

Устойчивое развитие

Г. П. Быстрай

МЕТОДЫ СИНЕРГЕТИКИ В АНАЛИЗЕ СТРУКТУРНЫХ СДВИГОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ТЕКУЩИХ СОСТОЯНИЙ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО УПРАВЛЕНИЯ[1]

Данная работа направлена на решение фундаментальной проблемы — создание алгоритмов оптимизации деятельности предприятий и отраслей промышленности региона (области), находящихся в состоянии, далеком от равновесия, когда показатели их производственной, экономической и финансовой деятельности нелинейно взаимосвязаны между собой и зависят от быстро изменяющихся внешних факторов и функций управления.

Введение

Производственная деятельность на микро- и мезоуровнях — основа устойчивого развития макроэкономических систем. Оптимизация экономической деятельности крупных фирм и отраслей промышленности создает базу такого развития. 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.

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 [1, 2]. Поэтому разработка способов изучения эволюции и развитие методов ее прогнозирования для объектов социально-экономической природы, 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. Только недавно было осознано [2–6], что экономические системы принадлежат к классу так называемых «открытых систем», интенсивно изучаемых в последнее время в естественных науках. Под моделированием открытых экономических систем в данной работе понимается моделирование не только взаимодействия их с внешней средой (товаром, сырьем, капиталом), но и прежде всего описание воздействий на них внешних факторов — ставок налогообложения, кредитной ставки, курса валюты, объема инвестиций, индекса оптовых цен и т. д. [7–9]. Будем рассматривать системы, смена стационарных состояний которых происходит благодаря медленному изменению управляющих параметров [10, 11]. Сам же переход к новому состоянию равновесия, идентифицируемый как фазовый переход, на практике осуществляется в сверхбыстрой временной шкале. В данной работе нас интересуют основные отрасли промышленно развитого региона.

1. Теоретическое обоснование метода

Синергетика, применяемая сегодня к целостному анализу различных систем, находящихся в сильно неравновесных состояниях, дает уникальные возможности построения адекватных нелинейных моделей процессов самоорганизации в физических и биологических открытых системах. И. Пригожиным [12], Дж. Николисом [13] и др. разработаны методы неравновесной термодинамики, применяемые в том числе и для биологических систем. Г. Хакеном [14], Дж. Николисом [15] изучена проблема образования и диссипации информации, которая возникает в процессе развития сложных систем. Г. Шустером, Г. Заславским, Р. Сагдеевым и др. [16–18] обобщены методы описания слабого хаоса и квазирегулярных структур в сложных системах. В известных книгах по синергетике и теории катастроф Г. Хакена [14], Ф. Муна [19], В. Арнольда [20], Г. Гилмора [21] можно найти достаточно много ссылок на возможность применения методов этого зарождающегося направления в теории управления, экономике, социологии. Тем не менее эти описания следует признать все же очень схематичными, и они не являются исследованиями в полном смысле этого слова.

Имеется ряд конкретных результатов синергетики в теории управления. Наиболее спорны, по мнению Д. Бруса и П. Джиблина, приложения синергетики к общественным наукам. Достаточно полно возможности этих методов в экономике отражены в книгах Д. Касти [11] и Н. Лоренца [22]. Так, Лоренцем указывалось, что основные затруднения, возникающие при применении этих разделов человеческого знания о нелинейных и неравновесных системах по отношению к экономике, связаны с переопределением для экономических систем таких понятий, как равновесие и устойчивость. В настоящее время ведутся исследования, посвященные построению нелинейных динамических математических моделей в экономике. В работах [23–25] содержится подробная библио-

графия по затрагиваемым в исследовании теоретическим вопросам. Наиболее перспективным научным направлением в этом плане является теоретическое описание детерминированного хаоса, которое нашло отражение в работах автора [7–9, 26–28].

В настоящее время существуют предпосылки для создания формализованного описания неравновесных фазовых переходов первого и второго рода в мезоэкономических системах, т. е. на уровне крупных фирм, предприятий, а также отраслей и промышленности региона в целом. В данной работе реализован метод квазистатических неравновесных потенциальных функций, в качестве которых для отрасли выступают минимизируемые суммарные издержки, максимизируемая прибыль, тем самым описывается их нелинейное взаимодействие с другими показателями.

На первоначальном этапе задача нами решалась в рамках катастрофы сборки; в пределах такого подхода разработана конкретная методика по оптимизации показателей на уровне отрасли, доступная и понятная пользователям-экспертам (реализована в системах Excel и Mathcad). Методика апробирована для наиболее важных отраслей и в целом всей промышленности Свердловской области — главное 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 области (и для промышленности в целом) на самом верхнем уровне агрегации модель содержит анализ шести нелинейно взаимодействующих суммарных переменных, взятых из сводных балансовых отчетов за различные временные периоды. Показано, что все квартальные показатели имеют хаотическую динамику, ограниченную, тем не менее, потенциальными функциями, которые и проявляют экстремальный характер.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка в новой для экономической теории постановке задач математического моделирования нелинейной динамики открытых микро- и мезоэкономических систем, находящихся под воздействием внешних управляющих параметров. Полный проект включает также разработку программной реализации нового подхода в качественном анализе неравновесных состояний и устойчивости этих экономических объектов. Речь идет прежде всего об оценке экономической эффективности производства, которая включает методологии минимизации издержек, максимизации рентабельности, прибыли с последующим расширением числа показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятия (отрасли). Алгоритмы анализа, как показали исследования, пригодны и для отраслей, и всей промышленности региона в целом, а также для крупных предприятий.

При выполнении работы нами ставилась задача создать в рамках синергетики метод построения неравновесных потенциальных функций для мезо- и макроэкономических систем с целью определения их устойчивости (локальной или глобальной). Этот вопрос является центральным в проблеме описания устойчивого развития.

Полная модель должна была включать основные экономические показатели отрасли, известные из статистических отчетов за различные временные периоды, а также медленно изменяемые внешние управляющие параметры — курс национальной денежной единицы, налоговые ставки, ставку рефинансирования и т. д. Для внутреннего управления экономическими объектами планировалось выделить такие критерии управления, которые позволили бы идентифицировать целевые задачи перехода к наиболее оптимальным соотношениям переменных не только на верхнем уровне агрегации, но и на нижнем, т. е. на уровне предприятия.

В целях проверки моделей и алгоритмов были обработаны реальные статистические данные за несколько лет по десяти отраслям и в целом для всей промышленности области. Большое внимание в анализе было уделено определению устойчивости текущих состояний исследуемых объектов, описанию бистабильных и хаотических режимов на периодах спада производства, стабилизации и последующего роста.

В данной работе представлен метод диаграммного анализа текущих состояний экономических объектов, который позволяет по диаграммам идентифицировать текущие состояния отраслей, определять их устойчивость, локальную или глобальную, области метастабильных состояний и особых (критических) точек, а также отслеживать их изменение, в том числе при резких изменениях внешних управляющих параметров (налоговой ставки, курса валюты, ставки рефинансирования), и их релаксацию.

3. Синергетический метод обработки статистических данных

В настоящее время в экономической науке имеют место большие трудности, связанные прежде всего с отсутствием требуемых постановок задач не только на микро-, но и на мезо- и макроуровнях. В основном это обусловлено отсутствием формализованного языка описания сильно неравновесных процессов в этих системах, который бы позволил описать эволюцию нелинейных систем через последовательность неравновесных фазовых переходов и хаотическую динамику в условиях быстро или медленно изменяющихся внешних факторов. Вполне возможно, что это объ-

ясняется также сложностями в понимании трудноформализуемых взаимозависимостей показателей особенно в переходные периоды.

Для этих объектов, в отличие от объектов, изучаемых в естественных науках, затруднения также обусловлены плохо формализуемой иррациональной деятельностью человека, наличием задач с последствием, дискретным характером представляемых статистических данных, более широким спектром частотных характеристик внешних воздействий и т. д. Сложности анализа экспертами больших массивов быстро изменяющейся экономической (а также социальной, экологической и др.) информации и вопросы агрегирования нелинейно взаимодействующих показателей с целью разработки различных сценариев прогноза развития сфер экономической деятельности также затрудняют решение этой проблемы [3, 29].

Опыт изучения таких задач уже на первом этапе показал, что исследование устойчивости стационарных состояний эффективно осуществляется методами теории катастроф [21], которая позволяет в результате обработки статистических данных финансовых отчетов предприятий и известных статистических данных по отраслям дать оценку текущего состояния экономического объекта с точки зрения локальной или глобальной устойчивости в наглядном графическом (топологическом) виде, определить точки равновесия на детерминированной ветви развития и исследовать временную деформацию потенциальных функций, а значит и формализовать на мезоуровне задачи так называемого устойчивого развития объектов и управление ими. Эти методы мы дополнили экономическим принципом *minimax* — все субъекты данного сегмента рынка минимизируют, например, свои издержки и максимизируют прибыль. Этот принцип уменьшает число выбираемых пробных потенциальных функций, а это не так уж плохо для любой теории. Конечно, было бы наивным полагать, что в описываемые годы прибыль максимизировалась, так как прибыль облагалась большим налогом. Однако то, что в эти годы минимизировались полные (а также и материальные) издержки — это не подлежало сомнению. Поэтому все расчеты начинались с минимизации издержек.

Теоретической основой данной работы являются нелинейные математические методы синергетики, теории катастроф, методы математической статистики и теории оптимальных процессов, о необходимости применения которых к данным системам говорилось нами в монографии [10].

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 (включая материалоемкость, фондоемкость, трудоемкость продукции и др.) в наглядном геометрическом и топологическом видах, характерных для синергетики и теории катастроф. Предполагалось, что последнее должно существенно облегчить работу пользователей (экспертов, экономистов предприятий).

Эта информация может свертываться в виде обобщенных экономических, социальных и других показателей, для каждого из которых существует понятие нормы/норматива, называемого в синергетике «нормой хаотичности» [3]. Отклонение от этой нормы, в том числе вследствие изменения внешних параметров в обе стороны, рассматривается как *деградация*. Если по выбранным критериям управленческие решения приближают состояние открытых систем к норме, то имеет место процесс *самоорганизации*. Отнесение системы к любому из этих состояний может проводиться по целому комплексу социальных, технологических, производственных показателей. Эта информация и является исходной для выработки управленческих решений на другом уровне.

Анализируемые показатели. Предлагаемый подход иллюстрируется в данной статье анализом деятельности всей промышленности Свердловской области и ее отдельных отраслей за 1996–1997 гг. Сравнение осуществляется по тем же показателям промышленности Уральского региона за 1970–1986 гг. Число показателей предполагалось ограниченным: V — выручка; R — полные издержки за исследуемый период; Π — прибыль; G — чистый доход, включающий фонд оплаты труда (L) (ФОТ) и прибыль (Π); C — материальные издержки, равные полным издержкам за вычетом ФОТ. Зависимость исследуемых показателей задается следующими балансовыми уравнениями:

$$V = R + \Pi, G = L + \Pi, C = R - L. \quad (1)$$

Реально используются приведенные величины: $V/L = z$, $R/L = r$, $\Pi/L = p$, $G/L = g$, $C/L = c$, имеющие определенный экономический смысл, например, величина p характеризует величину получаемой прибыли на один рубль оплаты труда. Следует отметить, что все показатели могут быть также отнесены к полным издержкам R , а также к валовому доходу V (выручке), например, Π/R — норма прибыли. При этом в анализе можно в некоторых задачах не учитывать индексы инфляции и брать показатели в текущих ценах, так как нас интересуют не сами абсолютные значения, а наблюдаемые соотношения между этими величинами. Часть из приведенных показателей в зависимости от конкретных тактических и стратегических задач, стоящих перед органами управления,

могут выступать в качестве критериев управления. Последние мы и будем называть *функциями внутреннего управления*, так, например, ФОТ является функцией внутреннего управления.

Более полный анализ по данной методике включает рассмотрение для отрасли и каждого из предприятий также следующих показателей: коэффициентов абсолютной и текущей ликвидности; коэффициентов обеспеченности собственными и заемными оборотными средствами; коэффициентов финансовой независимости и соотношения мобильных и иммобилизирующих средств; рентабельности основной деятельности и реализованной продукции; излишков (недостатков) собственных оборотных и долгосрочных средств. Для предприятий необходимые сведения берутся из периодических бухгалтерских отчетов.

Математическая модель. Обработка экспериментальных данных на каждой диаграмме производилась методом наименьших квадратов в виде потенциальных функций, используемых в катастрофе сборки; например, приведенные полные издержки обрабатывались полиномом 4-й степени

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

здесь $z = V/L$ — доход (выручка) на один рубль оплаты труда. Параметры b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 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 [21]. Знаки параметров относят рассматриваемую систему к катастрофе сборки или к катастрофе двойственной сборки. Все коэффициенты имеют следующий смысл:

b_0 — характеризует фиксированные приведенные издержки при нулевом доходе $z = 0$;

$b_1 = dr/dz = dR/dB$, т. е. коэффициент b_1 равен приросту издержек на приращение дохода (выручки), который в общем случае является нелинейным.

Например:

$$\tilde{b}_1^* = b_1(1 + (b_2/b_1)z) + (b_3/b_1)z^2 + (b_4/b_1)z^3, \quad (3)$$

в уравнении вида

$$r = b_0 + \tilde{b}_1^* z. \quad (4)$$

В линейной теории, когда отклонения от точки равновесия малы, издержки должны описываться параболой $r = b_0 + b_1(1 + (b_2/b_1)z)z$. В последнем случае минимум издержек соответствует точке равновесия z_0 , которая находится из уравнения $b_1 + 2b_2z_0 = 0$. При значительных отклонениях от равновесия в соответствии с (1) может возникнуть новая точка равновесия (локально или глобально устойчивая), в которую может попасть анализируемый объект. Процесс перехода от одной точки равновесия к другой будем называть фазовым переходом, так как новое состояние будет отличаться от прежнего структурой производственных, экономических и других отношений.

Результаты обработки статистических данных. На рис. 1 приведены результаты обработки статистических данных по промышленности Уральского региона за 1970–1986 гг. [30]. Первоначально экспериментальные результаты, представленные в виде точек на диаграмме, обрабатывались полиномами второй степени и определялись параметры. Следует отметить, что кривые имеют явно выраженный экстремальный характер. Минимум издержек (максимум прибыли) имел место при $z_0 = V_0/L_0 = 3,83$, т. е. при сравнительно большом ФОТ эту величину можно назвать «нормой хаотичности», в те годы она была близка к промышленно развитым странам. Состояние промышленности региона можно было бы рассматривать как устойчивое: в течение всех 16 лет наблюдались только слабые отклонения от равновесия. Такой анализ приводит к выводу: издержки в те годы минимизировались, а прибыль максимизировалась.

Обработка статистических данных полиномом четвертой степени, что соответствует катастрофе сборки, дает уже для этого временного периода слабо выраженный рост катастрофы (по В. Арнольду [20]), развитие которого в последующем привело к новой точке равновесия с малой величиной ФОТ (рис. 2).

При анализе требовалось определить развитие выявленного роста катастрофы (неустойчивости) в последующие периоды и описать структурные сдвиги, а также новые возможные точки равновесия с определением устойчивости текущих состояний системы.

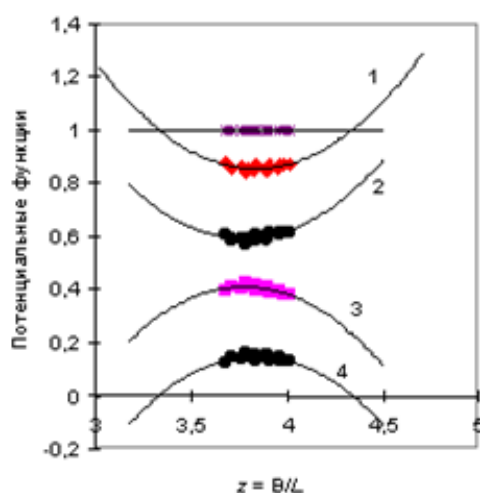


Рис. 1. Потенциальные функции для промышленности Уральского региона в 1970–1986 гг. в приведенном виде:

1 — полные издержки (r); 2 — совокупные издержки (c); 3 — чистый доход (g); 4 — прибыль (p) (по данным [20]); аппроксимируемая функция — полином второй степени, $b_0 = 9,317$, $b_1 = -4,4148$, $b_2 = 0,5757$. Горизонтальная кривая соответствует $B = R + \Pi$

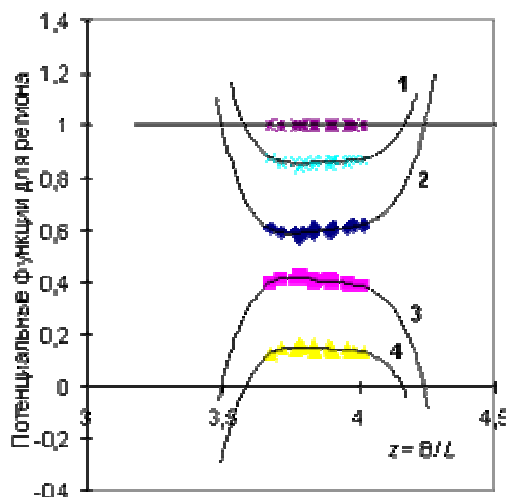


Рис. 2. Нелинейные приведенные функции для промышленности Уральского региона в 1970–1986 гг., обработанные в рамках катастрофы сборки:

1 — полные издержки (r); 2 — совокупные издержки (c); 3 — чистый доход (g); 4 — прибыль (p) (по данным [20]). Следует сравнить с рис. 1

Переход к новым точкам равновесия. Анализ структурных сдвигов. На рис. 3 представлены статистические данные за 1996–1998 гг. для всей промышленности Свердловской области в целом и аналитические зависимости приведенных полных издержек, чистого дохода и прибыли в зависимости от приведенного дохода, обработанные полиномом четвертой степени (2). Результатом такого анализа являются выводы, которые не противоречат экономической части задачи. Установлено, что минимальные затраты имели место при $z = 4$ и резко проявляли тенденцию к увеличению при $B/L \rightarrow 0$. Последние могут быть отнесены к издержкам по созданию основных фондов в их рыночном понимании и могут учитываться при построении более точной кривой, если известна их рыночная стоимость акций. По мере ввода всех мощностей издержки резко уменьшаются и принимают минимальное значение, из области убытков, которые при $z = 0$ равны издержкам по строительству, анализируемый сегмент рынка попадает в область прибылей. Последующий рост величины $z = B/L$ соответствует уменьшению фонда оплаты труда L (или росту выручки B при сохраняющемся объеме ФОТ). При росте z издержки снова начинают расти быстрее дохода (исчерпаны все эффективные ресурсы, требуется сырье и т. д.). Для функций приведенных издержек (r ,

с) имеется один устойчивый глобальный минимум при $z = 4$. Прямая линия соответствует $z = B/L$; только в определенной области z издержки меньше, чем доходы.

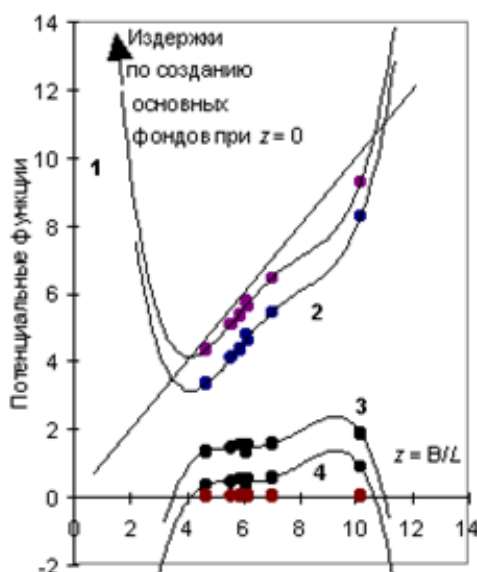


Рис. 3. Вид потенциальных функций ($r = R/L$ (кривая 1), $c = C/L$ (кривая 2), $g = G/L$ (3), $p = П/L$ (4)) для промышленности в зависимости от приведенного дохода $z = B/L$ (B — совокупный доход; R — полные издержки за квартал; L — фонд оплаты труда; C — издержки за вычетом фонда оплаты труда ($C = R - L$); $П$ — прибыль). Используемый принцип — все товаропроизводители минимизируют издержки (R) или материальные затраты (C)

На рис. 4 представлена нелинейная зависимость приведенной прибыли от z . При больших значениях z прибыль становится отрицательной, соответствует убыткам. Таким образом, на диаграмме можно выделить области убытков и максимальной прибыли. При $z = 0$ прибыль принимает отрицательное значение, равное издержкам (убыткам) по созданию основных фондов предприятий. Максимальное значение прибыли наблюдается при больших z , что соответствует малому ФОТ. Там же нанесены хаотические траектории движения, соответствующие различным временным периодам.

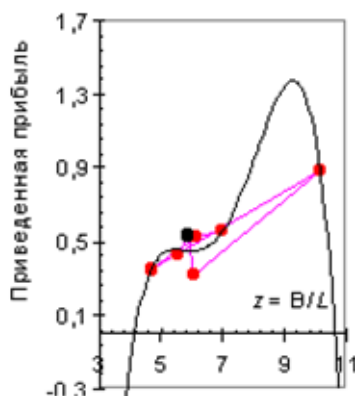


Рис. 4. Функциональная зависимость приведенной прибыли $p = П/L$ от приведенного дохода $z = B/L$ для всей промышленности Свердловской области в 1996–1997 гг. Убытки соответствуют «отрицательной» прибыли. Гладкая кривая соответствует аппроксимирующей кривой

Рис. 5 дает наглядное представление о структурном сдвиге в показателях совокупных издержек для всей промышленности области, которые произошли в 1996–1997 гг. по сравнению с периодом 1970–1986 гг. Кривая 1 характеризует наличие устойчивого равновесия в доперестроечный период при $z = 3,83$. Кривая 2 свидетельствует о сильном отклонении приведенных издержек в последующие годы от прежней точки равновесия.

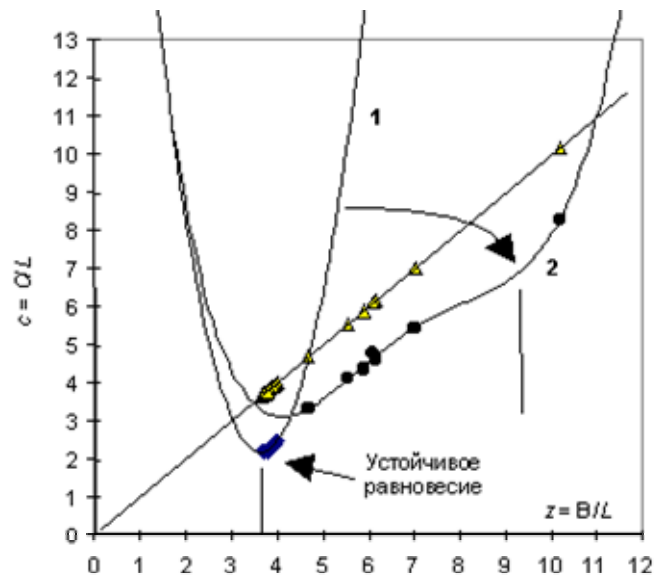


Рис. 5. Функция материальных издержек $c = C/L$ для промышленного потенциала Уральского региона в 1970–1986 гг. (кривая 1) и всей промышленности области в 1 кв. 1996 — 3 кв. 1997 г. (кривая 2). Наблюдается процесс деформации потенциальной функции и формирования новой точки равновесия при малом ФОТ (большой величине z) в условиях завышенных издержек по сравнению с предыдущим временным периодом

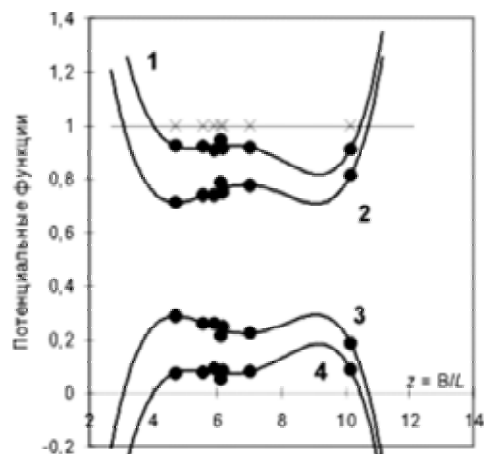


Рис. 6. Вид потенциальных функций для всей промышленности Свердловской области в 1996–1997 гг. (R/V (кривая 1), C/V (2), G/V (3), $П/V$ (4)) в канонической форме в зависимости от $z = B/L$, соответствующей условиям баланса:

$$V = R + L, \quad \Pi = V - R. \quad \text{Прибыль в некоторых точках максимальна, издержки минимальны}$$

Для всей промышленности в целом наблюдался процесс деградации с образованием новой точки равновесия при $z = B/L = 9,2$, т. е. малой величине ФОТ. Эта точка фиксируется как неустойчивая. Согласно теории катастроф, имеет место временная деформация потенциальной функции с образованием новой точки равновесия. Следующий рисунок (рис. 6) позволяет более четко, чем рис. 3, выявить существование двух устойчивых точек равновесия. Динамика показателей при этом может рассматриваться как хаотическая [19]. Для функции полных издержек R/V имеется только один устойчивый глобальный минимум, второй минимум является локальным и неустойчивым. Минимизируемая функция C/V имеет два устойчивых минимума, равных по величине. Правый минимум соответствует условию равновесия системы при малом ФОТ (в те годы имела место невыплата зарплаты, проявлявшая устойчивую тенденцию роста в последующие временные периоды). Отклонения от минимальных значений соответствуют состояниям неравновесия. Величина барьера перехода из правого минимума в другой может быть выражена при таком анализе в стоимостных характеристиках (недостатках денежных средств) на основе численных расчетов.

Выбор целевых функций. Данный подход позволяет сформулировать различные стратегии динамической оптимизации сложных по своей структуре и видам деятельности отраслей, а также и предприятий; статистические данные по ним суммируются по ветвям графов, начиная с нижних структурных уровней предприятия. Частные случаи возможных стратегий включают минимизацию всех статей издержек, максимизацию прибылей и ее структурных составляющих и определение оптимальных соотношений между оплатой труда, численностью работников и другими показателями в приведенной (относительной) стоимостной форме. Это может осуществляться в условиях быстро изменяющейся рыночной стоимости основных фондов (показателем которых является курс акций предприятия) и изменяемых внешних параметров — ставок налогообложения, кредитной ставки, притока внешних инвестиций и др.

Был проведен дополнительный анализ, который включал рассмотрение показателей, отнесенных к полным издержкам R , в зависимости от приведенного совокупного дохода $z = V/L$. Фонд оплаты труда (L/R) (рис. 7) имеет максимальное значение при $z = 3$. Критерии управления могут быть выбраны из социальных приоритетов: если считать, что нас интересует максимально возможная зарплата в устойчивом развитии, то имеем характеристики развития — самоорганизацию или деградацию, указанные на рисунке. Здесь, как и выше, под самоорганизацией будем понимать движение к норме (норме хаотичности), определяемой из каких-либо социальных приоритетов. Под деградацией — отклонение от нормы и движение в сторону ухудшения социальных показателей. Реальная экономическая жизнь, как мы видим, извлекает порядок из моря неустойчивости. Следует отметить, что данный анализ указывает на тип порядка, которому несвойственна периодичность.

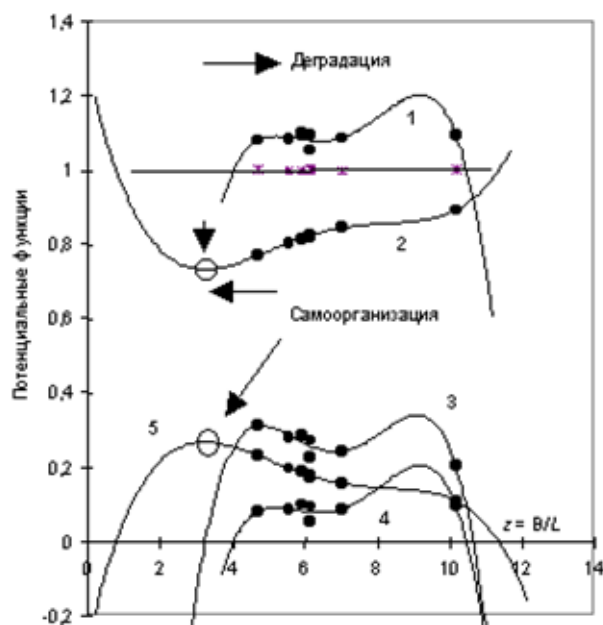


Рис. 7. Зависимость приведенных показателей промышленности (кривая 1), C/R (2), G/R (3), P/R (4), L/R (5) от V/L . Выбор целевых функций. Переход от стратегии максимизации нормы прибыли (максимум на кривой 4) к стратегии максимизации ФОТ (максимум на кривой 5) и минимизации совокупных издержек (кривая 2)

Поскольку все используемые показатели даются в приведенной форме, то представляет интерес рассмотрение и сравнение аналогичных показателей для отдельных отраслей.

Аналогичная обработка статистических данных по легкой промышленности показала, что для нее теоретический глобальный минимум издержек, превышающий уровень промышленно развитых стран, имеет место при $z = 2,1$, т. е. при большой величине оплаты труда L ; локальный — при $z = 3,3$. Величина барьера мала, поэтому хаотическая динамика данного показателя — перескок из одного минимума в другой — для отрасли выражается в явном виде (рис. 8).

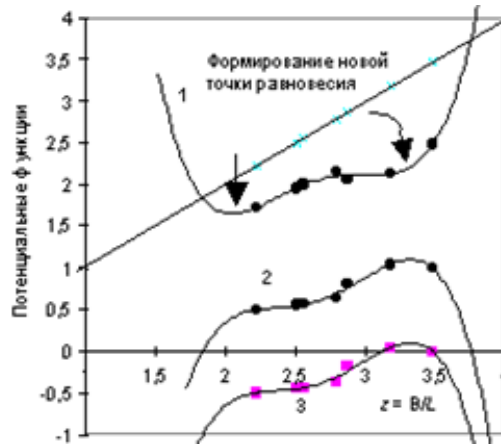


Рис. 8. Зависимости функции издержек $c = C/L$ (кривая 1), чистого дохода $g = G/L$ (2) и прибыли $p = П/L$ (3) для убыточной легкой промышленности Свердловской области в период 1 кв. 1996 — 3 кв. 1997 г.

Для легкой промышленности при общем уменьшении валового дохода в 1996–1997 гг. имел место завышенный по сравнению с другими отраслями размер ФОТ, что привело к сдвигу точки равновесия в область меньших значений z . Для всей промышленности области размер ФОТ является заниженным на фоне постоянно уменьшающегося с каждым кварталом объема валового дохода. Состояние для него при $z = 4,9$ неустойчиво.

Переход проявился в последнем квартале 1996 г. в связи с невыплатой зарплаты. Имел место переход к хаотическому режиму — этот режим осуществлялся в сверхбыстрой временной шкале. Прибыль легкой промышленности была при этом ничтожной (рис. 9).

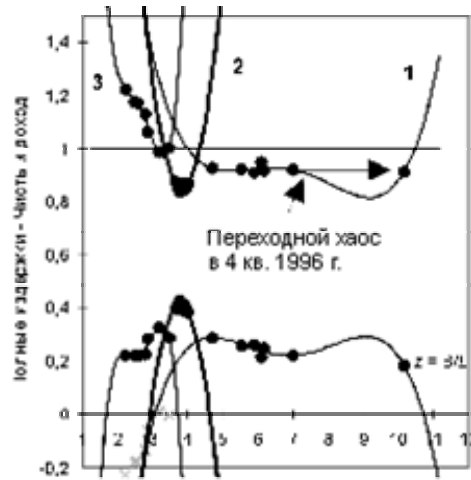


Рис. 9. Структурные сдвиги в динамике отраслей.

Сравнение приведенных полных издержек (R/B) и чистого дохода (G/B) для промышленности Свердловской области в целом (1), легкой промышленности (3) в 1996–1997 гг. и для промышленности Уральского региона в 1970–1986 гг.

Аналогичный анализ для химической промышленности показал (рис. 10), что к 1998 г. для нее сформировалась новая локально устойчивая точка равновесия для издержек при $z = 6,2$. Сами издержки увеличились, а чистый доход по сравнению с доперестроечным периодом существенно уменьшился. Обработка статданных полиномом второй степени дает нишу в виде параболы (устойчивое состояние), в виде полинома третьей степени показывает на неустойчивость этого состояния, а обработка полиномом четвертой степени (включая статданные за предшествующие периоды) дает две точки равновесия, одна из которых является глобально устойчивой.

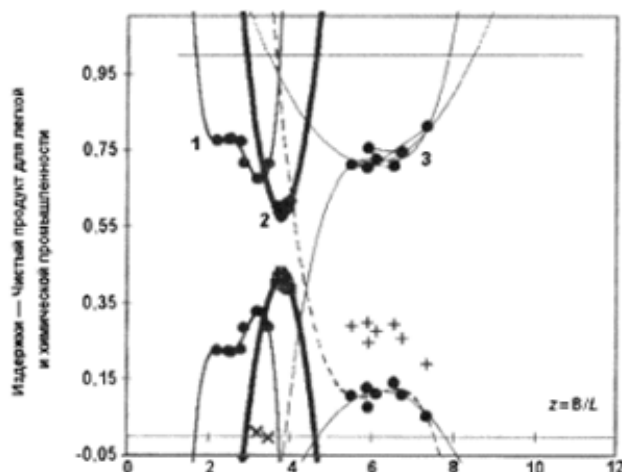


Рис. 10. Структурные сдвиги в динамике отраслей. Сравнение приведенных полных издержек (R/B) и чистого дохода (G/B) для легкой промышленности (1), химической промышленности (3) в 1996–1997 гг. и для промышленности Уральского региона в 1970–1986 гг. (2)

Следует отметить, что если перечень показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий и отраслей может быть существенно расширен, в том числе за счет введения таких показателей, как объемы собственных и заемных средств, текущих активов и обязательств и др., то число функций управления возрастает и аналогичный анализ на оптимум уже выполняется для коэффициентов финансовой независимости и общей ликвидности.

4. Математические вопросы описания устойчивости отраслей на примере катастрофы сборки

Процедура определения критической точки z_c , а также определение параметра порядка h являются в теории катастроф необходимыми этапами перехода к математическим каноническим выражениям, в том числе для потенциальной функции r и уравнению состояния системы (r'), «привязанных» к точке K (рис. 11), что существенно упрощает математический анализ неравновесных состояний. Рис. 11 дает некоторое наглядное представление о таком переходе.

Потенциальная функция r (1) в канонической форме катастрофы сборки (2) для замкнутой системы (без учета внешних факторов — ставки налогообложения, кредитной ставки и т. д.) имеет вид:

$$F^* = \frac{1}{4}\eta^4 + \frac{1}{2}a^*\eta^2 + b^*\eta, \quad (5)$$

где управляющие параметры равны

$$a^* = 3z_c^2 - 3z_k^2; \quad b^* = (b_1 - r')/4b_4 - 2z_k^2 + 3z_k z_c^2. \quad (6)$$

Здесь $h = z - z_k$ — параметр порядка, показывающий отклонение z от среднего по двум точкам равновесия значения z_k . В решаемой задаче на рис. 11 $z_k = -b_3/4b_4 = 6,916216$, $z_c = (b_2/6b_4)^{1/2} = 6,817241$. Полученное в данном расчете малое различие в численных значениях этих величин свидетельствует о близости состояния к критическому. В критической точке $b^* = a^* = h = 0$. Проходя через нее, система становится однофазной, так как потенциальная функция имеет один экстремум (минимум).

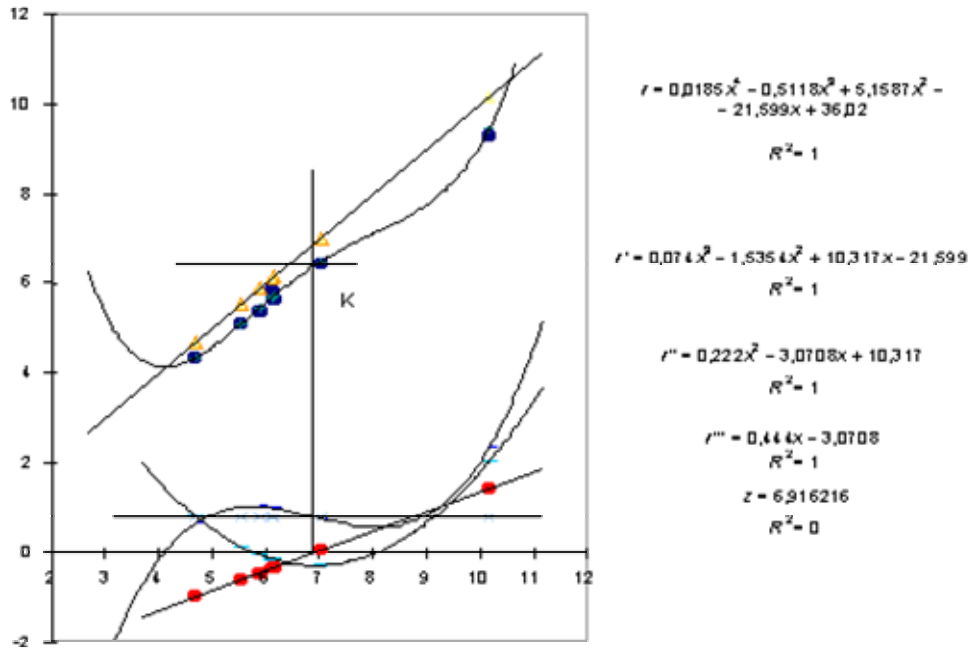


Рис. 11. Алгоритм определения критической точки катастрофы сборки для функции полных издержек в приведенной форме $r = R/L$. Приведены ее производные (r' , r'' , r''') в зависимости от $z = B/L$. Вся промышленность Свердловской области находилась в области метастабильных (неустойчивых) состояний, поэтому переход к хаотическому режиму (4 кв. 1996 г.) детерминирован

Требуемые для расчета параметры b_1, b_2, b_3, b_4 определяются для функции r из обработки статистических данных. В критической точке $b^* = a^* = h^* = 0$. Тем самым делается переход к величинам η, z_k, z_c (и другим), имеющим определенный экономический смысл. В обратной задаче, таким образом, все коэффициенты b_i могут быть выражены через величины, имеющие определенный экономический смысл. Внешние факторы в (1) включаются по процедуре Л. Ландау, разработанной им в теории неравновесных фазовых переходов, в результате получаем:

$$D^* = D^*(H); \quad F^* = F^*(\eta, a^*, b^*, H),$$

здесь H — внешний управляющий параметр. Внешние факторы деформируют потенциальную функцию, сдвигают точки равновесия, изменяют устойчивость системы, переводят систему в хаотический режим и т. д.

Динамика показателей описывается или в виде релаксационных уравнений типа

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{\partial F^*}{\partial \eta}, \quad (7)$$

или в виде дифференциальных уравнений

$$\ddot{\eta} + \gamma \dot{\eta} + \frac{\partial F^*}{\partial \eta} = H \cos(\omega t), \quad (8)$$

здесь γ — константа затухания.

Если следовать классическим методам описания хаоса [19], то может быть определен критерий хаотичности, показывающий при какой амплитуде внешнего фактора H и приведенной частоте его действия периодическая (регулярная или нерегулярная) эволюция в одной потенциальной нише захватывает другую нишу. Для апробации моделей должны быть выбраны крупные предприятия и отрасли промышленного региона, по которым известны статистические данные. Квазистатистический метод позволяет проводить анализ текущего состояния предприятия в сравнении с состоянием отрасли или в целом с эволюцией всей сферы производства, например, всей промышленности региона.

Метод в его полной постановке с числом управляющих параметров, соответствующих катастрофам другой размерности, чем катастрофа сборки, позволяет описать динамические фазовые переходы (кризисы) и найти «критерий хаотичности» в каждом конкретном случае. Поведение в особых точках не может быть полностью детерминированным, а значит и прогнозируемым. Хотя на последующих этапах работы роль внешних флуктуаций может быть изучена в рамках такой теоретической модели более детально, следуя классической монографии В. Хорстхемке и Р. Лефевра [31].

Переход к описанию детерминированного хаоса. Помимо классического подхода в анализе иррегулярности в последнее время интенсивно развивается другой подход в рамках теории детерминированного хаоса [18, 32–34]. Уравнение (8) может быть представлено в виде [35]:

$$\ddot{\eta} + \gamma \dot{\eta} = Kf(\eta) \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT_0), \quad f(\eta) = -(\eta^3 + a^* \eta + b^*), \quad (9)$$

здесь δ — функция Дирака; k — целое число; $T_0 = T_0^*/t_0$ — период между двумя фиксируемыми моментами времени; $\gamma, \in \mathbb{K}$ — некоторые константы. Показано [18, 35], что путем интегрирования данного уравнения с любой произвольной функцией $f(\eta)$ на малом временном интервале уравнение (9) сводится к отображению Пуанкаре — дискретному уравнению, которое и дает хаотические решения. Именно такие хаотические решения накладываются на потенциальные функции и дают искомые решения, соответствующие поведению показателей на диаграммах. Отличительной особенностью данного подхода является то, что делается переход от непрерывных во времени дифференциальных уравнений к дискретным, в том числе и в задачах с последствием. В таком представлении динамика экономической системы описывается некоторым рекуррентным соотношением с дискретным временем.

Таким образом, имеет место соответствие между тем, что наблюдается в реальной экономической деятельности, и тем, что дает эта новая теория. Именно поэтому, например, фиксируемые раз в квартал статистические данные должны описываться не непрерывными, а дискретными уравнениями. В рамках таких дискретных уравнений можно определить по показателям Ляпунова и энтропии Колмогорова как быстро теряется информация о начальных условиях. Внешнее воздействие на эти системы также предполагается дискретным, в противном случае интегрирование уравнения с протяженно-дискретным воздействием в настоящее время трудно реализуемо из-за возникающих математических сложностей.

Обсуждение

Данный подход позволяет проводить качественный сравнительный анализ в реальном времени агрегированной информации по финансово-хозяйственной деятельности отрасли в наглядном геометрическом и топологическом видах, характерных для синергетики и теории катастроф. Это существенно облегчает работу пользователей — экспертов, кредиторов, экономистов предприятий, если они подготовлены соответствующим образом.

Таким образом, используя предлагаемые модели, можно давать прогнозы последствий принятых управленческих решений или готовить различные сценарии развития событий для менеджеров предприятий, принимающих решения на определенных этапах развития, включая прохождение через особые точки.

Используя в экономическом анализе теорию бифуркаций, а также принцип *minimax*, можно пытаться строить математические модели для анализа неравновесных и сильно неравновесных экономических систем с учетом иерархических, многоуровневых связей и взаимоотношений, диктуемых структурой хозяйственных и экономических связей предприятия. Для этого необходимо, чтобы функционирование исследуемых объектов могло быть формализовано в расширенном динамическом диапазоне данных, включая как полную, так и частичную информацию по направлениям их деятельности — производственной, финансовой, хозяйственной и т. д.

Реализация предлагаемого метода может осуществляться в трех направлениях: первое — разработка теории стационарных фазовых переходов (математическое обеспечение, алгоритмизация и программное обеспечение); второе — создание полных математических моделей для параметров порядка, описывающих нелинейную динамику неравновесных фазовых переходов, в том числе вблизи особых точек; третье — описание детерминированного хаоса в динамике показателей.

Используемая в данной работе математическая модель является нелинейной. Поскольку эволюция происходит вдали от возможных равновесных состояний, то для исследования и анализа явлений необходимо опираться на методы и теорию нелинейной динамики, которая изучает динамическую неустойчивость движения. Скачки из области одного минимума потенциальных функций в другой свидетельствуют о наличии «переходного хаоса» [19]. Можно говорить также о гомофаз-

ных и гетерофазных флуктуациях переменных. Предварительные исследования [7–9] показали, что включение в анализ внешних управляющих параметров — ставок налогов и кредитования, объема инвестиций и внутренних функций управления (B/L , G/L , V/R , P/R и т. д.) — может явиться эффективным методом анализа и оптимизации финансово-хозяйственной деятельности предприятий, отраслей и всей промышленности региона в целом.

В рамках данного проекта должны быть разработаны основные положения стационарной и динамической теории неравновесных фазовых переходов на микро- и мезоуровнях в рамках теории катастроф и теории бифуркаций. Здесь возникнут проблемы по идентификации переменных и параметров задачи. Тем не менее уже на первых этапах реализации этой научной программы, как мы видим, могут быть составлены алгоритмы определения устойчивости состояний (локальной или глобальной) несмотря на хаотическую динамику переменных. Данный подход позволит разработать унифицированные методы диаграммного представления текущих состояний экономических объектов,

характеризующихся обширной базой данных по показателям финансово-хозяйственной деятельности предприятий. В результате будут созданы возможности идентификации текущих состояний, определения их устойчивости, локальной или глобальной, области метастабильных состояний и особых (критических) точек, отслеживать их изменение, в том числе при резких изменениях внешних управляющих параметров, и их релаксацию.

Автор признателен Ковалевой Г. А. за предоставленные статистические данные и первые об-суждения данной работы.

Литература

1. Ансофф И. Стратегическое управление. М.: Экономика, 1989.
2. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем // Сорос. образоват. журнал. 1996. № 6. С. 109–116.
3. Чернавский Д. С. Синергетика и информация. Динамическая теория информации. М.: Наука, 2001.
4. Быстрай Г. П. Нелинейная экономика // Деловой мир. 1993. № 61.
5. Анимица Е. Г., Ратнер Н. М., Быстрай Г. П. Синергетические аспекты устойчивого развития России и ее регионов // Географические проблемы стратегии устойчивого развития природной среды и общества. М.: Издание РАН, Науч. Совет по фундам. географ. проблемам, 1996. С. 194–207.
6. Быстрай Г. П., Анимица Е. Г. Нелинейная модель оценки угроз экономической безопасности в проблеме устойчивого развития территории (федеральный и региональный уровни) // Тез. Междунар. науч. конгр. «Народы содружества независимых государств накануне третьего тысячелетия: реалии и перспективы». СПб., 15–17 мая 1996 г. Т. 2. С. 43–45.
7. Куклин А. А., Быстрай Г. П., Рыбалко А. А. и др. Методические подходы к оценке финансовых рисков на предприятии. Препринт. Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
8. Быстрай Г. П., Николаева Е. В., Журкина А. В. Валютные рынки: математическое моделирование хаотических состояний. Препринт. Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
9. Куклин А. А., Быстрай Г. П., Козицин А. А. и др. Предприятие и финансовая безопасность региона. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002.
10. Быстрай Г. П., Пивоваров Д. В. Неравновесные системы: целостность, эффективность, надежность. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989.
11. Касти Д. Большие системы: связность, сложность, катастрофы. М.: Мир, 1982.
12. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
13. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
14. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1985.
15. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М.: Мир, 1989.
16. Заславский Г. М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984.
17. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984.
18. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1988.
19. Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990.
20. Арнольд В. И. Теория катастроф. М.: Наука, 1983.
21. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. М.: Мир, 1984. Т. 1, 2.
22. Lorenz G. Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion. Berlin: Springer-Verlag. 1992.
23. Aubin J.-P. Dynamic Economic Theory. Springer, 1997; Lorenz H.-W. Nonlinear Dynamics and Chaotic Motion. Springer, 1997.
24. Tripa R. R. Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets. Irwin, 1995. 8; Gleick J. Chaos. Making a New Science. Penguin Books, 1988.
25. Peters E. E. Fractal Market Analysis. Applying Chaos Theory to Investment and Economics. John Wiley & Sons, INC. 1994.
26. Bystrai G. P. Dynamic Chaos in Macroeconomics: The Problem of formalized Discription: Conf. «Evolutionary Econ. and Chaos Theory», Amsterdam, May 6–8. Amsterdam, 1993. P. 17–18.
27. Bystrai G. P. Analytic Macroeconomics: Management on the Eve of Chaos // The Third Inter. Workshop on Artificial Intelligence in Econ. and Managment. Portland, Oregon, USA, Aug. 25–27, 1993. Portland, 1993.

28. *Bystraj G. P.* Analytic Macroeconomics: Dynamics of The non-equilibrium Economics Processes // Book of Abstracts an Interdiscipl. Integrat. Forum on Studies of General Systems and Applications in Engineer., Economics, Social and Other Sciences. Juli 13–15, 1995. P. 39–40. Slippery Rock, USA.

29. *Akimov L. A., Kirpich S. A. and Bystraj G. P.* Harmonisation Criterion Maximization of Economical Sitem Performance: Conf. «Evolutionary Econ. and Chaos Theory», Amsterdam, May 6–8, 1993. Amsterdam, 1993. P. 17–18.

30. *Ковалева Г. А., Соловьева Н. С.* Методические основы оценки эффективности и интенсификации общественного производства в регионе. Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1991.

31. *Хорстхемке В., Лефевр Р.* Индуцированные шумом переходы. М.: Мир, 1987.

32. *Глейк Дж.* Хаос. Создание новой науки. СПб.: АМФОРА, 2001.

33. *Кроновер Р. М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000.

34. *Кузнецов С. П.* Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001.

35. *Быстрай Г. П., Студенок С. И.* Двумерные отображения для нелинейного ротатора с кусочно-постоянным коэффициентом затухания, возбуждаемого периодическими ударами // Изв. вузов: Прикладная нелинейная динамика, 2002. № 6. С. 24–34.

[1] Работа частично финансировалась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ-Урал № 02-06-96416) и Российского гуманитарного научного фонда (грант № 03-02-00369).

G. P. Bystraj

SYNERGY METHODS IN ANALYSIS OF STRUCTURAL CHANGES IN INDUSTRY: DEVELOPMENT OF STANDARDIZED MODELS AND ANALYTICAL ALGORITHMS ON SUSTAINABILITY OF CURRENT STATES UNDER OUTER AND INNER CONTROL

The present paper is directed at solving a fundamental problem of creating algorithms to optimize performance of enterprises and branches of industry within a region (oblast) being in great non-equilibrium state when their production, economic and financial indicators, while interacting with each other in non-linear way, are dependant on changeable outer factors as well as on inner functions of control. The problem is considered to be critical in the theory of strategic control.