

# УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Г.П. Быстрой, И.А. Лыков

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ КРИЗИСНЫХ СОСТОЯНИЙ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОГО ПОДХОДА<sup>1</sup>

*На основе анализа выборки показателей экономической безопасности, являющейся основой благосостояния, определяется кризисный потенциал системы в целом, по которому в рамках уравнения Фоккера — Планка производится восстановление вероятностной функции распределения. В ее рамках производится вероятностная оценка состояний экономической безопасности и ее временная эволюция за период с 2000 по 2012 гг. Приведены результаты определения рисков развития кризисных ситуаций для Свердловской области за исследуемый период, полученные на основе разработанного программного продукта.*

**Экономическая безопасность, благосостояние территории, нелинейный анализ, вероятностная функция распределения, риски, потенциальная функция, устойчивость, численное моделирование.**

### Введение

В данной работе в рамках синергетики, теорий катастроф, детерминированного хаоса и оптимального управления разрабатываются принципы и количественные методы математического и топологического описания нелинейной динамики макроэкономических систем, их устойчивого развития, а также формулируются задачи по описанию детерминированного хаоса экономических и производственных процессов.

Эта статья является продолжением работ [0, 0] и посвящена анализу выборки показателей, характеризующих экономическую безопасность. В ней на основе анализа выборки определяется степень кризисности состояний системы в целом [0]. Проблема решается с привлечением потенциальных функций, показывающих кризисные состояния всей системы в целом и ее устойчивость [0].

Построение математических моделей слабо и сильно неравновесных процессов в макроэкономических системах в рамках парадигмы так называемых «открытых систем», опирающихся на изучение феномена «открытости», наталкивается в экономической теории на ряд трудностей не только технического, но и принципиального гносеологического характера [0, 0]. Поэтому разработка способов изучения эволюции и развитие методов ее прогнозирования для объектов социально-экономической природы с целью повышения благосостояния и его достоверного анализа, в том числе и на микро- и мезоуровнях, в рамках такого подхода, интенсивно развиваемого в последнее время в основном в естественных науках, являются актуальной научной проблемой. Основная идея введения нелинейности — это новый этап в познании сложных

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 14-18-00574 по теме «Информационно-аналитическая система «Антикризис: диагностика регионов, оценка угроз и сценарное прогнозирование с целью сохранения и усиления экономической безопасности и повышения благосостояния России» (ИАС «Антикризис»).

систем и процессов, характеризующийся наличием в системе нескольких состояний с разным типом устойчивости. В отличие от линейного подхода, где возможна реализация лишь одного устойчивого состояния. С целью определения типа устойчивости состояний региональной экономики [0] выделяются возможности методов нелинейной динамики, в рамках которой возможно построение неравновесных потенциальных функций. Разным состояниям экономических систем регионального типа соответствуют разные минимумы потенциальной функции, принадлежащие тем или иным зонам притяжения фазовых траекторий эволюции экономической системы, то есть так называемым «аттракторам». Изменение параметров экономической системы может привести к изменению числа таких состояний и/или их устойчивости. Здесь возникает задача описания вероятности реализации того или иного состояния. Возможности получения вероятностной функции распределения на основе обработки статистических данных с большим количеством показателей делают такую задачу нетривиальной [0].

Повышение благосостояния населения с учетом создания механизмов обеспечения экономической безопасности и предотвращения угроз является одним из приоритетных направлений экономического развития как страны, так и отдельно взятого региона. Данная статья направлена на разработку информационно-аналитической системы (ИАС) диагностики благосостояния и экономической безопасности территорий России с учетом угроз и сценарного прогнозирования их последствий. ИАС как совокупность технико-методического обеспечения на основе предлагаемых методов нелинейного экономико-математического моделирования и на базе авторского методического аппарата позволяет учесть многовариантность состояний и развития всей системы в целом.

Далее изложим в краткой форме разработанные нами методы построения потенциальных функций, важных для определения вероятностных характеристик (характеристик риска).

### **Методы построения потенциальных функций**

*Первый метод* разработан и представлен в работе [0]. Эта статья является продолжением и посвящена методу построения некоторых потенциальных функций для рассматриваемой системы, анализу выборки показателей, характеризующих экономическую безопасность. Экономические системы принадлежат к классу так называемых «открытых систем» [0], интенсивно изучаемых в последнее время в естественных науках. Под моделированием открытых экономических систем в данной работе понималось моделирование не только взаимодействия их с внешней средой (товаром, сырьем, капиталом), но, прежде всего, описание воздействий на них внешних факторов — ставок налогообложения, кредитной ставки, курса валюты, объема инвестиций, индекса оптовых цен и т.д. [0]. В указанной работе реализован метод квазистатистических неравновесных потенциальных функций, в качестве которых для отрасли выступают минимизируемые суммарные издержки, максимизируемая прибыль, тем самым описывается их нелинейное взаимодействие с другими показателями.

На основе построенных потенциальных функций в работе рассматривались системы, смена стационарных состояний которых происходит благодаря медленному изменению управляющих параметров [0]. Сам же переход к новому состоянию равновесия, идентифицируемый как фазовый переход, на практике осуществляется в сверхбыстрой временной шкале. Были получены обнадеживающие результаты по анализу основных отраслей промышленно

развитого региона. Метод вызвал широкое обсуждение и стал использоваться некоторыми исследователями [0, 0]. Здесь важно выбрать функции, которые должны минимизироваться или максимизироваться, и определить, т какой переменной зависит этот потенциал.

На первоначальном этапе задача нами решалась в рамках катастрофы сборки [0]; в пределах такого подхода разработана конкретная методика по оптимизации показателей на уровне отрасли на областном уровне, доступная и понятная пользователям-экспертам (реализована в системах Excel и Mathcad). Методика апробирована для наиболее важных отраслей и в целом всей промышленности Свердловской области — основное внимание обращено на показатели, включающие фонд оплаты труда. Выбран один из самых сложных этапов развития экономики области — 1996–1997 гг. Эти результаты сравниваются с показателями состояния промышленности Уральского региона в 1970–1986 гг. Для каждой отрасли (и для промышленности в целом) на самом верхнем уровне агрегации модель содержит анализ шести нелинейно взаимодействующих суммарных переменных, взятых для отраслей из сводных балансовых отчетов за различные временные периоды.

Обработка экспериментальных данных производилась методом наименьших квадратов в виде потенциальных функций, используемых в катастрофе сборки; например, приведенные полные издержки  $R$ , отнесенные к фонду оплаты труда  $L$ , обрабатывались полиномом 4-й степени

$$R/L = r = b_0 + b_1z + b_2z^2 + b_3z^3 + b_4z^4, \quad (1)$$

здесь  $z = B/L$  — доход (выручка) на один рубль оплаты труда. Параметры  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ , имеющие различные знаки, определялись для функции  $r$  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 [0]. Знаки параметров относятся рассматриваемую систему к катастрофе сборки или к катастрофе двойственной сборки. Потенциальная функция (1) в канонической форме катастрофы сборки для открытой системы может учитывать внешние факторы через параметры (ставки налогообложения, кредитной ставки и т. д.). Функция примет канонический (простой) вид:

$$\Phi(\eta, a^*, b^*) = \frac{1}{4}\eta^4 + \frac{1}{2}a^*\eta^2 + b^*\eta, \quad (2)$$

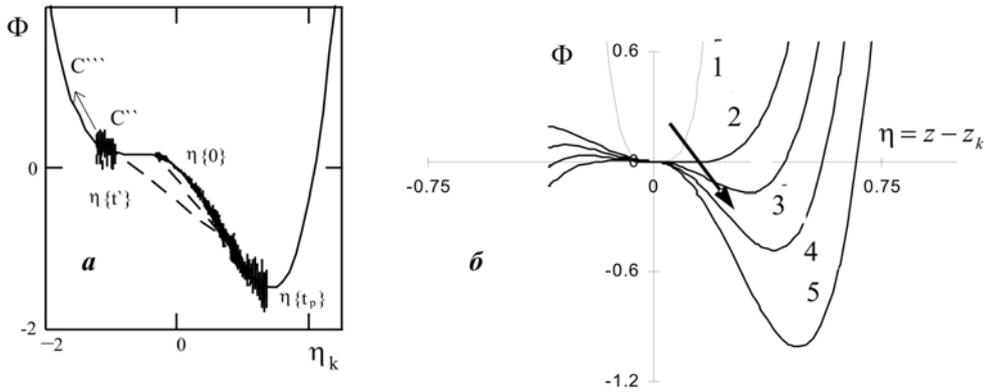
где  $\eta = z - z_k$  — новая переменная, выраженная через старую. Эта переменная называется «параметром порядка» и показывает отклонение  $z$  от среднего по двум точкам равновесия значения  $z_k$ ; последние определяются через параметры уравнения (1):  $z_k = -b_3 / b_4$ ,  $z_c = \sqrt{b_3 / 6b_4}$ . Тем самым введены новые параметры:

$$a^* = 3z_c^2 - 3z_k^2; \quad b^* = (b_1 - r)/4b_4 - 2z_k^2 + 3z_k z_c^2.$$

Переход к канонической форме можно найти в справочнике Корна [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В такой системе имеется критическая точка  $b^* = a^* = \eta = 0$ . Проходя через нее, система превращается из однофазной, потенциальная функция которой (рис. 1 б) имеет один экстремум, в двухфазную и может иметь два минимума.

Показано, что все месячные и квартальные показатели имеют хаотическую динамику, ограниченную тем не менее потенциальными функциями, ко-

торые и проявляют экстремальный характер. Представим потенциальную функцию в виде линии, ограничивающей сосуд, в котором находится «шарик». Этот шарик скатывается в глобальный минимум (рис. 1 а). Возможна трансформация потенциальной функции по годам (рис. 1 б).



**Рис. 1.** Переход к кризису: при хаотической динамике экономическая система скатывается в кризис (а). Трансформация потенциальных функций во времени  $\Phi^*\{\eta, a^*, b^*\}$  (б). Показано развитие кризиса.

К числу недостатков этого метода относится отсутствие в работе алгоритма определения вероятностной функции распределения.

*Второй метод* кратко описан в работе [0]. Он основан на предположении, что любая нелинейная система при наличии малых флуктуаций описывается нормированной потенциальной функцией системы  $\Phi$ , связанной с вероятностной функцией распределения  $g$ , посредством уравнения Фоккера — Планка [8, 9]:

$$\frac{\partial g}{\partial t} = \nabla(g\nabla\Phi) + \nabla^2(Dg), \quad (3)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии. Правая часть уравнения (3) состоит из двух членов — «дрейфа» и «диффузии» подробно описанных в [9]: дрейф заставляет систему двигаться по направлению к ближайшему локальному минимуму; диффузия описывает размах функции распределения вблизи локального минимума и вероятность, с которой любое небольшое возмущение состояния может перевести систему из локального минимума в глобальный.

По известной хаотической траектории движения, восстановленной по временному ряду, можно получить вероятностную функцию распределения (плотность вероятности) [10], исходя при этом из некоторых математических предположений, означающих для экономической системы постоянство внутренней структуры и параметров. Это позволяет для исходного временного ряда заменить усреднение по ансамблю усреднением по времени. Тогда становится возможным восстановление вероятностной функции распределения  $g(x)$ . Диапазон значений временного ряда разбивается на некоторое фиксированное множество интервалов, количество которых много меньше количества выборок значений. На каждом интервале определяется значение функции  $g(x)$ , нормированной на 1. По известной вероятностной функции распределения  $g(x)$ , где  $x = A_{nk}$  — интегральный параметр неравновесия [1], возможно восстановление нормированной на коэффициент диффузии функции потенциала  $F(x)/D$  по решению уравнения (3) в стационарном случае:

$$0 = \nabla(g\nabla\Phi) + \nabla^2(Dg).$$

Отсюда следует выражение для потенциала:

$$\Phi(x) / D = -\ln(g(x) / g_0). \quad (4)$$

Аппроксимация потенциальной функции  $\Phi$  возможна полиномом  $n$  степени, что соответствует элементарным катастрофам (складки, сборки, ласточкиному хвосту и т.п.).

Метод является применимым для анализа нелинейных систем по достаточно длинным временным рядам (реализациям) и реализован в программном продукте [0]. При его применении (в предположении эргодичности процессов, протекающих в исследуемой системе) становится возможным определение реликства и типа точек равновесия системы, а также определение времен релаксации к локальному и глобальному минимумам.

На рис. 2 приведен пример восстановления потенциальной функции данным методом с целью определения состояний локальной и глобальной устойчивости системы промышленного производства Свердловской области с точки зрения рассмотрения экономической безопасности (по индексу промышленного производства, ИПП). Процедура расчета функции распределения была следующей.

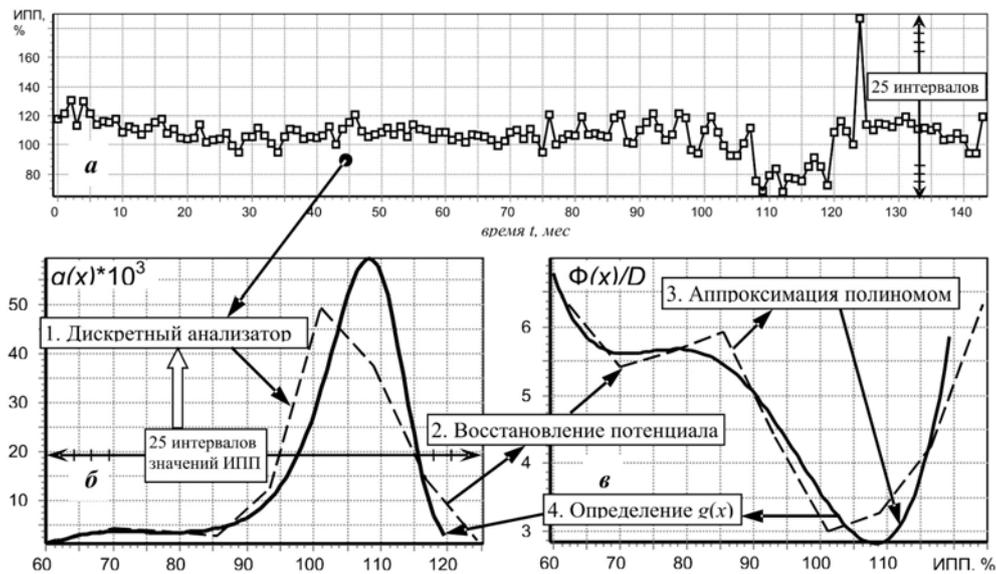
1. Весь диапазон отклонений от средней линии хаотической кривой (рис. 1 а) разбивается на определенное количество интервалов, «компьютерный дискретный анализатор» считает количество значений временного ряда, попавших в каждый интервал. Количество интервалов выбирается за счет обеспечения баланса между наибольшей информативностью получаемой кривой и точностью определяемых значений функции плотности вероятности. Информативность проявляется в отражении всех возможных максимумов и минимумов и растет с увеличением количества интервалов. С другой стороны, точность при этом снижается.

2. По числу значений, попавших в каждый интервал, строилась ненормированная функция распределения, которая затем нормировалась на 1 (рис. 1 б, пунктирная ломаная линия) для определения вероятностей и восстановления потенциальной функции (рис. 1 в, пунктирная ломаная линия). Для приведенных данных оптимальной оказалась величина в 25 интервалов значений ИПП.

3. Затем потенциальная функция аппроксимировалась методом наименьших квадратов гладкой полиномиальной кривой 4-го порядка, согласно уравнению (3) представленной модели (рис. 1 в, гладкая кривая). По ней восстанавливалась гладкая аппроксимация вероятностной функции распределения (рис. 1 б, гладкая кривая), также нормированной на 1.

Наличие двугорбых функций распределения указывает на присутствие двух устойчивых состояний. Очевидно наличие двух устойчивых состояний: одно с повышенной динамикой производства (около 109 % ИПП, вероятность реализации ~91 %), имеющее при этом глобальную устойчивость; другое с пониженной динамикой (около 71 % ИПП, вероятность равна ~9 %).

Результаты такого анализа говорят о позитивном состоянии промышленности за исследуемый период и, как следствие, об отсутствии существенных угроз экономической безопасности из этого сектора экономики. Расчет произведен с помощью специализированного метода программного продукта [0].



**Рис. 2.** Восстановление функции плотности вероятности (б) и нормированной потенциальной функции (в) в рамках уравнения Фоккера — Планка (3) по известной реализации — временному ряду индекса промышленного производства Свердловской области за 2000–2011 гг. (а). Пунктирными линиями показаны результаты работы дискретного анализатора, гладкие кривые соответствуют аппроксимированным полиномом 4-го порядка значениям полученных дискретных функций

*Третий метод* изложен нами кратко в работе [0], которая посвящена анализу выборки показателей, характеризующих экономическую безопасность, и построению потенциальных функций с целью определения кризисности любой сферы жизнедеятельности, характеризуемой выборкой показателей. В ней на основе такого анализа выборки определяется степень кризисности состояний системы в целом. Проблема решается привлечением потенциальных функций, показывающих кризисные состояния всей системы в целом и ее устойчивость. Исследуются следующие характеристики: острота состояния и ее динамика по годам, на основании поведения отдельных показателей; потенциальная функция по годам, показывающая относительную устойчивость состояний экономической безопасности и их трансформацию за исследуемый период. В представленной статье сделан переход от потенциальных функций к вероятностным, что создает основу определения рисков ситуаций. Разработан программный продукт, и проведены численные расчеты для Свердловской области в 2000–2012 гг.

Сначала вводится параметр неравновесия  $n$  — индекс выбранной характеристики для всей совокупности показателей в целом, а величина  $i = 1, 2, \dots, N_n$  — индекс показателя. Здесь  $N_n$  — число используемых показателей в выборке, характеризующее всю анализируемую систему в целом. Пусть  $A_i = \frac{a_i - a_i'}{a_i}$  —

приведенное отклонение каждого показателя от нормы ( $a_i'$ ). В этом случае можно ввести в рассмотрение  $A_{nk}$  — приведенное отклонение параметра состояния от нормы, средневзвешенное по всем показателям (на это указывает индекс  $k$ ). Эта переменная является интегральной средней величиной степени

неравновесия (ИСН). Если  $k_i$  — вклад каждого показателя в формировании кризисов, тогда потенциальная функция имеет вид [0]:

$$\Phi_{nk} = \frac{k_n A_{nk}^2}{2} + \frac{\alpha_n A_{nk}^3}{6} + \frac{\beta_n A_{nk}^4}{24}, \text{ где } A_{nk} = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} k_i A_i}{\sum_{i=1}^{N_n} k_i}. \quad (5)$$

Она необходима для восстановления вероятностной функции распределения и последующего анализа рисков развития всех возможных состояний — устойчивых и неустойчивых в нелинейном полиномиальном приближении. Как и в предыдущем методе потенциальная функция позволяет определить точки устойчивых и неустойчивых равновесий нелинейной системы, связанных с элементарными катастрофами. Здесь параметры  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$ ,  $\gamma_n$  и их знаки находятся из решения системы уравнений при известных значениях переменных  $A_{n1}$ ,  $A_{n2}$ ,  $A_{n3}$ ,  $A_{n4}$ :

$$\begin{cases} k_n + \frac{\alpha_n A_{n2}}{2} + \frac{\beta_n A_{n2}^2}{6} + \frac{\gamma_n A_{n2}^3}{24} = 0 \\ k_n + \frac{\alpha_n A_{n3}}{2} + \frac{\beta_n A_{n3}^2}{6} + \frac{\gamma_n A_{n3}^3}{24} = 0 \\ k_n + \frac{\alpha_n A_{n4}}{2} + \frac{\beta_n A_{n4}^2}{6} + \frac{\gamma_n A_{n4}^3}{24} = 0 \end{cases}.$$

#### Метод определения вероятностной функции распределения

Целью данного исследования является определение рисков развития неблагоприятных (кризисных) экономических ситуаций системы в целом на основе вероятностного анализа выборки показателей. Достижение данной цели возможно исходя из решения уравнения Фоккера — Планка (3) с привлечением потенциальных функций, показывающих кризисные состояния всей системы в целом и их устойчивость [0, 0]. Для примера были установлены показатели, характеризующие экономическую безопасность. Авторами исследуются следующие характеристики экономической системы:

1. Потенциальная функция системы показателей по годам, показывающая относительную устойчивость состояний и их трансформацию за исследуемый период.

2. Вероятностная функция распределения системы показателей по годам, позволяющая наглядно определить вероятность развития состояний и их трансформацию со временем.

3. Риски развития различных устойчивых состояний, определяющиеся вероятностями их реализации.

Далее, следуя работе [0], состояния по безопасности обозначены следующим образом: ПК1 — предкризисное начальное состояние; ПК2 — предкризисное развивающееся состояние; ПК3 — предкризисное критическое состояние; К1 — кризисное нестабильное состояние; К2 — кризисное угрожающее состояние; К3 — кризисное чрезвычайное состояние. Вводились следующие степени кризиса для системы в целом, необходимые нам для получения условий нормировки и определения интервалов интегрирования вероятностной функции распределения:

$A_{nk} = 0$  — предельное состояние нормы (K0);

$0 \leq A_{nk} < 0.5$  — кризисное нестабильное состояние (K1);  
 $0,5 \leq A_{nk} < 1.5$  — кризисное угрожающее состояние (K2),  
 $1,5 \leq A_{nk} \leq 2$  — кризисное чрезвычайное состояние (K3). При его достижении возможен обвал экономики в сторону нерегулируемой наивысшей кризисной ситуации.

С другой стороны данная нелинейная система при наличии малых флуктуаций описывается нормированной потенциальной функцией системы  $\Phi$ , связанной с вероятностной функцией распределения  $g$  посредством уравнения Фоккера — Планка (3). После определения потенциальной функции системы в виде (5) становится возможным восстановление вероятностной функции распределения  $g(A_{nk})$  с целью определения рисков развития всех возможных переходов в состояния K1, K2, K3:

$$g(A_{nk}) = g_0 \cdot e^{-\Phi(A_{nk})/D}. \quad (6)$$

Таким образом, реализуется метод стохастического анализа нелинейных хаотических систем по временному ряду, будущее значение величины для которых в рамках данного метода может быть определено лишь с известной вероятностью.

Применение данного метода (в предположении эргодичности процессов, протекающих в исследуемой экономической системе) делает возможным определение вероятностей перехода и как следствие рисков развития всех возможных переходов в различные состояния равновесия системы.

*Риск — вероятность развития невыгодного сценария перехода к кризису.* Риск может быть определен как вероятность получения экономических потерь при реализации невыгодного сценария эволюции, т.е. перехода к состояниям K1, K2, K3. При этом следует понимать, что существует и «риск получения прибыли», связанный с развитием благоприятного сценария перехода в K0, однако он не связан с классическим пониманием риска, поэтому в рамках данной работы не рассматривался. Для известной вероятностной функции распределения  $g(A_{nk})$  риск  $R_{K2}$  перехода в кризисное угрожающее состояние K2, характеризуемое диапазоном возможных значений  $A_{nk} \in [0,5; 1,5]$ , может быть рассчитан как:

$$R_{K2} = \int_{0,5}^{1,5} g(x) dx. \quad (7)$$

Аналогичным образом могут быть определены риски развития остальных рассматриваемых кризисных состояний K1, K3:

$$R_{K1} = \int_0^{0,5} g(x) dx, \quad R_{K3} = \int_{1,5}^{2,5} g(x) dx. \quad (8)$$

При этом функция  $g(A_{nk})$  должна удовлетворять условиям единичной нормировки:

$$R_0 = R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} = \int_0^{2,5} g(x) dx = 1, \quad (9)$$

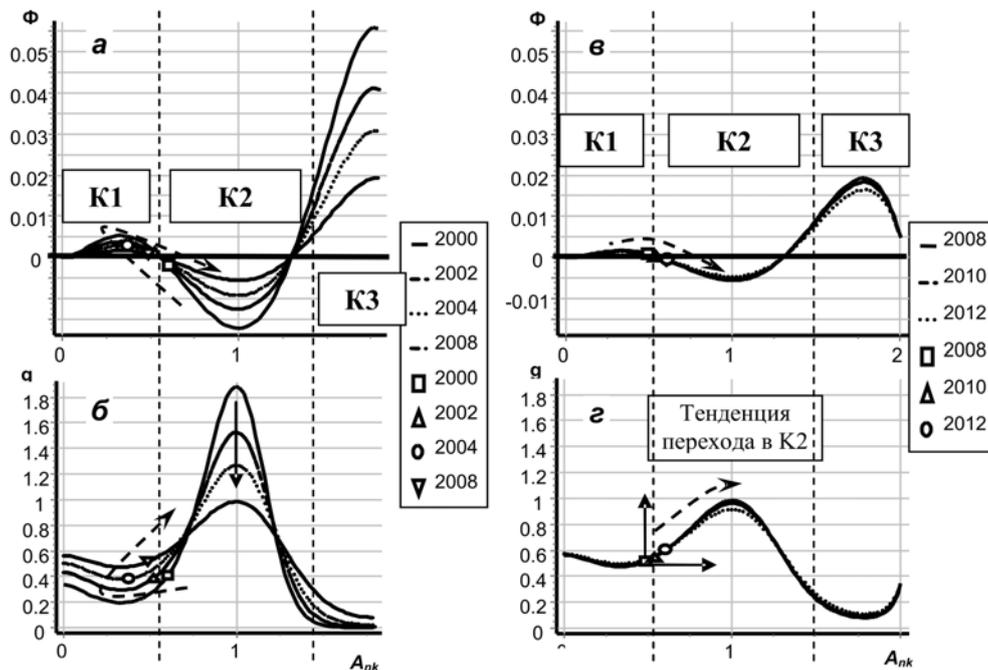
означающим, что сумма вероятностей реализации всех возможных состояний не должна быть больше 1. Исходя из условий нормировки, а также из дополнительных соображений соотношения рисков, оценка которых может быть получена из практики, определяется коэффициент диффузии  $D$ .

На основе представленных приемов нелинейного математического моделирования потенциальных полей таких экономических объектов создан программный продукт.

Повышение благосостояния населения с учетом создания механизмов обеспечения экономической безопасности и предотвращения угроз является одним из приоритетных направлений экономического развития территории. Данная статья направлена на разработку блока информационно-аналитической системы (ИАС) диагностики благосостояния и экономической безопасности территорий России с учетом угроз и сценарного прогнозирования их последствий. ИАС как совокупность технико-методического обеспечения на основе предлагаемых методов нелинейного экономико-математического моделирования и на базе авторского методического аппарата позволяет учесть многовариантность развития, эффективность принятия управленческих решений.

### Результаты численного моделирования

Решение фундаментальной задачи — создание полных нелинейных математических моделей и алгоритмов их исследования, а также разработка унифицированных программных продуктов — позволяет проводить качественный сравнительный анализ всей экономической информации в наглядном геометрическом и топологическом видах, характерных для синергетики и теории катастроф. При этом предполагается, что последнее должно существенно облегчить работу пользователей (экспертов, экономистов предприятий).

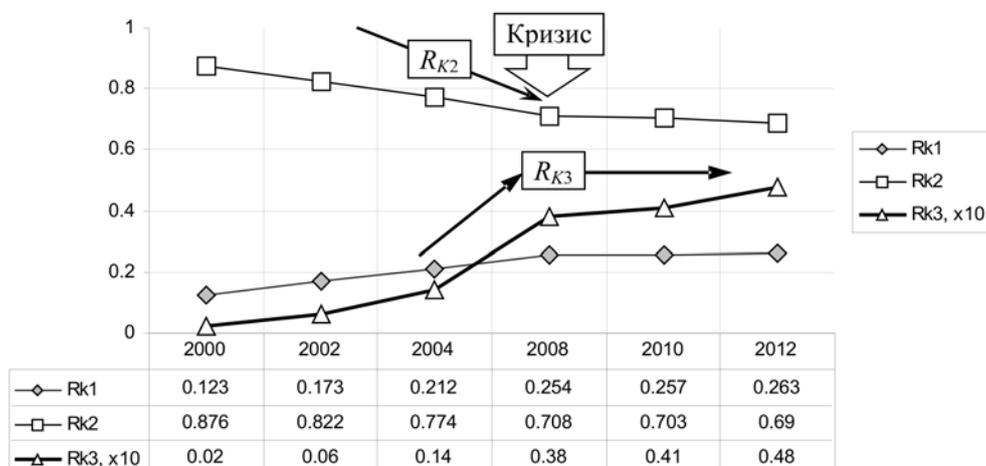


**Рис. 3.** Зависимость потенциальной функции  $\Phi(A_{nk})$  от параметров неравновесия (см. работу [1]); а) и соответствующей ей восстановленной вероятностной функции распределения  $g$  б) до кризиса и после — в) и г) соответственно при  $D = 0,01$  в интервале нормировки:  $[0; 1,8]$ . Точками обозначены значения потенциала (а, в) или плотности вероятности (б, г), соответствующие средним интегральным значениям параметров неравновесия  $A_{nk}$  за определенный год. Стрелками показана их временная эволюция (см., например, г)

На рис. 3 представлены результаты численного моделирования потенциальных функций и восстановленных по ним вероятностных функций распределения по данным экономической безопасности Свердловской области за период с 2000 по 2008 гг. (потенциальные функции по годам и их трансформация приведены в [1]). Риски определены согласно выражениям (7) и (8) как вероятности реализации соответствующих состояний по исходным данным экономической безопасности, взятым из работы [0].

Как видно из рис. 3 а, для каждого года потенциальная функция имеет два устойчивых состояния, соответствующих нормальному:  $K_0$  и  $K_2$ , а также два неустойчивых —  $K_1$  и  $K_3$ . В соответствии с приведенными выше выражениями (6)–(9) для этих потенциальных функций определены риски перехода ко всем кризисным состояниям системы для нескольких временных выборок, динамика которых во времени показана на рис. 4.

Как видно из анализа рис. 3 б и приведенных на рис. 4 значений рисков, после 2004 г. к 2008 г. (см. рис. 3 в) существенно возрастает риск  $R_{K_3}$  перехода в кризисное чрезвычайное состояние  $K_3$ , значение которого сохраняется и по прошествии кризиса вплоть до 2012 г. При этом риск  $R_{K_2}$  развития устойчивого кризисного состояния  $K_2$  падает уже после 2004 г., что также означает начало перехода к кризису. После 2008 г. падает темп уменьшения риска развития кризисного угрожающего состояния  $K_2$ . Этот факт косвенно свидетельствует о постепенном выходе из кризиса, однако в целом, очевидно, ситуация существенно не меняется, что может говорить о необходимости поиска дополнительных путей управления рисками для вывода системы в нормальное состояние вплоть до 2012 г. и далее.



**Рис. 4.** Временная эволюция значений рисков развития кризисных состояний до кризиса 2008–2009 гг. и после него.  $R_{K_1}$  — риск развития кризисного нестабильного состояния;  $R_{K_2}$  — кризисного угрожающего состояния;  $R_{K_3}$  — кризисного чрезвычайного состояния (для сравнения динамики приведена десятикратная величина)

Коэффициент диффузии  $D = 0,01$  и скорректированный по максимуму потенциала интервал нормировки  $[0; 1,8]$  определены исходя из положения максимума потенциала, соответствующего  $K_3$ , согласно условию (9).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чичканов В.П., Быстрай Г.П., Никулина Н.Л., Лыков И.А. Нелинейный анализ кризисности состояний экономической безопасности региона // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН. — 2014. — № 3. — С. 74–84.
2. Быстрай Г.П. Методы синергетики в анализе структурных сдвигов в промышленности: разработка унифицированных моделей и алгоритмов анализа устойчивости текущих состояний в условиях внешнего и внутреннего управления // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН. — 2003. — № 2. — С. 71–88.
3. Климонтович Ю.Л. Проблемы статистической теории открытых систем — относительная степень упорядоченности в процессах самоорганизации // Успехи физ. наук. — 1989. — № 158. — С. 59–91.
4. Bystray G. P., Kuklin A. A., Lykov I. A., Nikulina N. L. Synergetic method of a quantitative forecasting of economic times series // Economy of Region, 4, 2013. PP. 250–259.
5. Анимца Е.Г., Быстрай П.Г., Быстрай Г.П. Математическое и программное обеспечение синергетического анализа состояния отраслей промышленности региона // Региональная экономика и региональная политика: сб. науч. тр. / Урал. гос. экон. ун-т. — Екатеринбург, 1997. — С. 27–36.
6. Быстрай Г.П., Лыков И.А. Оценка рисков, нелинейный анализ и прогнозирование длинных временных рядов экономических показателей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2012615414. Роспатент. Зарегистрировано 15 июня 2012.
7. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. — М.: Наука. 1990. — Т. 1. — 350 с. Т.2. — 287 с.
8. Николис Дж. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление: Пер. с англ. / Предисл. Б.Б. Кадомцева. — М.: Мир, 1989. — 488 с.
9. Белоцерковский О.М., Быстрай Г.П., Цибульский В.Р. Экономическая синергетика. Вопросы устойчивости. — Новосибирск: Наука, 2006. — 116 с.
10. Лыков И.А., Быстрай Г.П. Алгоритм восстановления потенциальной функции по единственной реализации // Междунар. конф. «Теория вероятностей и ее приложения», посвященная 100-летию со дня рождения Б.В. Гнеденко (Москва, 26–30 июня 2012 года). Тез. докл. / Под ред. А.Н. Ширяева, А.В. Лебедева. — М.: ЛЕНАНД, 2012. — С. 375.
11. Быстрай Г.П. Термодинамика необратимых процессов в открытых системах. — М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. — 264 с.
12. Серков Л.А. Синергетическое моделирование экономического роста с учетом слияний и поглощений компаний // Вестн. Челяб. гос. ун-та. — 2009. — № 9. — С. 113–117.
13. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1973. — 831 с.

*Екатеринбург, Уральский федеральный университет*  
gennadii.bystrai@usu.ru  
john-winner@yandex.ru

G.P. Bystrai, I.A. Lykov

### *Determination of probabilities of economic crisis states in the region as part of the non-linear approach*

*Based on the analysis of economic security indicators sample the crisis potential of the system as a whole is determined. Within the framework of Fokker-Planck equation for the crisis potential the probability distribution function being restored. Using a probability distribution function the economic security states in the Sverdlovsk region and their time evolution between 2000 and 2012 are assessed. The risks of crisis situations development for investigated period, which were received on the basis of the developed software, are given.*

***Economic security, region welfare, nonlinear analysis, probability distribution function, risk, potential function, stability, computer modeling.***