УДК 330.4

А. И. БОРОДИН
Доктор экон. наук, профессор департамента финансов факультета экономических наук НИУ «Высшая школа экономики». Область научных интересов: региональная экономика, бухгалтерский учет, бюджетирование, экономика фирмы, финансы организаций.

E-mail: *aib-2004@yandex.ru*

Состояние глобальной экосистемы приближается к критическому уровню, что отражается на социально-экономическом развитии общества. На современном этапе предметом изучения экономики и финансов должен стать анализ мира, для которого характерно нестационарное поведение, социально-экономические и экологические кризисы, связанные с нелинейностью и многомерностью социально-экономических систем. В статье построен комплекс моделей катастроф глобального социально-экономического развития. Для проведения анализа выбрана методология синергетики, которая основывается на теории самоорганизации и коэволюции сложных систем. Рассмотрен инструментарий моделирования неустойчивости развития социально-экономических систем, концептуально-методологической основой которого является теория катастроф. Предложен алгоритм и построен комплекс моделей, позволяющий исследовать тип и характер динамики развития основных макроэкономических индикаторов, определить возможность формирования кризисов.

Н. Н. ШАШ
Доктор экон. наук, профессор кафедры «Государственные финансы» НИУ «Высшая школа экономики». Область научных интересов: финансы, экономика труда, экономическая теория, экономика промышленности.

E-mail: *nat_vshu@mail.ru*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
бифуркация, макроэкономические индикаторы, мировой кризис, синергетика, социально-экономическое развитие, теория катастроф, финансовая система, циклы.

Н.Н. НОВИКОВА
Кандидат филос. наук, доцент кафедры «Экономика и финансы фирмы» НИУ «Высшая школа экономики». Область научных интересов: экономика и финансы фирмы, экономика промышленности, бюджетирование, финансовое планирование.

E-mail: *n_n_@mail.ru*

Применение синергетических методов и теории катастроф

В XXI веке становится очевидным, что состояние глобальной экосистемы приближается к критическому уровню и это отражается на социально-экономическом развитии общества. На современном этапе предметом изучения экономики и финансов должен стать анализ мира, для которого характерно нестационарное поведение, социально-экономические и экологические кризисы, связанные с нелинейностью и многомерностью социально-экономических систем. Финансовая система как совокупность отношений и финансы как экономическая категория определяются экономической структурой общества и подвержены тем же явлениям неустойчивости [Белимов И. И., Геворкян С. Г., Коган Е. Л., 2011]. В этой ситуации для отдельного региона, государства и мировой экономической и финансовой системы в целом становятся особенно актуальными вопросы безопасности и устойчивости, которую следует понимать как способность сохранять определенные закономерности движения ресурсов и параметры функционирования системы. В научном сообществе формируется понимание необходимости новых концепций, методологической и методической базы, приемов анализа и моделей динамического характера, отвечающих современным потребностям и позволяющих применять гибкие управляющие воздействия в зависимости от стадий развития управляемой самоорганизующейся системы [Бородин А. И., Новикова Н. И., 2013].

Одним из эффективных подходов к решению задачи прогнозирования поведения финансовой системы и финансов, анализу неустойчивости являются динамические модели, зарекомендовавшие себя в биологии и физике, а теория катастроф – наука, сформировавшаяся на стыке топологии и математического анализа, анализирующая качественное поведение нелинейных динамических систем при изменении их параметров.

В работе [Бородин А. И., Ефимов Г. А., 2013] было предложено рассмотреть, в каком направлении развивается жизнь на Земле в ракурсе физики и ее законов. Проведены работы по созданию математической теории циклического развития и теории катастроф [Габрин К. Э., Иванов А. Е., Матвийшина Е. М. и др., 2013 а, б]. Таким образом, был создан новый подход, основанный на физико-математическом описании эволюции развития общества, который нашел свое отражение в работе [Гараедаги Дж., 2010] и предложенной там теории хаоса. На основе этих исследований для обозначения диссипативных структур был предложен термин «синергетика» [Головко Е. В., 2013]. Таким образом было положено начало одноименной теории, сфера применения не ограничивается физикой, ее стали широко использовать в других науках, в частности в экономике и финансах. В настоящее время этот междисциплинарный подход используется все шире [Гусев Е. В., Иванов А. Е., 2010] в стратегическом планировании, поиске путей решения глобальных финансовых проблем, вставших перед человечеством.

Для проведения анализа нами выбрана методология синергетики, которая основана на теории самоорганизации, самодезорганизации и самоуправления сложных систем. Опираясь на главные положения синергетики при исследовании процессов в экономике и финансах, необходимо исследовать динамику экономических и финансовых показателей, акцентируя внимание на процессах роста, развития и разрушения систем, процессах самоорганизации и их взаимосвязи с процессами развития систем. Нужно изучать совокупность внутренних и внешних связей систем и внутренней и внешней среды как источников изменения параметров и возникновения нестабильности. При этом следует учитывать, что хаос играет важную роль в процессе развития систем и роль эта не только деструктивная. В одной из классических работ прошлого века было показано, что социально-экономическое развитие не может быть монотонно-возрастающим [Гусев С. А., 2012]. Рано или поздно наступают кризисные периоды в развитии экономики, финансов и общества. Пока вопрос о причинах их появления остается открытым и дискуссионным. Возможно, если будет понятен механизм, который запускает эти явления, то удастся и понять, как можно этого избегать.

Современный этап в развитии России характеризуется усилением несбалансированности экономики и неравномерностью социально-экономического развития. В результате возникает угроза дезинтеграции и формируются кризисы как на национальном, так и на региональном уровне. Экономические кризисы вызывают серьезные изменения в движении различных ресурсов, в том числе финансовых, негативно отражаются на социально-экономической ситуации. Так, в результате финансового кризиса валовой внутренний продукт (ВВП) России только за 2009 год сократился на 7,8%. По оценкам экспертов, к началу 2014 года модель роста экономики России исчерпала свои возможности, это подтверждается ростом ВВП в 2013 году всего на 1,3%.

Нестабильность и непредсказуемость развития кризисных ситуаций свидетельствуют о необходимости совершенствования модели экономики России и методов управления ею. Перспективным направлением исследования экономических процессов является теория катастроф, которая представляет собой теоретико-методологическую основу изучения и прогнозирования неустойчивости различных систем [Зенченко С. В., Егоркин Е. А., 2014; Иванов А. Е., 2013]. Ее суть заключается в том, что в процессе развития система сохраняет минимальный запас противоречий и изменений, будучи подвержена воздействию различного рода флуктуаций, в том числе случайных, но в определенный момент (период) скачкообразно меняет свое качество, переходя на новую траекторию развития (аттрактор развития). Некая условная точка, в которой происходит изменение качества, называется точкой бифуркации (или катастрофы), а сам процесс устойчивости по своим проявлениям носит катастрофический характер, может приводить как к переходу на какую-либо ветвь развития из многих возможных, так и к гибели или разрушению системы. На практике прогнозирование утраты устойчивости и смены качества социально-экономической системы с помощью теории катастроф осуществляют различными методами [Иванов А. Е., 2011; Иванов А. Е., Макаренкова А. В., 2012]. К их числу относится метод построения модели катастрофы в экономической системе на основе данных о взаимосвязи переменных, характеризующих ее поведение.

Социально-экономическая система – многоступенчатая, состоящая из нескольких уровней система. Любая неопределенность, случайная вероятность в начальных параметрах при пониженных уровнях приводит к неопределенностям и случайностям в начальных параметрах подсистем более значимого порядка и системы в целом. По данным признакам можно сказать, что система содержит катастрофу. О наличии катастрофы свидетельствуют критические точки семейства потенциальных функций, которыми описывается система. К числу основных признаков катастроф, или «флагов катастроф», относятся:

- модальность – это некое свойство системы, характеризующееся тем, что при некотором значении управляющих параметров возможно несколько положений равновесия системы в некоторой области изменения управляющих параметров;
- недостижимость – одно из положений равновесия в системе, которое не достигается и не наблюдается (существует область недостижимых неустойчивых состояний равновесия, к которым нельзя прийти, выходя из каких-либо устойчивых состояний);
- катастрофические скачки – неравномерный переход системы из одного положения равновесия в другое (малые изменения в значениях управляющих параметров могут вызвать большие изменения в значениях переменных состояния системы по мере того, как система перескакивает из одного локального минимума в другой);
- расходимость – небольшое изменение пути в пространстве параметров, которое приводит к существенно отличному конечному состоянию системы (малые изменения заданных начальных значений переменных состояния могут привести к серьезным изменениям конечных значений этих переменных);
- гистерезис – некий переход системы из одного состояния в другое и обратно при разных значениях управляющих параметров (траектория системы при изменении параметров в точности противоположным образом отличается от исходной) [Иванов А. Е., 2012; Иванова Д. В., 2013; Михалев О. В., 2011].

Если в ходе анализа системы зафиксирован один из признаков катастрофы, то, изменяя ее управляющие параметры, можно обнаружить и остальные [Неделько Н. С., 2010; Соколова С. А., 2014]. Применительно к моделированию социально-экономических систем и их подсистем необходимо учитывать следующие предположения:

- состояние системы изменяется во времени (динамическая система предполагает динамическую модель);
- принцип максимального промедления: система стремится сохранять свое состояние как можно дольше, исследователю необходимо дополнительно промоделировать или оценить иными методами возможную длительность этого состояния до точки бифуркации;
- текущее состояние системы зависит от того, каким образом система пришла в это состояние; необходимо проводить исследование факторов предшествующих периодов для оценки настоящего;
- при изменении управляющих параметров системы в строго противоположном направлении система не вернется в первоначальное состояние; поскольку она является нелинейной и многомерной, траектории системы необратимы.

В экономических приложениях чаще всего рассматриваются катастрофы, динамика которых задается уравнением:

$$\bar{x} = \nabla V(x, \alpha),$$

где $V(x, \alpha)$ – потенциальная функция; x – вектор фазовых координат системы вида; α – вектор параметров [Al-shanini A., Ahmad A., Khan F., 2014; Cai M., Zou, T., Luo P. Et al., 2014].

Исследование заключается в задаче изменений состояния равновесия потенциальной функции при изменении управляющих параметров. Поверхность катастрофы в этом случае определяется как множество точек равновесия (поверхность равновесия) и задается соотношением

$$M = \{ (x, \alpha) \in R^n \otimes R^k : (\frac{\partial V}{\partial x}) = 0 \},$$

где R^n, R^k – n- и k-мерное евклидово пространство.

Критические точки для выполнения условия $\det = (\frac{d^2 V}{\partial x_i \partial x_j}) = 0$ называются неизолированными, вырожденными или неморсовскими. Точки (x, α) в пространстве переменных состояния и параметров функции, для которых $\det = (\frac{d^2 V}{\partial x_i \partial x_j}) = 0$, являются множеством сингулярности, то есть

$$S = \{ (x, \alpha) \in R^n \otimes R^k : \det = (\frac{d^2 V}{\partial x_i \partial x_j}) = 0 \}.$$

Проекция множества сингулярности на параметрическое пространство есть бифуркационное множество:

$$B = \{ \alpha \in R^k : V_{xx} = 0 \}, \text{ где } V_{xx} = (\frac{d^2 V}{\partial x_i \partial x_j}).$$

Если потенциальная функция зависит от нескольких управляющих параметров, то матрица устойчивости V_{xx} и ее собственные значения также зависят от этих параметров. В этом случае можно говорить, что при определенных значениях управляющих параметров одно или несколько собственных значений матрицы устойчивости могут оказаться нулевыми. Тогда представление потенциальной функции в виде квадратичной формы является невозможным. Однако можно найти некоторое расщепление, позволяющее выделить координаты, которые отвечают нулевым собственным значениям:

$$V(x,c) = \mathrm{Cat}\,(l,k) + \sum_{j=l+1}^{n} \lambda_j(c) y_j^2$$

где Cat (l,k) – функция катастрофы; l – количество нулевых собственных значений матрицы устойчивости, или, при некоторых дополнительных условиях, $V = CG\,(\mathrm{l}) + \sum_{j=l+1}^{n} \lambda_j y_j^2$,

где; $\mathrm{Cat}(l,k) = CG(\mathrm{l}) + \mathrm{Pert}(l,\ k)$; CG $(l,\ k)$ – росток катастрофы; $\mathrm{Pert}(l,\ k)$ – возмущение.

Классификация потенциальных функций (катастроф), их основные свойства и характеристики поведения представлены в табл. 1. Приведенные модели катастроф были использованы для анализа и прогнозирования развития основных макроэкономических индикаторов экономики России (валовой внутренний продукт, инвестиции, объем промышленного производства, уровень занятости, расходы на конечное потребление). В качестве исходных данных рассматривались временные ряды этих показателей с 1991 по 2010 год.

Предложенный алгоритм построения моделей катастроф динамики макроэкономических показателей включает:

- идентификацию системы взаимовлияния макроэкономических показателей для различных временных горизонтов;
- оценку и анализ характера и типа катастрофы идентифицированных систем;

Таблица 1

Классификация потенциальных функций (катастроф), их основные свойства и характеристики поведения

Тип катастрофы	Число параметров	Каноническая форма	Поверхность равновесия	Множество сингулярности	Бифуркационное множество
Складка	$l = 1 \quad k = 1$	$V(x,\ u) = x^3 + ux$	$M : 3x^2 + u = 0$	$6x = 0,\ x = 0$	$U = 0$
Сборка	$l = 1 \quad k = 1$	$V(x,\ u,\ v) = x^4 - ux^2 + vx$	$M : 4x^2 - 2ux = 0$	$S : 12x^2 - 2u = 0$	$B : 8u^3 - 27v^2 = 0$
Ласточкин хвост	$l = 1 \quad k = 3$	$V = x^5 + ux^3 + vx^2 + \omega x$	$M : 5x^4 + 3ux^2 + 2vx + \omega = 0$	$S : 20x^3 + 6ux + 2v = 0$	$B : \exists\, x : 5x^4 + 3ux^2 + 2vx + \omega = 0$ $20x^3 + 6ux + 2v = 0$
Бабочка	$l = 1 \quad k = 4$	$V = \pm x^6 + ux^4 + ux^3 +$ $+ ux^2 + ux$	$M :\ = 6x^5 + 3ux^2 + 2vx^3 + \omega$	$S : 30x^4 + 12tx^2 +$ $+ 6ux + 2v = 0$	$B : \exists\, x : 6x^5 + 4tx^3 + 3u\alpha^2 + 2vx + \omega = 0$ $30x^4 + 12tx^2 + 6ux + 2v = 0$
Вигвам	$l = 1 \quad k = 5$	$V = x^7 + \alpha_1 x^5 + \alpha_2 x^4 +$ $+ \alpha_3 x^3 + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 x$	$M :\ = 7x^6 + 5\alpha_1 x^4 + 4\alpha_2 x^3 +$ $+ 3\alpha_3 x^2 + 2\alpha_4 x + \alpha_5$	$S :\ = 42x^5 + 20\alpha_1 x^3 +$ $+ 12\alpha_2 x^2 + 6\alpha_3 x +$ $+ 2\alpha_4 = 0$	$B : \exists\, x : 7x^6 + 5\alpha_1 x^4 + 4\alpha_2 x^3 + 3\alpha_3 x^2 +$ $+ 2\alpha_4 x + \alpha_5 = 0$ $42x^5 + 20\alpha_1 x^3 + 12\alpha_2 x^2 + 6\alpha_3 x + 2\alpha_1 = 0$
Гиперболическая омбионика	$l = 2 \quad k = 3$	$V(x,\ y,\ u,\ v,\ \omega) = x^3 +$ $+ y^3 + \omega xy - ux - vy$	$M : \begin{cases} 3x^2 + \omega y - u = 0 \\ 3y^2 + \omega x - v = 0 \end{cases}$	$S : \det \begin{vmatrix} 6x & \omega \\ \omega & 6y \end{vmatrix} =$ $= 36xy - \omega^2 = 0$	$B : \exists\, (x,\ y) : u = + 3x^2 + \omega y$ $v = 3y^2 + \omega x$ $\omega^2 + 36xy$
Эллиптическая омбионика	$l = 2 \quad k = 3$	$V = \frac{x^3}{3} + xy^3 + \omega(x^2 + y^2) -$ $- ux - vy$	$M : \begin{cases} x^2 + y^2 - \omega x - u = 0 \\ -2xy^2 + 2\omega y - v = 0 \end{cases}$	$S : \det \begin{vmatrix} 2x + 2\omega & -2y \\ -2y & -2x + 2\omega \end{vmatrix} =$ $= 0 \Leftrightarrow x^2 + y^2 = \omega^2$	$B : \exists\, (x,\ y) : u\text{-}x^2 - y^2 + 2\omega x$ $v = 2xy + 2\omega y$ $\omega^2 = x^2 + y^2$
Параболическая омбионика	$l = 2 \quad k = 4$	$V = x^2 y^2 + y^4 + \omega x^2 +$ $+ \mathrm{t}y^2 - ux - vy$	$M : \begin{cases} 2xy + 2\omega x - u = 0 \\ x^2 + 4y^3 + 2\mathrm{t}y - v = 0 \end{cases}$	$S : \det \begin{vmatrix} 2y + 2\omega & -2x \\ 2x & 12y^2 + 2t \end{vmatrix} =$ $= 0 \Leftrightarrow x^2$ $x^2 = (y + \omega)(y^2 + t)$	$B : \exists\, (x,\ y) : 2xy + 2\omega x - u = 0$ $x^2 + 4y^3 + 2ty - v = 0$ $x^2 = (y + \omega)(y^2 = t)$
u, v – параметры; ω – устойчивость; t – время.					

● построение и анализ наиболее вероятных поверхностей катастроф.

В соответствии с алгоритмом для исследуемых показателей построен комплекс моделей капсоидных катастроф (складка, сборка, ласточкин хвост, бабочка, вигвам), связанных с неустойчивостью связи одной переменной x со всеми другими и омбилических катастроф (эллиптическая, гиперболическая, параболическая омбилики) – с неустойчивостью связи переменных темпа прироста инвестиций x_1, темпа прироста промышленного производства x_2 со всеми другими.

Среди исследуемых экономических процессов значительный интерес представляет анализ инвестиционной и промышленной активности российской экономики для периода продолжительного социально-экономического кризиса с 1991 по 2000 год, который позволил установить характеристики синхронности их протекания. Адекватной моделью капсоидной катастрофы является «вигвам» (коэффициент детерминации d = 0,76). Эта модель, аппроксимирующая взаимосвязь темпа прироста инвестиций x и темпа прироста ВВП y, имеет вид:

$$y = x^7 - 3{,}746x^5 - 0{,}318x^4 + 3{,}478x^3 - 0{,}355x^2 - 1{,}552x.$$

Рис. 1. Поверхность катастрофы типа «вигвам» (1991–2000 годы)

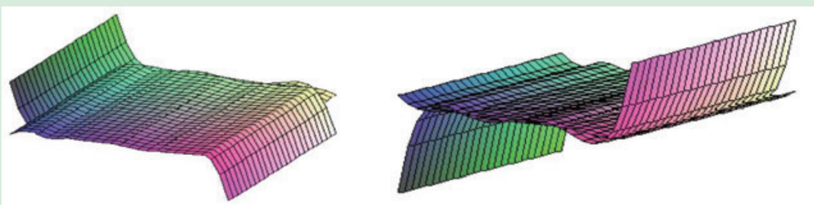
Вигвам. На рис. 1 изображена поверхность катастрофы «вигвам». Система уравнений описывает бифуркационное множество катастрофы:

$$7x^6 - 18{,}736x^4 - 1{,}272x^3 + 10{,}461x^2 - 0{,}7x - 1{,}552 = 0.$$

$$42x^5 - 74{,}92x^3 - 3{,}816x^2 + 20{,}92x - 0{,}71 = 0$$

Графически бифуркационное множество в проекции трехмерного пространства представлено на рис. 2.

Рис. 2. Бифуркационное множество катастрофы типа «вигвам»



Анализ системы уравнений позволяет сделать следующие выводы:

● обращение системы в ноль при наблюдаемых значениях переменных свидетельствует о наступлении катастрофы;

● чем ближе к нулю значение системы уравнений, тем ближе находится система к условиям катастрофического скачка. Для полученной модели увеличение катастрофических переходов (точек бифуркации) наиболее характерно для 1996–1999 годов.

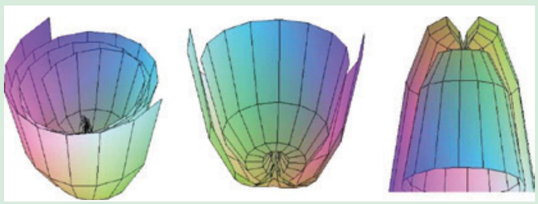
Параболическая омбилика. Моделью омбилической катастрофы для этого периода является параболическая омбилика (коэффициент детерминации d = 0,656), аппроксимирующая взаимосвязь темпа прироста инвестиций x_1, темпа прироста промышленного производства x_2 и темпа прироста ВВП y:

$$y = x_1^2 x_2 + x_2^4 + 0{,}422x_1^2 - 4{,}089x_2^2 - 0{,}089x_1 + 2{,}852x_2.$$

Поверхность данной модели катастрофы представлена на рис. 3. Система уравнений бифуркационного множества катастрофы имеет вид

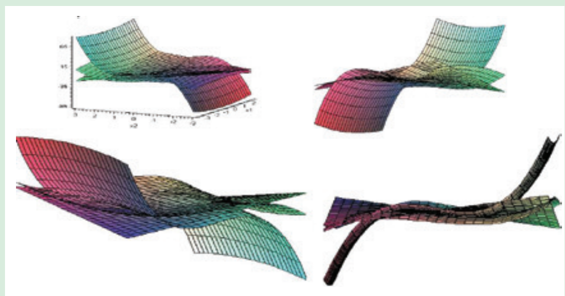
$$\begin{cases} 2x_1x_2 + 0{,}844x_1 + 0{,}089 = 0 \\ x_1^2 + 4x_2^3 - 8{,}178x_2 - 2{,}852 = 0 \\ x_1^2 = (x_2 + 0{,}422)(x_2^2 - 4{,}089). \end{cases}$$

Рис. 3. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (1991–2000 годы)



Графически бифуркационное множество катастрофы типа «параболическая омбилика» в трехмерном пространстве представлено на рис. 4.

Рис. 4. Бифуркационное множество катастрофы типа «параболическая омбилика» (1991–2000 годы)



Для полученной модели приближение решений системы уравнений к нулю наиболее характерно для 1994, 1995, 1999 и 2000 годов, что свидетельствует о движении системы к условиям катастрофического скачка.

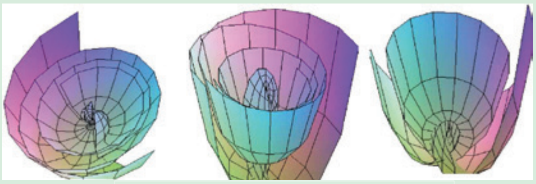
Параболическая омбилика. Для периода экономического роста экономики России в качестве модели омбилических катастроф, построенной на основе квартальных данных (2001–2007 годы), является параболическая омбилика (коэффициент детерминации d = 0,7). С помощью этой эконометрической модели осуществляется взаимосвязь темпа прироста занятости x_3, темпа прироста расходов на конечное потребление x_4 и темпа прироста ВВП y. Модель имеет вид

$$y = x_3^2 x_4 + x_4^4 + 4{,}62x_3^2 - 6{,}689x_4^2 - 8{,}121x_3 + 9{,}172x_4.$$

Поверхность модели катастрофы представлена на рис. 5. Система уравнений, описывающая бифуркационное множество катастрофы, имеет вид

$$\begin{cases} 2x_3x_4 + 9{,}24x_3 + 8{,}121 = 0 \\ x_3^2 + 4x_4^3 - 13{,}37x_4 - 9{,}172 = 0 \\ x_3^2 = (x_4 + 4{,}62)(x_4^2 - 6{,}685). \end{cases}$$

Рис. 5. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (2001–2007 годы)

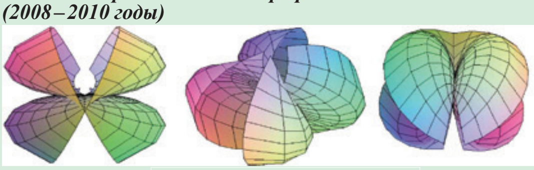


Анализ этой модели показал, что траектория поведения экономической системы удаляется от точек возможных катастрофических переходов и не попадает в бифуркационное множество, то есть в рассматриваемом временном промежутке динамику развития исследуемых показателей можно считать сравнительно устойчивой.

Бабочка. Современный этап развития российской экономики характеризуется асинхронностью протекания процессов промышленной активности, занятости населения и инвестиций в основной капитал и, следовательно, увеличением неустойчивости и нелинейности их взаимосвязи, высокой вероятностью катастроф. Модель капсоидных катастроф для периода мирового финансово-экономического кризиса (2008–2010 годы) типа «бабочка» (коэффициент детерминации d = 0,65) (рис. 6), аппроксимирующая взаимосвязь темпа прироста инвестиций x_1 и темпа прироста ВВП y, приведена ниже:

$$y = x_1^6 - 5{,}748x_1^4 + 0{,}521x_1^3 + 7{,}012x_1^2 - 1{,}28x_1.$$

Рис. 6. Поверхность катастрофы типа «бабочка» (2008–2010 годы)

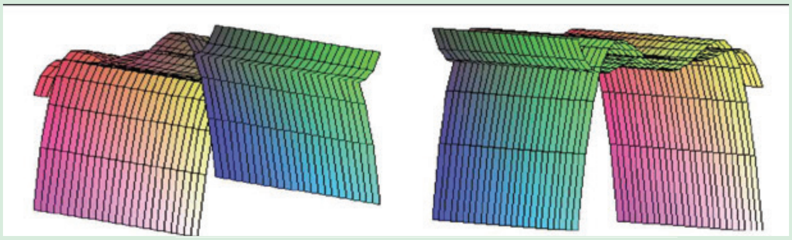


Система уравнений бифуркационного множества катастрофы имеет вид

$$\begin{cases} 6x_1^5 - 22{,}92x_1^4 - 1{,}272x_1^3 + 1{,}563x_1^2 + 14{,}024x_1 - 1{,}285 = 0 \\ 30x_1^4 - 68{,}976x_1^2 + 3{,}126x_1 + 14{,}024 = 0 \end{cases}$$

Графически бифуркационное множество катастрофы типа «бабочка» в проекции трехмерного пространства представлено на рис. 7. По результатам данной модели, наибольшее приближение значений переменных в системе уравнений к условиям катастрофического скачка и увеличение количества точек бифуркаций характерны для IV квартала 2009 года.

Рис. 7. Бифуркационное множество катастрофы типа «бабочка» (2008–2010 годы)



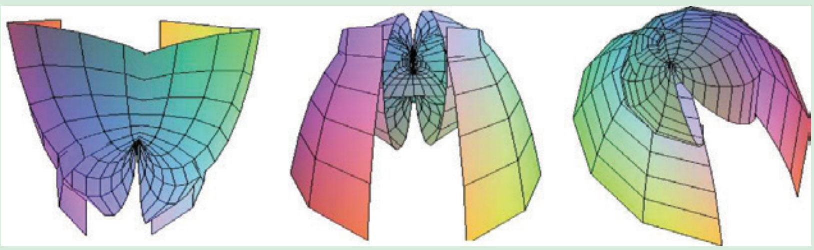
Параболическая омбилика. Модель омбилической катастрофы для периода мирового финансово-экономического кризиса (2008–2010 годы) типа «параболическая омбилика» (коэффициент детерминации d = 0,7), аппроксимирующая взаимосвязь темпа прироста занятости x_3, темпа прироста валового накопления в основной капитал x_5 и темпа прироста ВВП y:

$$y = x_3^2x_5 + x_5^4 + 0{,}12x_3^2 - 1{,}94x_5^2 + 0{,}19x_3 + 0{,}17x_5.$$

Поверхность модели катастроф для периода мирового финансово-экономического кризиса представлена на рис. 8. Система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 2x_3x_5 + 0{,}24x_3 + 0{,}19 = 0 \\ x_3^2 + 4x_5^3 - 3{,}88x_5 - 0{,}17 = 0 \\ x_3^2 = (x_5 + 0{,}12)(x_5^2 - 1{,}94) \end{cases}$$

Рис. 8. Поверхность катастрофы типа «параболическая омбилика» (2008–2010 годы)



По результатам данной модели, наибольшее приближение к нулю решений системы уравнений и вероятных катастрофических переходов характерны для IV квартала 2008 года и IV квартала 2010 года, что хорошо согласуется с динамикой падения темпов роста анализируемых показателей.

Заключение

Таким образом, построенный комплекс моделей является эффективным инструментом исследования и предупреждения кризисных процессов, так как позволяет выявить и более детально исследовать нелинейность в динамике развития как экономики в целом, так и отдельных ее индикаторов. Это открывает новые возможности для формирования превентивных стратегических мероприятий на всех уровнях иерархии социально-экономической системы.

Список литературы:

1. **Белимов И. И., Геворкян С. Г., Коган Е. Л.** (2011) Обработка и управление статистическими данными методами математической теории катастроф. – Обозрение прикладной и промышленной математики. Т. 18, вып. 1. С. 104–105.
2. **Бородин А. И., Новикова Н. И.** (2013) Дескриптивная модель развития бизнес-процесса по стадиям жизненного цикла // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2013. №50. С. 112–118.
3. **Бородин А. И., Ефимов Г. А.** (2013) Основные показатели экономической динамики фирмы в современных условиях финансового рынка // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. №2 (13). С. 13–20.
4. **Габрин К. Э., Иванов А. Е., Матвийшина Е. М. и др.** (2013а) Методика оценки синергетической стоимости деловой репутации предприятия на базе квантово-механического подхода // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. Т. 7, №1. С. 179–181.
5. **Габрин К. Э., Иванов А. Е., Матвийшина Е. М. и др.** (2013б) Теория оценки синергетической стоимости деловой репутации предприятия на базе квантово-механического подхода // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. Т. 7, №1. С. 20–22.
6. **Гараедаги Дж.** (2010) Системное мышление: Как управлять хаосом и сложными процессами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск: Гревцов Букс. 480 с.
7. **Головко Е. В.** (2013) Дефиниции устойчивости экономической системы // Молодой ученый. №5. С. 283–285.
8. **Гусев Е. В., Иванов А. Е.** (2010) Синергетический подход к оценке возможности создания региональных экономических кластеров: необходимость применения // Институциональные проблемы саморазвития территориальных систем инновационной России: Международная конференция с элементами научной школы для молодежи. 22–24 ноября 2010 года.: В 1 ч. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ. Ч. 1. С. 18–22.
9. **Гусев С. А.** (2012) Мониторинг состояния устойчивого развития промышленного предприятия // Вестник Челябинского государственного университета. №24 (278). С. 83–88.
10. **Зенченко С. В., Егоркин Е. А.** (2014) Применение теории катастроф для оценки устойчивости позиций кредитной организации // Вестник СевКавГТУ. Вып. 19. С. 22–27.
11. **Иванов А. Е.** (2012) Априорная оценка синергетического эффекта интеграции на основе нечетко-множественной модели определения коэффициента синергетического роста // Экономический анализ: теория и практика. №42 (297). С. 33–43.
12. **Иванов А. Е.** (2013) Генезис синергетики // Современные научные исследования и инновации. №9. URL: http://web.snauka.ru/issues/2013/09/26327 (дата обращения: 13.12.2014).
13. **Иванов А. Е.** (2011) Как поймать синергию за хвост // Финанс. №19 (398). С. 50–52.
14. **Иванов А. Е., Макаренкова А. В.** (2012) Анализ современных подходов к оценке синергетического эффекта интеграции в контексте специфики российского рынка слияний и поглощений/А. Е. Иванов, // Строительный комплекс: Экономика управление и инвестиции: Сборник научных трудов. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. С. 39–44.
15. **Иванова Д. В.** (2013) Подходы к стратегическому планированию в условиях нестабильности внешней среды. Теория хаоса // Ученые записки Санкт-Петербургского университета управления и экономики. Вып. 1 (41). С. 84–90.
16. **Михалев О. В.** (2011) Проблемы экономической устойчивости в теории и практике управления региональными хозяйственными системами. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2011. 322с.
17. **Неделько Н. С.** (2010) Использование теории катастроф к анализу поведения экономических систем // Вестник МГТУ. Т 13, №1. С. 223–227.
18. **Соколова С. А.** (2014) Способы повышения устойчивости национальной экономики на основе развития высокотехнологичных секторов // Экономика и менеджмент инновационных технологий. №7. URL: http://ekonomika.snauka.ru/2014/07/5607 (дата обращения: 10.10.2014).
19. **Al-shanini A., Ahmad A., Khan F.** (2014) Accident modelling and analysis in process industries // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 32. Nov. P. 319–334.
20. **Cai, M., Zou, T., Luo, P. et al.** (2014) Evaluation of simulation uncertainty in accident reconstruction via combining Response Surface Methodology and Monte Carlo Method // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 48, Nov. P. 241–255.