

В. П. Чичканов, Г. П. Быстрой, Н. Л. Никулина, И. А. Лыков

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ КРИЗИСНОСТИ В РАМКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА¹

На основе анализа выборки основных показателей социально-экономической деятельности региона в рамках созданной нелинейной математической модели определяется степень кризисности, характеризующая экономическую безопасность региона в целом. Проблема решается с привлечением функций, указывающих на наличие определённых типов кризисных состояний всей системы и, как следствие, на ее устойчивость. Исследуются следующие синергетические характеристики: острота состояния и ее динамика по годам; потенциальные функции по годам, показывающие относительную устойчивость состояний региональной экономики и их трансформацию за исследуемый период. Разработан программный продукт, и проведены численные расчеты для Свердловской области в 2000–2012 гг.

Экономическая безопасность, ВРП, степень кризисности, нелинейный анализ, потенциальная функция, устойчивость, острота состояния, численное моделирование.

Введение

В настоящее время в рамках исследования экономической безопасности региона продолжают поиски источников его устойчивого и ускоренного развития как социально-экономической системы. При этом обеспечение устойчивого состояния экономики, характеризующегося нулевой степенью кризисности, является одним из главных критериев поддержания экономической безопасности региона.

Вопросы устойчивости являются одними из центральных вопросов науки, изучающей динамику саморазвития нелинейных систем — синергетики. Среди новых идей и представлений, которые внесла синергетика в понимание развития, выделяют представление о кооперативных эффектах, определяющих воссоздание целостности системы и концепцию динамического хаоса, раскрывающую механизмы становления новых уровней организации.

Значительный вклад в теорию саморазвивающихся систем внесли зарубежные и российские ученые, работы которых привели к радикальному пересмотру представлений о сущности саморазвивающихся систем. Интенсификация исследований саморазвивающихся систем (Л. Берталанфи [1], А. Богданов [2], Ю. Климонтович [3], Е. Князева [4], Б. Кузнецов [5], С. Курдюмов [4], В. Макаров [6], Н. Моисеев [7], Г. Поваров [8], И. Пригожин [9–11], П. Самуэльсон [12], Р. Солоу [12], Г. Хакен [13], М. Эйген [14] и др.) привела к формированию отдельного научного направления, которое в Европе принято называть синергетикой, а в Америке — нелинейной динамикой или наукой о сложности. Пионерские идеи в области исследования сложных нелинейных систем принадлежат Л. Климонтовичу [3], С. Курдюмову [4], Б. Кузнецову [5], Г. Малинецкому [15], Н. Моисееву [7], И. Пригожину [9–11], А. Тьюрингу [16], Г. Хакену [13], М. Эйгену [14] и др.

Выигрышными выглядят приложения нелинейной динамики к решению близких по духу естественнонаучных задач (Г. Быстрой [17], С. Охотников [17])

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФНФ, проект №13-02-00264а «Синергетическая диагностика кризисных явлений в экономике регионов Российской Федерации».

и задач экономики (О. Белоцерковский [18], В. Цибульский [18], А. Куклин [19], Н. Никулина [17], И. Лыков [17]). Общие проблемы социально-экономического развития региона затронуты в монографии С. Г. Симонова с коллегами [0].

Идея нелинейности — это переход к новому этапу в познании сложных систем и процессов [20], характеризующемуся возможностью рассмотрения нескольких состояний с разным типом устойчивости.

С целью определения устойчивости (локальной или глобальной) состояний региональной экономики (Д. Чернавский [21]) возможно применение методов нелинейной динамики, среди которых можно выделить построение неравновесных потенциальных функций.

Разным состояниям общества соответствуют разные аттракторы — зоны притяжения фазовых траекторий. При этом изменение параметров (описывающих доступные ресурсы, эффективность используемых технологий, экономические отношения в обществе) может привести к изменению числа таких состояний или их устойчивости. Сама же смена аттракторов получила название «бифуркация».

1. Исходные данные

В исследовании авторы рассматривают большую экономическую систему, предполагая для упрощения, что она характеризуется 13 сферами социально-экономической деятельности (демография, финансы, транспорт, внешнеэкономическая деятельность и т.д.) в разрезе субъектов Российской Федерации. Минимальное ограничение числа исследуемых сфер объясняется ограниченными возможностями разработанного программного продукта, который может проводить анализ одновременно по произвольной выборке из 13 любых показателей. Поэтому для анализа экономической безопасности были выделены существенные на взгляд постановщиков задачи сферы.

Показатели (табл. 1), в совокупности характеризующие социально-экономическое состояние исследуемой региональной системы, разбиваются поинтервально (табл. 2). Анализ проводился только по известным на 2014 г. статистическим данным. Каждый из интервалов характеризует различную степень кризисности (например, предкризис, кризис и т.д.) [22]. По аналогии с работой [24] по отклонению показателя от нормы вводится степень остроты состояния. В линейной модели острота состояния линейно растет с увеличением параметра неравновесия, в нелинейной — она отклоняется в большую или меньшую сторону.

Таблица 1

Показатели, характеризующие степень кризисности в рамках экономической безопасности Свердловской области*

Показатель	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Отношение объема инвестиций к ВРП, %	16,6	15,1	17,4	18,9	20,8	19,1	20,4	22,8	26,3	24,3	25,5	26,3	26,9
Степень износа основных производственных фондов (на конец года), %	47,6	50,3	56,1	45,1	49	51,7	52,9	53,1	53,3	53,3	54,6	54,8	55,2
Доля инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции, %	3,8	4,8	3,8	2,3	7,9	10,1	8,3	8,1	7,	8,	5,8	5,8	4,1
Отношение экспорта продукции территории к ВРП, %	50,1	42,5	41,1	35,6	38,9	35,8	32,1	28,9	27,6	22,7	26,2	21,1	4,21
Индекс потребительских цен, %	124	120	114	111	111	112	109	113	115	109	110	106	107
Энергоемкость валового регионального продукта, г у.т./руб.	243	223	197	190	165	142	112	105	111	119	112	103	115
Уровень общей безработицы, %	10,0	7,8	8,5	7,6	7,3	6,7	7,0	5,3	4,8	8,3	8,5	7,3	5,8

Окончание т а б л . 1

Показатель	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума, %	28,8	27,7	24,3	17,8	15,3	12,8	12,3	10,6	10,8	11,	10,3	10,5	8,6
Коэффициент естественного прироста населения, на 1000 человек населения	-8,1	-7,0	-7,2	-6,9	-5,9	-6,2	-4,6	-3,2	-2,3	-1,5	-0,9	-0,6	0,3
Количество зарегистрированных преступлений, случаев на 1000 чел. населения	2558	2673	2015	2397	2704	3501	3637	3234	2773	2588	2244	1798	1659
Степень обеспеченности основными продуктами питания собственного производства, %	59,6	66,9	63,4	62,8	58,1	65,3	66,8	58,3	55,7	61,4	53,8	66,8	55,9
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (км дорог на 1000 км ² территории)	54	54	55	55	56	56	57	58	61	61	62	66	93
Отношение расходов на охрану окружающей природной среды к ВРП, %	3,97	3,68	3,62	3,39	2,97	1,78	1,45	1,42	1,79	1,48	1,25	1,16	1,08

* Составлено по данным Росстата и расчетам авторов.

Цель исследования заключается в том, чтобы определить на основе анализа выборки показателей степень кризисности экономической системы как главный критерий экономической безопасности. Проблема решается с привлечением функций, показывающих кризисные состояния системы в целом и их устойчивость. Впервые эта проблема была поставлена и решалась в работе [24] при анализе устойчивости состояний отраслей промышленности.

Т а б л и ц а 2

Пороговые значения показателей степени кризисности [22]

Показатель	Пороговые значения					
	ПК1	ПК2	ПК3	К1	К2	К3
Отношение объема инвестиций к ВРП, %	24	20,67	17,33	14	10	6
Степень износа основных производственных фондов (на конец года), %	40	45	50	55	61	67
Доля инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции, %	9	8,33	7,67	7	6,2	5,4
Отношение экспорта продукции территории к ВРП, %	30	26	22	18	13,2	8,4
Индекс потребительских цен, %	106,5	111	115,5	120	125,4	130,8
Энергоемкость валового регионального продукта, г у.т./руб.	120	160	200	240	288	336
Уровень общей безработицы, %	5,8	7,53	9,27	11	13,08	15,16
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума, %	8	11	14	17	20,8	24,2
Коэффициент естественного прироста населения, на 1000 человек населения	0	-2	-4	-6	-8,4	-10,8
Количество зарегистрированных преступлений, случаев на 1000 человек населения	1400	1600	1800	2000	2240	2480
Степень обеспеченности основными продуктами питания собственного производства, %	50	45	40	35	29	23
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (км дорог на 1000 кв. км территории)	140	116,67	93,33	70	42	14
Отношение расходов на охрану окружающей природной среды к ВРП, %	2,3	1,9	1,5	1,1	0,7	0,3

Авторами исследуются следующие синергетические характеристики экономической системы:

1. Острота состояния всей системы в целом и ее динамика по годам, основываясь на поведении отдельных показателей.

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

Степень кризисности. Обозначение состояний по безопасности (табл. 2): ПК1 — предкризисное начальное состояние; ПК2 — предкризисное развивающееся состояние; ПК3 — предкризисное критическое состояние; К1 — кризисное нестабильное состояние; К2 — кризисное угрожающее состояние; К3 — кризисное чрезвычайное состояние.

2. Математическая модель

Рассмотрим математическую модель, позволяющую определить указанные выше характеристики.

Параметр неравновесия. Если i — индекс показателя, то n относит выбранную характеристику для всей совокупности показателей в целом

$$i = 1, 2, \dots, N_n,$$

здесь N_n — число используемых показателей в выборке, характеризующее всю анализируемую систему в целом. Пусть A_i — приведенное отклонение каждого показателя от нормы:

$$A_i = (a - a_i) / a_i.$$

Тогда A_{nk} — приведенное отклонение состояния экономики территории в целом от нормы, средневзвешенное по всем показателям (на это указывает индекс k):

$$A_{nk} = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} k_i A_i}{\sum_{i=1}^{N_n} k_i}.$$

Назовем эту переменную интегральной средней величиной степени неравновесия (ИСН), здесь k_i — вклад каждого показателя в формирование кризисов.

Острота состояния [23, 24]. Вводится C_n — интегральный показатель степени остроты состояния по территории (региону) в целом [18]. В линейном виде вводится так:

$$C_n^{\text{Л}} = k_n A_{nk}, \text{ где } k_n = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} k_i.$$

Под остротой состояния понимается, таким образом, математическая величина, нормированное значение которой пропорционально величине отклонения от положения устойчивого равновесия региональной экономической системы, характеризующего экономическую безопасность исследуемой территории в целом. Величина C_n нормирована таким образом, что ее значение можно сопоставить определенным состояниям отклонения от нормы («нормы хаотичности» по Ю. Климонтовичу [0]). Этим самым предполагается, что острота состояний экономики в целом при незначительных отклонениях от равновесия линейно растет с ростом параметра неравновесия. При нелинейном развитии острота состояний является более сложной функцией степени не-

равновесия: она пересекает прямую линию в нескольких точках [24]. В этом случае острота состояния определяется согласно следующему выражению:

$$C_n^{\text{Л}} = \frac{\alpha_n A_{nk}^2}{2} + \frac{\beta_n A_{nk}^3}{6} + \frac{\gamma_n A_{nk}^4}{24}.$$

Потенциальная функция [18, 24], которая необходима для анализа всех возможных состояний — устойчивых и неустойчивых, в нелинейном полиномиальном приближении имеет вид:

$$\Phi_{nk} = \frac{k_n A_{nk}^2}{2} + \frac{\alpha_n A_{nk}^3}{6} + \frac{\beta_n A_{nk}^4}{24}.$$

Определение неизвестных параметров остроты состояния и потенциальной функции. Параметры α_n , β_n , γ_n и их знаки находятся из решения системы уравнений при известных значениях переменных $A_{n1}, A_{n2}, A_{n3}, A_{n4}$:

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

Вводятся следующие степени кризиса для системы в целом: $A_{nk} = 0$ — предельное состояние нормы (K_n0); $0,6 < A_{nk} < 1$ — кризисное нестабильное состояние (K_n1); $A_{nk} \approx 1$ — кризисное угрожающее состояние (K_n2); $1,3 < A_{nk} \leq 2$ — кризисное чрезвычайное состояние (K_n3). При его достижении возможен обвал экономики в сторону нерегулируемой наивысшей кризисной ситуации.

Алгоритм обработки статистических данных. На основе нелинейного моделирования потенциальных полей таких объектов, отражающих количество и тип их устойчивых состояний, создан программный продукт.

Алгоритм обработки статистических данных представлен на рис. 1. При предварительных расчетах принимались одинаковыми вклады каждого показателя в систему ЭБ (одинаковые k_i , $i = 1, 2, \dots, N_n$).

3. Состояние кризисности экономики Свердловской области за период 2000–2008 гг.

Острота состояния, определенная на основании обработки статистических данных, представлена на графике (рис. 2). Здесь взяты предкризисные годы (с 2000 по 2008 гг., в следующем параграфе будет дан анализ ЭБ в посткризисные годы).

Для таких показателей, как «отношение объёма инвестиций к ВРП», «отношение экспорта продукции территории к ВРП», «энергоёмкость ВРП» и «отношение расходов на охрану окружающей среды к ВРП» в качестве k_i брались отношения ВРП за 2000 г. к ВРП за текущий год, т.е. $k_i \sim 1/\text{ВРП}$. Для всех остальных показателей брались значения $k_i = 0.1$.

При нелинейном развитии острота состояний в рассматриваемом временном периоде является сложной функцией степени неравновесия (рис. 2): она пересекает прямую линию, которая соответствует линейному приближению, в нескольких точках.



Рис. 1. Алгоритм обработки статистических данных

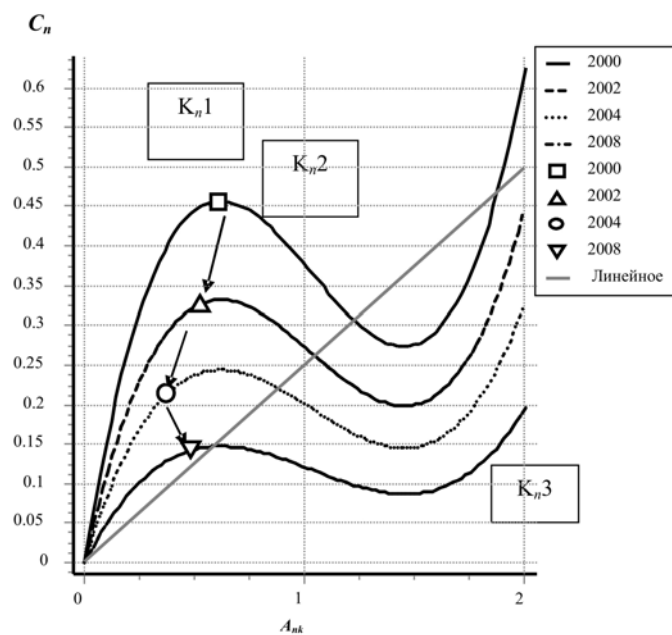


Рис. 2. Зависимость остроты состояния системы показателей в целом от параметра неравновесия A_{nk} (Свердловская область, 2000–2008 гг.)

Тем самым для всей совокупности показателей — всей рассматриваемой системы в целом создаются условия идентификации всех основных состояний экономической безопасности. Вводятся блочные обозначения степени кризисности: состояние нормы K_{n0} , кризисное нестабильное состояние K_{n1} ; кризисное угрожающее состояние K_{n2} ; кризисное чрезвычайное состояние K_{n3} .

На рисунке указаны функции остроты состояния на каждый рассматриваемый год. Значки на функциях, во-первых, указывают на интегральную **среднюю** величину степени неравновесия A_{nk} (ИСН) и степень остроты состояния S_n для каждого года. Прямая линия соответствует **линейному** развитию системы. Стрелками может быть отмечена эволюция по годам как интегрального показателя степени остроты состояния, так и A_{nk} . Прямой линии соответствует квадратичная потенциальная функция: $\Phi_{nk} = k_n A_{nk}^2 / 2$. Это парабола, исходящая из начала координат (рис. 3). Предельным отклонениям от равновесия соответствует ветвь параболы.

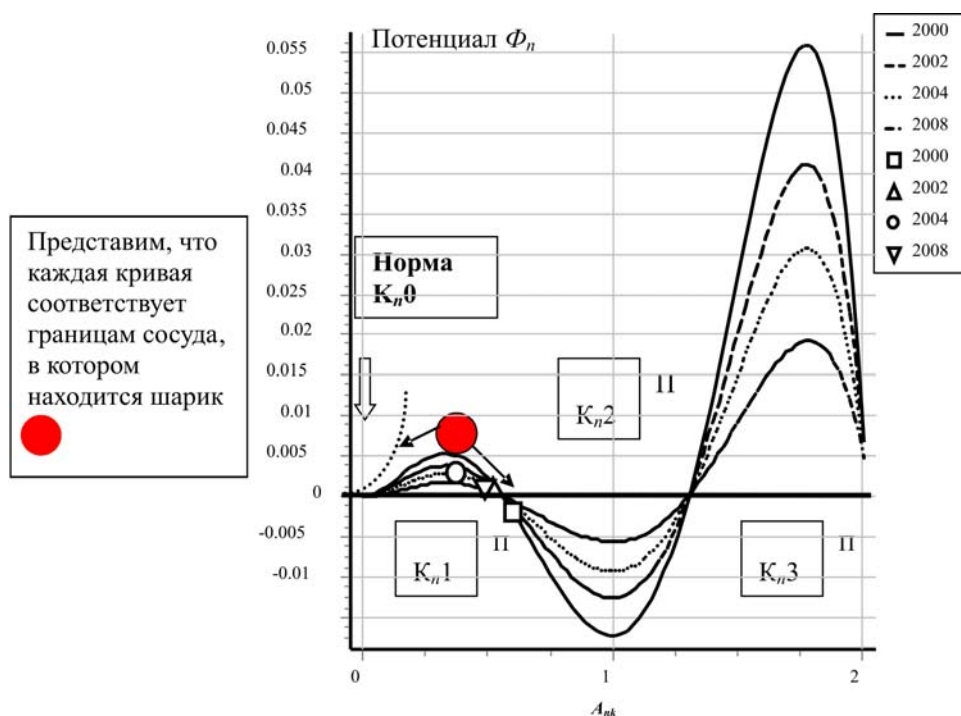


Рис. 3. Потенциальная функция Φ_n кластерных состояний рассматриваемой системы по группе показателей ($l = 1, 2, \dots, N_n$) для Свердловской области 2000–2008 гг. в зависимости от степени неравновесия:

A_{nk} — отклонение состояния экономики территории в целом от нормы, здесь индекс k указывает на то, что характеристика является средневзвешенной; ветвь параболы (штриховая линия) в начале координат соответствует нормальному устойчивому состоянию

Это состояние нормы, так как малое отклонение заканчивается всегда возвратом к началу координат. Каждая кривая на рис. 3 соответствует одному году. Для каждой кривой также приводится точка со средними значениями интегрального показателя степени остроты состояния и средневзвешенного параметра неравновесия A_{nk} . Из рисунка 3 можно сделать вывод, что степень

остроты состояния C_n и интегральный параметр неравновесия A_{nk} системы ЭБ в целом со временем уменьшались вплоть до 2008 г.

При всех состояниях неравновесия $A_{nk}=0$ потенциал минимален (рис. 3) и имеет нулевое значение – это предельное состояние нормы [23].

Минимумы потенциала соответствуют **устойчивым** состояниям, максимумы — **неустойчивым** состояниям. Движение ИСН к норме в теории открытых систем принято называть самоорганизацией (положительная тенденция). Движение ИСН в сторону увеличения степени неравновесия – деградация. Все ИСН располагаются для экономической безопасности в целом в области K_n1 , которое называется кризисным нестабильным состоянием. С увеличением глубины ниши устойчивость состояния возрастает. Есть минимумы локальные и глобальные. Движение к локальному минимуму называется дрейфом [25]. Движение к глобальному — диффузией.

Если из всех минимумов состояние нормы минимально — то это состояние из всех возможных является самым устойчивым. Если минимально K_n2 , то оно является определяющим для системы.

Каждый интервал может находиться как в устойчивой, так и в неустойчивой точке, меняться со временем. Устойчивость характеризуется, таким образом, минимумом, рисуемым в окне потенциальной функции с нанесенной точкой. Каждый показатель может находиться или на дне, или на максимуме, или в переходной области. Это также говорит о возможности его ухода в более или менее сильный кризис.

Неустойчивость характеризуется максимумом потенциальной функции. Это значение может также находиться в переходной области, что соответствует метастабильному (малоустойчивому) состоянию экономической системы. Переход к высокой степени кризисности сдерживается выпуклой частью потенциальной функции, высота которой указывает на существование барьера. В этом проявляются защитные функции самой сложившейся системы экономической безопасности. В то же время переход в малую область кризисности (норму) характеризуется малой величиной барьера. Последний переход более вероятен, чем первый.

4. Состояние кризисности экономики Свердловской области за период 2008–2012 гг.

Острота состояния ЭБ и потенциальная функция в послекризисный период 2008–2012 гг. представлена на рис. 4 и 5 соответственно.

Из совместного анализа графиков в предкризисные (рис. 2, 3) и послекризисные (2008–2012 гг.) годы могут быть сделаны следующие выводы:

1. В годы после кризиса состояние ЭБ в Свердловской области в целом сохранилось на уровне 2008 года; существенного улучшения ЭБ не произошло.

2. Высота барьера H_{2-1} перехода из *кризисного нестабильного состояния* в состояние нормы практически не изменилась.

3. Высота барьера H_{2-3} перехода в *кризисное чрезвычайное состояние* (K_n3) со временем уменьшилась с $(0.055 + |0.2|)$ относительных единиц в 2000 г. до $(0.016 + 0.005)$ в 2012 (рис. 3 и 5).

4. Из сравнения кривых за 2008 и 2012 гг. интегральная острота состояния незначительно уменьшилась, но параметр неравновесия A_{nk} увеличился. В эти годы, по-видимому, формировалась тревожная тенденция, согласно рис. 5, уйти в аттрактор *кризисного угрожающего состояния* (K_n2), для которого $A_{nk} \approx 1$. Этому способствует уменьшение высоты барьера H_{2-3} . Движение к

безкризисному состоянию возможно только, когда параметр неравновесия начнет уменьшаться.

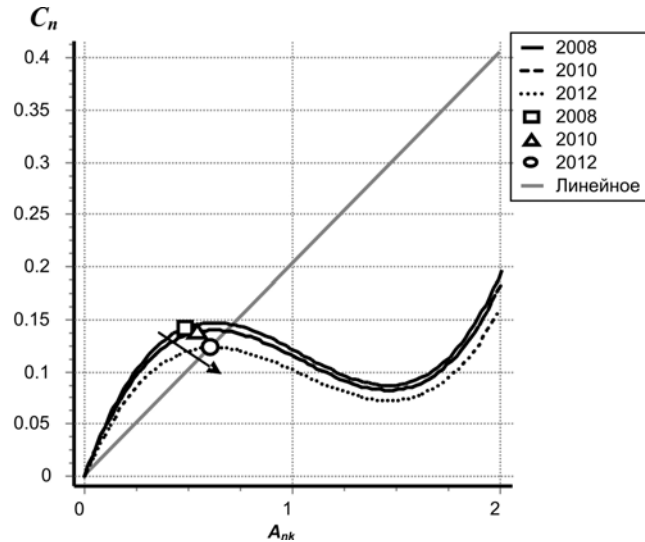


Рис. 4. Зависимость остроты состояния системы показателей в целом от параметра неравновесия A_{nk} (Свердловская область, 2008–2012 гг.)

Анализ по данным за 2013–2014 гг. по описываемой методике [26] будет в последующем продолжен с включением других сфер социально-экономической деятельности на уровне региона и расширен с учётом вероятностных характеристик положений равновесия.

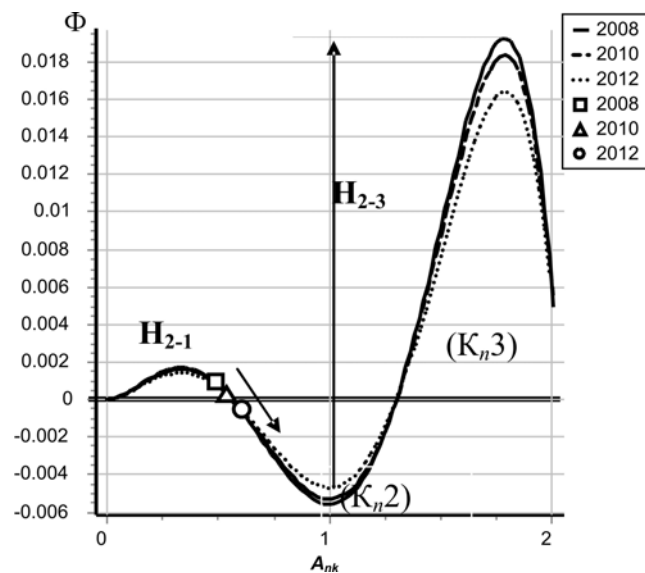


Рис. 5. Потенциальная функция Φ_n кластерных состояний рассматриваемой системы по группе показателей ($l = 1, 2, \dots, N_n$) для Свердловской области в зависимости от степени неравновесия (Свердловская область, 2008–2012 гг.)

5. Обсуждение результатов

Программный продукт позволяет анализировать эволюцию остроты состояния кризисности вплоть до текущего момента времени, величины и направление необходимых управляющих воздействий по величине и положению потенциальных барьеров, а также на основе анализа временной эволюции этих данных, прогнозировать развитие ситуации по всему комплексу основных экономических показателей и в целом объекта исследования.

Текущее социально-экономическое состояние отражается точкой по синергетическим потенциальным функциям, характеризующей отклонение от нормы и описывающей степени развития кризиса как по отдельным индикаторам, так и по их определенным выборкам.

Данные результаты соответствуют одинаковому вкладу каждого показателя в систему ЭБ (одинаковые k_i). Тем не менее при численных расчетах можно вводить экспертную оценку различным вкладам каждого показателя – различным k_i .

Дальнейшее совершенствование методики будет направлено на определение риска попадания в неустойчивую область и движение к предельной области, а также оценку ущерба от этого события. Известно [26], что каждому потенциалу может быть сопоставлена функция распределения, построив которую можно определить вероятности перехода и все возможные риски. Благодаря этому можно будет прогнозировать развитие ситуации по всему комплексу основных экономических показателей и в целом объекта исследования.

Программный продукт будет дополнен при наличии достаточного количества точек расчетом корреляций/взаимодействий одной сферы жизнедеятельности с другой. Представляет интерес также исследование ЭБ после 2012 г.

Авторы признательны доктору социологических наук С.Г. Симонову за обсуждение работы и сделанные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем — обзор проблем и результатов // Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, 1969. С. 30–54.
2. *Богданов А.А.* Тектология. Всеобщая организационная наука. М.: Финансы, 2003. 496 с.
3. *Климонтович Ю.Л.* Проблемы статистической теории открытых систем — относительная степень упорядоченности в процессах самоорганизации // Успехи физ. наук. 1989. № 158. С. 59–91.
4. *Князева Е.Н.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. М.: Наука, 1994. 238 с.
5. *Кузнецов Б.Л.* Введение в экономическую синергетику. Набережные Челны: КамПИ, 1999. 403 с.
6. *Макаров В.Л.* Состояние равновесия замкнутой линейной модели расширяющейся экономики // Экономика и математические методы. 1965. № 5.
7. *Алгоритмы развития* / Н.Н. Моисеев; АН СССР. М.: Наука, 1987. 302, [2] с.
8. *Поваров Г.Н.* Об уровнях сложности систем // Методологические проблемы кибернетики: материалы к Всесоюзн. конф. М.: МГУ, 1970. Т. 2. С. 176–179.
9. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: ИЛ, 1960. 150 с.
10. *Гленсдорф П.* Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. М.: Мир, 1973. 280 с.
11. *Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / И. Пригожин, Г. Николис. М.: Мир, 1979. 512 с.

12. Dorfman R., Samuelson P.A. and Solow R.M. Linear Programming and Economic Analysis, New York: McGrawHill. 1958. 527 p.
13. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
14. Эйзен М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 214 с.
15. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд. 6-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 312 с.
16. Turing A.M. Systems of logic based on ordinals // Proc. London Math. Soc, 1939. S. 2-45 (1). pp. 161–228.
17. Быстрай Г.П. Методы нелинейной динамики в анализе и прогнозировании экономических систем регионального уровня / Г.П. Быстрай, Л.А. Коршунов, И.А. Лыков, Н.Л. Никулина, С.А. Охотников // Журнал экономической теории. 2010. № 3. С. 104–114.
18. Белоцерковский О.М. Экономическая синергетика. Вопросы устойчивости / О.М. Белоцерковский, Г.П. Быстрай, В.Р. Цибульский. Новосибирск: Наука, 2006. 116 с.
19. Bystray G.P. Synergetic method of a quantitative forecasting of economic times series / G.P. Bystray, A.A. Kuklin, I.A. Lykov, N.L. Nikulina // Экономика региона. 2013. № 4. С. 250–259.
20. Галонов-Грехов А.В. Нелинейная физика. Стохастичность и структуры / А.В. Галонов-Грехов, М.И. Рабинович // Физика XX века. Развитие и перспективы. М.: Наука, 1984. С. 219–280.
21. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации). М.: Едиториал УРСС, 2004. 288 с.
22. Комплексная методика диагностики экономической безопасности территориальных образований РФ. Ч. 1, 2: Методические положения диагностики экономической безопасности территорий регионального уровня. Пороговые уровни индикаторов экономической безопасности территорий регионального уровня / А.И. Татаркин [и др.]. Препр. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2001.
23. Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем // Соровский образовательный журнал. 1996. № 8. С. 109–116.
24. Анимица Е.Г. Математическое и программное обеспечение синергетического анализа состояния отраслей промышленности региона / Е.Г. Анимица, Г.П. Быстрай, Г.П. Быстрай // Региональная экономика и региональная политика: сб. науч. тр. / Урал. гос. экон. ун-т. Екатеринбург, 1997. С. 27–36.
25. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. М.: Мир, 1984. Т. 1., 350 с.; Т. 2., 285 с.
26. Быстрай Г.П., Лыков И.А. Оценка рисков, нелинейный анализ и прогнозирование длинных временных рядов экономических показателей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. N2012615414. Роспатент. 15 июня 2012.
27. Симонов С.Г. Актуальные проблемы социально-экономического развития региона (на материалах Павлодарской области). Монография / С.Г. Симонов, В.П. Шеломенцева, А.С. Нарынбаева. Павлодар: ИНЕУ, 2014. 304 с.

Chichkanov V.P., Bystray G.P., Nikulina N.L., Lykov I.A.

NONLINEAR ANALYSIS OF CRISIS STATE OF ECONOMIC SECURITY IN THE REGION

Based on the analysis of a sample of primary indicators of regional social-economic activity within the framework of the nonlinear mathematical model created the degree of crisis, characterizing economic security in general, is determined. The problem is solved by the functions that indicate the presence definite types of crisis conditions of the whole system and, consequently, on its stability. The following synergistic characteristics are studied: visual status and its dynamics data; potential functions of the data, showing the relative stability of regional economics states and their transformation during the analyzed period. The software is developed and numerical calculations for the Sverdlovsk region in the period of 2000-2012 are carried out.

Economic security, GRP, the crisis degree, nonlinear analysis, the potential function, stability, severity of the condition, numerical modeling.