности, прерывающих состояние относительного покоя, когда ее уровень низок. Предпосылкой для перемежаемости служит бимодальность зависимости стационарной плотности вероятности распределения  $P_{st}(x)$  от инновационной активности  $x$  (рис.2,3). Заметим, что явление перемежаемости происходит в результате самоорганизации системы и приводит к наблюдающимся в реальной практике инновационным циклам (циклам Шумпетера) [3].

Еще одной отличительной чертой систем, в которых наблюдается самоорганизованная критичность, являются степенные законы распределения вероятностей, т.е. статистические характеристики происходящих в них событий обыкновенно имеют плотность вероятности вида  $p(x) \sim x^{-(1+\theta)}$ . При этом показатель  $\theta$  обычно лежит в диапазоне от нуля до единицы [8]. Степенное распределение имеют характеристики многих явлений, в том числе и научная продуктивность исследований [8], имеющая отношение к инновациям. Наконец, о роли степенных законов и самоорганизованной критичности в эпоху инноваций отмечается в работе [9], где, в том числе, отмечается, что приспособляемость организации к нововведениям является наивысшей как раз в области самоорганизованной критичности.

#### **Бифуркации и анализ устойчивости стохастической модели инновационных процессов**

Для подтверждения вышеприведенных выводов и исследования устойчивости инновационных процессов необходимо проведение бифуркационного анализа. Непосредственное изучение бифуркаций в модели, описываемой уравнениями Ланжевена (6), (8) является довольно затруднительным. Поэтому попытаемся выразить динамику

макроскопических переменных в терминах обыкновенных дифференциальных уравнений. Из уравнения (8) динамика первого момента (среднего значения) переменной  $x$  выражается

$$\langle dx/dt \rangle = \langle f(x) \rangle + \sigma^2/2 * \langle g'(x) * g(x) \rangle. \quad (15)$$

В нулевом приближении, пренебрегая флуктуациями  $\Delta = x - \langle x \rangle$  запишем

$$\langle dx/dt \rangle \approx f(\langle x \rangle) + \sigma^2/2 * g'(\langle x \rangle) * g(\langle x \rangle). \quad (16)$$

Нулевое приближение (16) является очень грубым и для его улучшения представим правую часть уравнения (15) в терминах моментов  $\mu_n = \langle \Delta^n \rangle$  [10]

$$\langle dx/dt \rangle = \sum_{n=0} \mu_n / n! * \left\{ f^{(n)}(\langle x \rangle) + \sigma^2/2 * [g'(\langle x \rangle) * g(\langle x \rangle)]^{(n)} \right\}, \quad (17)$$

где  $f^{(n)}$  – означает производную  $n$ -ого порядка. Для конкретизации и упрощения расчетов примем в уравнениях (6), (8)  $\alpha = 1/2, \gamma = 0$ . Как отмечалось выше, для этих значений параметров критическое значение интенсивности шума  $\sigma_c = 4$ , а экстремум стационарной плотности вероятностей  $\bar{x} = 1/2$  (14). Кроме того, сдвинем начало координат на  $1/2$  и перейдем к переменной  $z = x - 1/2$ . В этом случае уравнения (6а) преобразуются к виду

$$f(z) = -z, \quad g(z) = 1/4 - z^2. \quad (18)$$

Заметим, что функция  $f(z)$  является нечетной и экстремальное значение  $\bar{z}$  сдвигается в точку  $\bar{z} = 0$ .

Подставим  $f(z)$  и  $g(z)$  в уравнение (17)

$$\langle dz/dt \rangle = -\langle z \rangle - \sigma^2 * \langle z \rangle * (1/4 - z^2) + 3 * \sigma^2 * \mu_2 * \langle z \rangle + \sigma^2 * \mu_3. \quad (19)$$

Уравнение (19) дополним уравнениями для моментов более высокого порядка [10]

$$\begin{aligned} d\mu_n/dt = -D * n * \mu_n + \sum_{m=0} n * \mu_{n+m-1} / m! * \left\{ f^{(m)}(\langle z \rangle) + \sigma^2/2 * [g'(\langle z \rangle) * g(\langle z \rangle)]^{(m)} \right\} + \\ + \sum_{m=0} n * (n-1) * \mu_{n+m-2} / m! * \sigma^2/2 * [g^2(\langle z \rangle)]^{(m)}, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $\mu_0 = 1, \mu_1 = 0$ . Для момента второго порядка уравнение (20) имеет вид

$$\begin{aligned} d\mu_2/dt = \sigma^2 * (1/4 - \langle z \rangle^2)^2 - 2 * \mu_2 + \mu_2 * \sigma^2 * (6 * \langle z \rangle^2 - 1/2) + \\ + \mu_2 * \sigma^2/2 * (12 * \langle z \rangle^2 - 1) + 3 * \mu_4 * \sigma^2. \end{aligned} \quad (21)$$



Вследствие того, что исследуемая система в новых переменных обладает симметрией зеркального отражения относительно оси  $z = 0$ , стационарные значения  $\langle \bar{z} \rangle = \bar{\mu}_{2n+1} = 0$ .

Эволюция малых отклонений  $\varepsilon = \langle z \rangle - \langle \bar{z} \rangle$  из уравнения (19) имеет вид

$$d\varepsilon / dt = -(1 + 1/4 * \sigma^2 - 3 * \sigma^2 * \bar{\mu}_2) * \varepsilon + \sigma^2 * \varepsilon^3 \quad (22)$$

В линейном приближении условием для существования критической точки  $\langle \bar{z} \rangle$  является

$$1 + \sigma_c^2 / 4 - 3 * \sigma_c^2 * \bar{\mu}_2 = 0. \quad (23)$$

Из вида уравнения (22) критическая точка  $\langle \bar{z} \rangle$  является точкой бифуркации типа «вилка» [11]. Кроме того, отсутствие членов пятого порядка в (22) может свидетельствовать о том, что в исследуемой системе не реализуются субкритические бифуркации (характерные для переходов первого рода). Критическая точка  $\langle \bar{z} \rangle = 0$  является устойчивой при  $(1 + \sigma_c^2 / 4) > 3 * \sigma_c^2 * \bar{\mu}_2$ . Так как  $\bar{\mu}_2$  является функцией  $\sigma_c$  аналитически точно определить критическую интенсивность шума из (23) не представляется возможным. Это можно сделать с помощью численных методов анализа уравнений (19) и (21). Заметим, что система обыкновенных дифференциальных уравнений (19), (21) является незамкнутой, вследствие того, что уравнение (21) содержит момент четвертого порядка  $\mu_4$ . Для того, чтобы замкнуть эту систему уравнений, в настоящей работе используется гауссовская аппроксимация, при которой моментами выше второго порядка пренебрегают. Хотя эта аппроксимация является довольно грубой, тем не менее, как мы увидим в дальнейшем, она корректно предсказывает многие закономерности изучаемых явлений. При гауссовской аппроксимации все моменты четных порядков выражаются через моменты второго порядка, в частности  $\mu_4 = 3 * \mu_2$ .

Таким образом, в уравнении (19) считаем  $\mu_3 = 0$ , а в уравнении (21) выражаем  $\mu_4$  через  $\mu_2$ . Бифуркационный анализ системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений (19) и (21) осуществлялся методом продолжения по параметру в п/п `matcont`. На рис.7 изображена зависимость равновесных значений  $\langle \bar{z} \rangle$  от интенсивности шума  $\sigma^2$  при различных значениях параметра взаимодействия  $D$ . В критической точке (точке разветвления **BP**) происходит бифуркация типа «вилка». При этом субкритических бифуркаций не обнаружено. Кроме того, для каждой интенсивности шума существует три равновесных значения  $\langle \bar{z} \rangle$ , одно из которых лежит на линии бифуркационных точек **BP** (на оси  $\langle \bar{z} \rangle = 0$ ) и соответствует минимуму стационарной плотности вероятности и является неустойчивым, а два других - устойчивые и соответствуют максимумам последней

Одним из главных проявлений наличия взаимодействия между участниками технологического трансфера ( $D > 0$ ) является то, что включение этого взаимодействия приводит к подавлению шумового эффекта. Это отчетливо видно на рис.7. На приведенных кривых отчетливо видно, что с ростом  $D$  критическое значение интенсивности шума  $\sigma_c^2$  также возрастает, что свидетельствует о подавлении шумового эффекта при наличии инновационной глобализации. Таким образом, увеличение взаимодействия между участниками инновационного процесса (инновационная глобализация) приводит к некоторому подавлению флуктуаций, к уменьшению роли случайности в появлении и развитии инноваций. Заметим, что в настоящее время на практике доминирует как раз парадигма все большей взаимосвязанности различных процессов в области инноваций, что облегчается развитием информационных и коммуникационных технологий. Новые технологии появляются в результате слияния специализированных направлений, например, геномика, биоинформатика или комбинаторная химия [9]. Важнейшим направлением в современном развитии инновационной глобализации является формирование международных инновационных сетей, совместное научно-техническое творчество разных стран и их корпораций в интересах не только бизнеса, но и экономического и научно-технического развития всего мира.

#### **Заключение**

Наращение активности в использовании информационных технологий и Интернета убеждает каждого, что прежнее мышление на основе старых экономических парадигм больше не является надежным. Нелинейное поведение экономики становится все более очевидным фактом. В результате прежняя парадигма менеджмента устарела. Возникла необходимость в разработке новых приемов менеджмента, основанных, в том числе, на нелинейном поведении инновационных процессов. Поэтому исследование нелинейных процессов в экономике и факторов, влияющих на них, особенно актуально. В настоящей работе в рамках синергетического подхода изучалась стохастичность инновационного процесса и влияние на этот процесс инновационной глобализации, являющейся системным фактором. Авторами показано, что роль случайностей (шума) заключается в индуцировании ими явления, называемого самоорганизованной критичностью. Роль ее проявляется в наблюдающемся на практике лавинообразном протекании инновационных процессов в период замен одних технологий на более совершенные и приводящем к скачкам на логистических кривых. Кроме того, одной из закономерностей самоорганизованной критичности, является наличие прерванного равновесия или перемежаемости, заключающееся во вспышках высокой инновационной активности, прерывающих состояние относительного покоя, когда ее уровень низок. Вовлечение в инновационный процесс все большего числа участников (инновационная глобализация) приводит к некоторому подавлению флуктуаций, к уменьшению роли случайности в появлении и развитии инноваций. Выводы, полученные путем анализа

стационарной плотности вероятности распределения случайных величин, подтверждены проведением бифуркационного исследования.

#### Список литературы

- 1 *В.А. Буланичев, Л.А. Серков.* Самоорганизация экономических систем с детерминированным хаосом. // Математическое моделирование. 2007, т.19, №4, с.116-126.
- 2 *А.И. Яблонский.* Математические модели в исследовании науки. - М.: Мысль, 1986.
- 3 *Grubler A.* Time for a Change: On the Pattern of Diffusion of Innovation //Daedalus. 1996. № 1. P. 19-42.
- 4 *В.М. Полтерович, А.А.Хенкин.* Диффузия технологий и экономический рост. М.: Наука, 1988.
- 5 *В.И. Маевский.* Введение в эволюционную макроэкономику. М.: Изд-во «Япония сегодня», 1997.
- 6 *W.Horsthemke and R. Lefever.* Noise-Induced Transitions. Springer, Berlin, 1984.
- 7 *C. Van den Broeck, J.M.R. Parrondo, R. Toral, R.Kawai.* Nonequilibrium phase transitions induced by multiplicative noise.// Phys.Rev.E, v.55, 1997, p.4084-4094.
- 8 *Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов, А.В. Подлазов.* Нелинейная динамика. Подходы, результаты, надежды. – М.: КомКнига, 2006.
- 9 *Ф. Янсен.* Эпоха инноваций. – М.: Инфра – М, 2002.
- 10 *Н.Г. Ван Кампен.* Стохастические процессы в физике и химии.- М.: Высшая школа, 1990.
- 11 *Дж. Гукенхаймер, Ф. Холмс.* Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей.- М. - Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2002.



Рис.1. Динамика развития сетей автомобильных дорог в США, подчиняющаяся логистическим закономерностям [3] (в относительных единицах в зависимости от времени).

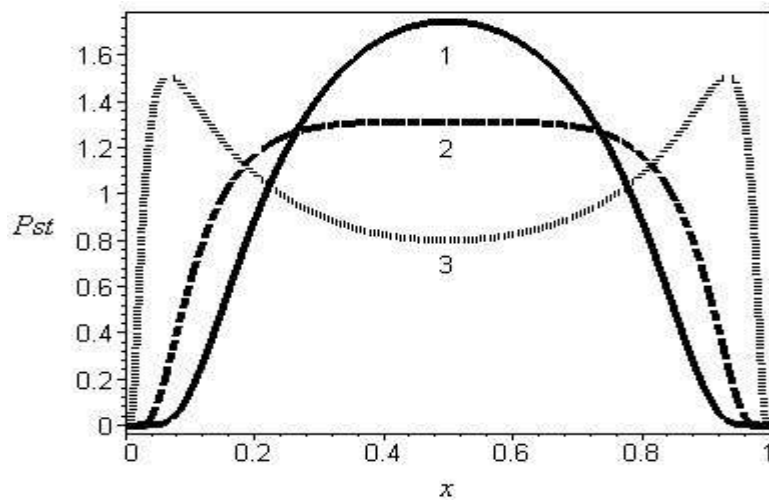


Рис 2. Зависимость стационарной плотности вероятности распределения  $P_{st}(x)$  от инновационной активности  $x$  при  $\gamma = 0$ ,  $D = 0$ . Значение интенсивности шума для кривой 1 -  $\sigma^2 = 1$ , для кривой 2 -  $\sigma^2 = 4$ , для кривой 3 -  $\sigma^2 = 16$ .

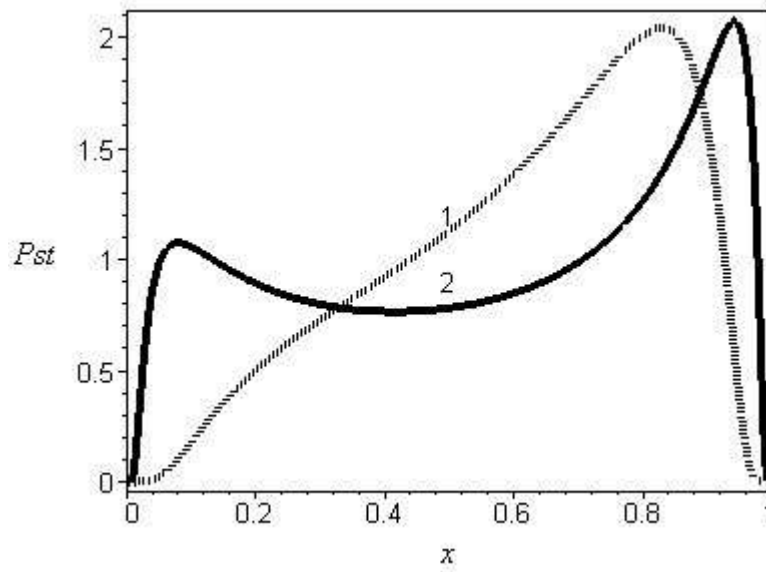


Рис 3. Зависимость стационарной плотности вероятности распределения  $P_{st}(x)$  от инновационной активности  $x$  при  $\gamma = 1, D = 0$ . Значение интенсивности шума для кривой 1 -  $\sigma^2 = 4$ , для кривой 2 -  $\sigma^2 = 16$ .

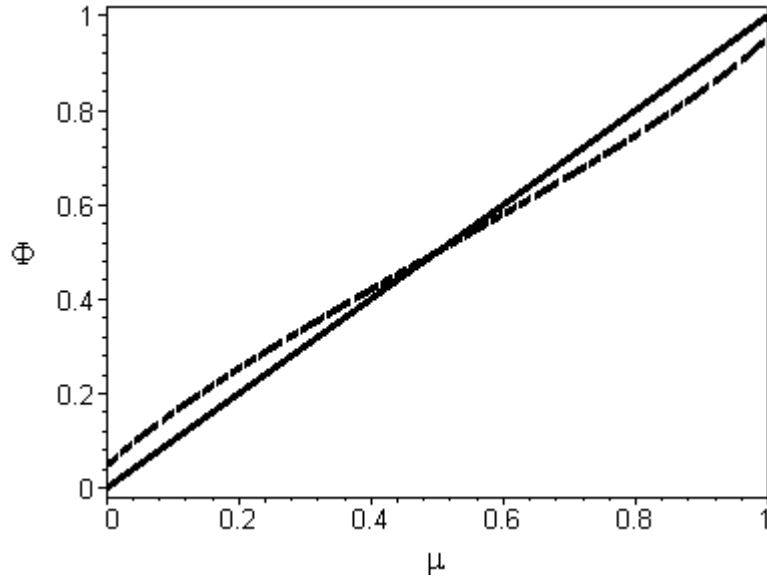


Рис 4. Решения самосогласованного уравнения (9) при  $\gamma = 0, D = 16$  и  $\sigma^2 = 16$ .

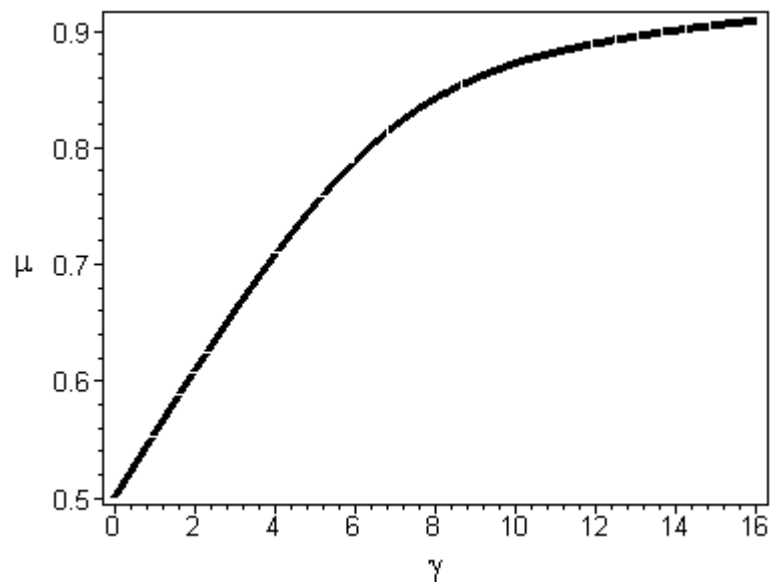


Рис. 5. Зависимость параметра порядка  $\mu$  от параметра тренда  $\gamma$ . Значение интенсивности шума  $\sigma^2 = 16$ , параметр взаимодействия  $D = 16$ .

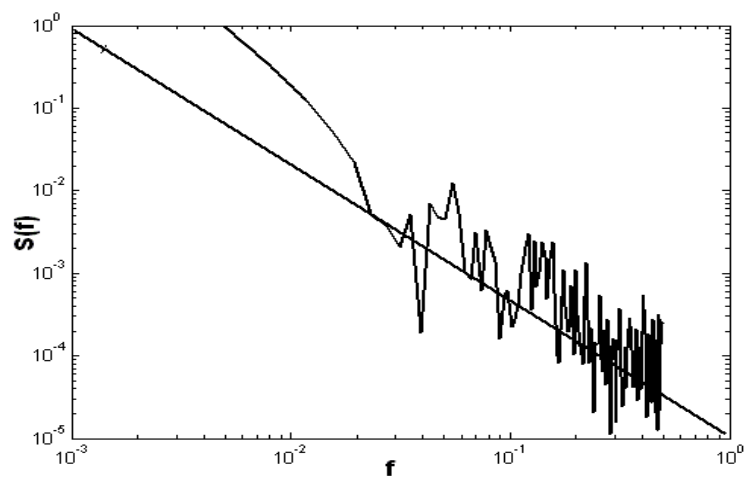


Рис. 6. Зависимость спектральной плотности  $S$  решений стохастического уравнения (6) от частоты  $f$  в двойном логарифмическом масштабе. Значения параметров:  $\alpha = 1/2$ ,  $\gamma = 1$ ,  $D = 0$ ,  $\zeta(t) = 1$ .

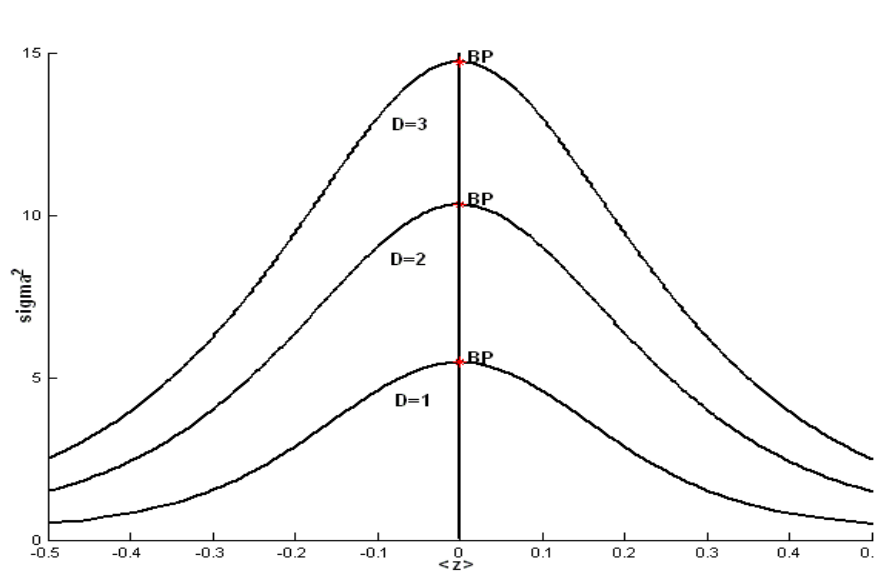


Рис.7. Зависимость равновесных значений  $\langle \bar{z} \rangle$  от интенсивности шума  $\sigma^2$  при различных значениях параметра взаимодействия  $D$  (указаны на кривых). По оси абсцисс отложены значения  $\langle \bar{z} \rangle$ , по оси ординат – интенсивности шума  $\sigma^2$ .  $BP$  – точка бифуркации типа «вилка».