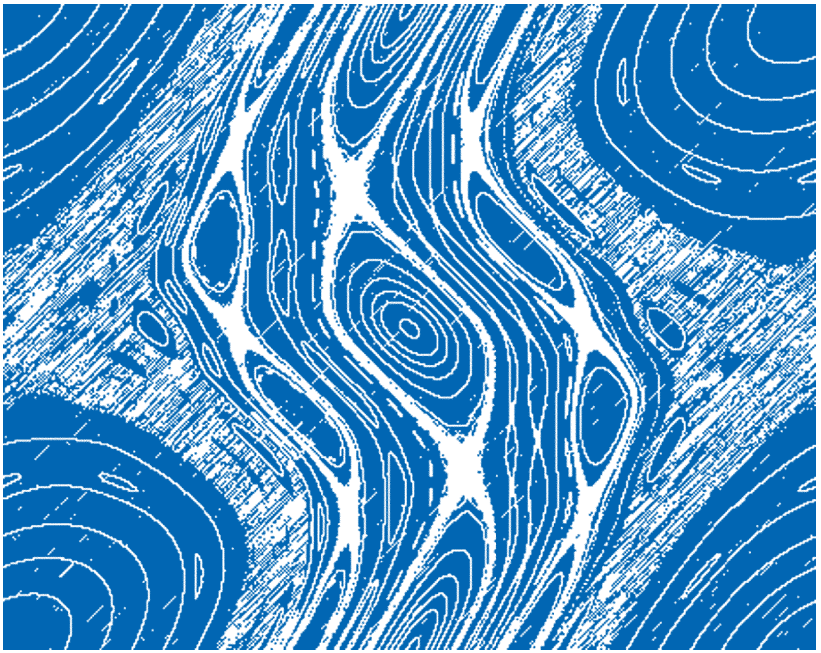
Е.Г. Пугачева
К.Н. Соловьенко

НФПК
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ФОНД ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Самоорганизация социально-экономических систем



Министерство образования Российской Федерации
Байкальский государственный университет экономики и права

Е.Г. Пугачева
К.Н. Соловьенко

САМООРГАНИЗАЦИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Иркутск
Издательство БГУЭП
2003

УДК 316.4:303.725 (075.8)
ББК 60.5я7
П 88

Подготовлено при финансовом содействии Национального фонда подготовки кадров в рамках его Программы поддержки академических инициатив в области социально-экономических наук

Научный редактор д-р экон.наук, проф.Н.В.Амбросов
Рецензенты д-р физ.-мат.наук, проф.И.А.Финогенко
д-р филос.наук, проф.А.Н.Трухин

Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н.
П 88 Самоорганизация социально-экономических систем: Учеб. пособие. — Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003. — 172 с.

ISBN 5–7253–0834–0

Самоорганизация социально-экономических систем происходит по определенным законам, аппарат для исследования которых приводится в пособии. Используя этот аппарат, можно строить модели социально-экономических систем, в том числе для их реализации на компьютере. Такой подход дает возможность, в частности, прогнозировать социально-экономические процессы, находить условия, которые позволят избежать нежелательных сценариев развития системы и, наоборот, приблизиться к желательным.

Инструментарием, описанным в пособии, является синергетика, называемая новой парадигмой XXI в.

Пособие адресовано студентам, магистрантам и аспирантам — социологам, экономистам, математикам, специалистам по компьютерному моделированию, всем, кто интересуется синергетикой и ее приложениями. Его могут использовать политологи, предприниматели, консультанты и специалисты по прогнозированию социально-экономических систем на микро-, макро- и мегауровнях.

The problems of socio-economic development are considered in the framework of the concepts and methods of nonlinear dynamics (synergetics). The basic nonlinear models and their application to socio-economic analysis are described. A great deal of attention is devoted to the problems that are resistant to standard approaches.

The text-book could be of any interest to economists, sociologists, specialists in computer simulation of socio-economic processes.

ББК 60.5я7

ISBN 5–7253–0834–0

© Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н., 2003
© Издательство БГУЭП, 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 6

1. Синергетика как инструмент социально-экономического исследования 12
1.1. Синергетический подход в социологии и экономике: некоторые итоги и перспективы 12
1.1.1. История возникновения синергетики 12
1.1.2. Синергетика и социальные науки 15
1.1.3. Почему социологи и экономисты обращаются к синергетике? 19
1.2. Методика синергетического анализа сложных систем 20
1.2.1. Нужна ли социологам и экономистам математика? 20
1.2.2. Что изучает синергетика? 22
1.2.3. Как синергетики исследуют системы? 23
1.2.4. Что такое математическая модель? 27
1.2.5. Особенности моделирования социально-экономических систем 29
Задания и упражнения 32

2. Некоторые сведения из теории обыкновенных дифференциальных уравнений 34
2.1. Основные понятия 34
2.2. Как выглядят решения? 37
2.3. Качественная теория дифференциальных уравнений 40
2.4. Фазовая плоскость 41
2.5. Локальный анализ динамических систем на плоскости 44
2.6. Предельные циклы 48

2.7. Поведение фазовых кривых на фазовой плоскости 50
2.8. Элементы теории бифуркаций 51
2.9. Многомерные динамические системы 55
2.10. Системы с дискретным временем 57
2.11. Свойства странного аттрактора 67
Задания и упражнения 74

3. Моделирование социально-экономических систем 77
3.1. Некоторые базовые математические модели и их применение в исследовании социально-экономических процессов 77
3.1.1. Модель Мальтуса 77
3.1.2. Логистическая модель 78
3.1.3. Экспоненциальная модель с отловом 81
3.1.4. Логистическая модель с отловом 82
3.1.5. Мягкая логистическая модель с отловом 85
3.1.6. Модель Лотки–Вольтерра 86
3.2. Примеры моделирования социально-экономических процессов 88
3.2.1. Моделирование рыночных механизмов 88
3.2.2. Модель многоступенчатого управления 97
3.2.3. Модель конфликтной ситуации 99
3.2.4. Математическое моделирование системы образования 102
Задания и упражнения 107

4. Эвристический потенциал теории самоорганизации 108
4.1. Методологические ориентиры социально-экономического анализа в рамках синергетического подхода 108
4.2. Кризисы и катастрофы в социально-экономической системе 110

4.2.1. Социальные кризисы и катастрофы в современном мире 110
4.2.2. Бифуркационная природа социальных катастроф ... 112
4.2.3. Социальная природа современных катастроф 116
4.2.4. Устойчивое развитие 118
4.3. Синергетический подход к управлению 119
4.3.1. Управление сложными изменениями методом организационного развития 121
4.3.2. Менеджмент в современном сильно изменяющемся мире 123
4.3.3. Принципы управления социально-экономическими системами 124
4.4. Социальное прогнозирование 126
4.4.1. В чем состоит проблема прогноза? 126
4.4.2. Причины сложности и простоты 127
4.4.3. Возможна ли социальная прогностика? 129
4.4.4. Социальное прогнозирование в условиях «динамического хаоса» социальной системы 131
4.4.5. Сценарное прогнозирование 133
4.5. Человек в меняющемся мире 139
4.5.1. Формирование нелинейного мышления 140
4.5.2. Открытость 144
4.5.3. Проблема выбора 148
Задания и упражнения 149

Интервью с профессором Г. Хакеном 152

Заключение 157

Предметный указатель 159

Список использованной и рекомендуемой литературы 161

ВВЕДЕНИЕ

Оратор должен предлагать
самое лучшее, а не самое легкое.

Демосфен

Выделение социологии в качестве самостоятельной научной дисциплины состоялось лишь в середине XIX в. К этому времени давно уже были сформированы такие «сложные» научные дисциплины, как физика, математика, химия и другие точные и естественные науки. Более того, поднимая кубок в честь Нового года на рубеже XX в., многие видные физики всерьез говорили о том, что основные законы мира уже открыты и на долю будущих поколений остается только умело применять эти законы. Социологическое же знание накапливалось веками, возникнув еще в древние времена как простая фиксация событий с точным указанием даты, места и основных действующих лиц. Приобрести статус научного знания социологии долгое время не позволял ряд недостатков и ограничений. Среди них — проблема верификации ее выводов и положений.

Перед процессом социального познания всегда стоял соблазн описать не столько реально существующее, сколько желаемое состояние общества. Формирование социологических методов, привлечение математического аппарата знаменовали собой революционный переворот в социальном познании. Впервые в истории социального знания появилась возможность не только качественного, но и количественного социального анализа. Социология теперь может выводить и объяснять закономерности, строить прогнозы и разрабатывать практические рекомендации. Однако в современных условиях стремительного изменения социально-экономической жизни традиционные методы социологии, возможно, достаточно точно «фотографирующие» социальную действительность, не позволяют «схватить» ее динамику. Это приводит к созданию моделей процессов, которые давно уже ушли вперед.

Среди проблем, с которыми столкнулась современная российская социология, — эффект постоянно увеличивающегося запаздывания, проявляющийся в разрыве между реальным состоянием общества и его социологическим диагнозом [8; 95]. Подобные проблемы, однако, характерны не только для российской, но и для мировой социологии. Так, президент Американской социологической ассоциации М. Хэллинэн один из недостатков современной социологии видит в том, что она оказалась не готова к прогнозированию и объяснению ряда процессов, и в частности распада коммунистической системы. По ее мнению, современные теории объясняют социальные изменения в медленные, менее динамичные периоды истории. Но такие события последнего десятилетия, как распространение национализма и терроризма, эпидемия СПИДа, стремительное развитие компьютерных технологий, требуют новых теоретических подходов. Новые теории должны обращаться к процессам, протекающим в условиях ускоренного развития, глобальных взаимосвязей, мгновенных коммуникаций и сложных технологий. Специалисты полагают, что в этих условиях целесообразно применять теории хаоса и катастроф, родившиеся в естественных науках. В частности, с их позиций советская система достигла критической точки, когда было достаточно легкого толчка, чтобы ввести ее в хаос [141]. В таких динамичных условиях ощущается острая необходимость в методах социологического анализа, чувствительных к малым причинам, которые могут породить большие следствия.

По мнению ряда исследователей (см., напр.: [136]), один из таких подходов, который смог бы сыграть роль «точки роста», может предложить синергетика, или теория самоорганизации. В настоящее время накоплен немалый опыт изучения социально-экономических систем с позиций нового научного направления — синергетики. Большой вклад в развитие этого направления внесли и российские ученые: В.П. Бранский [15; 16], В.В. Василькова [17], Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов [36; 37], Г.Г. Малинецкий [30; 50–56], Н.Н. Моисеев [61–64], А.П. Назаретян [68–70], Б.Н Пойзнер [29; 81; 110], Е.А. Седов [94] и др. Иркутскими уче-

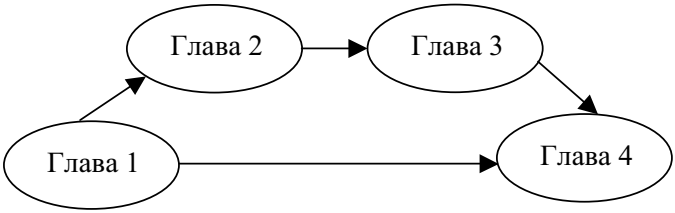
ными, известными специалистами-математиками, издана книга «Моделирование и управление процессами регионального развития», в которой исследованы модели экономики, экологии, безопасности и др. [60].

Изобретение вычислительных машин, развитие вычислительной техники оказали существенное влияние на методику работы социологов и экономистов. По сути дела, аналогом эксперимента для экономистов и социологов до последнего времени служил «жизненный» опыт, который исследователи черпали из публикаций в научных журналах, монографиях и т.д. В качестве дальнейшего совершенствования методов исследования социально-экономических систем может выступить разработка инструментария, позволяющего проводить эксперименты с моделью, а не с самой системой. Методологической основой моделирования и исследования экономики как сложной нелинейной системы может выступить синергетика. Несмотря на возросший в последние годы интерес к синергетике, наблюдаются, однако, недостаток работ в области математического моделирования социально-экономических систем и недостаточное количество коллективов, работающих на современном уровне.

К сожалению, современное социологическое образование имеет существенный пробел. Отрицательный ответ на извечный вопрос, нужна ли гуманитариям математика, в настоящее время значительно сокращает возможности социологии исследовать динамику социального развития. Методы моделирования в наших вузах для студентов экономических и социологических специальностей обычно преподаются лишь в качестве спецкурсов. Но отсутствие соответствующей математической подготовки (знания основ дифференциального и интегрального исчисления, теории дифференциальных уравнений) делает для социолога и экономиста невозможным овладение литературой по моделированию социальных процессов. Как показывает опыт, самостоятельное приобретение знаний по высшей математике в послевузовский период практически невозможно. По мнению профессора МГУ Ю.Н. Толстовой, «огромный “вал” анкетных опросов, катящийся через весь

XX в., обусловил внимание социологов к статистическим методам анализа собранных данных… Методы же, органически связанные с изучением именно социальных явлений (скажем, так называемые методы моделирования социальных процессов), при всей их многочисленности и сложности были скорее игрушкой математиков, чем серьезным подспорьем в работе социологов. Представляется, что в наше время наступил период органического единения социологии и математики. Осознание этого обстоятельства должно способствовать разработке новых подходов в деле математического описания социальных явлений и выработке на этой основе новых приемов заинтересовывания студентов-социологов в изучении математических предметов» [116].

Хорошим примером такого подхода является учебное пособие Ю.М. Плотинского «Модели социальных процессов» [79]. Настоящее учебное пособие состоит из четырех глав. Возможные варианты их изучения представлены на схеме:



В главе 1 «Синергетика как инструмент социально-экономического исследования» рассматриваются концептуальные вопросы применения идей синергетики в исследовании социально-экономических систем. В главе 2 приводятся некоторые значимые понятия синергетики, которые составляют основу для исследования математических моделей в различных областях знания. Принципиальная трудность при изучении материала данной главы состоит не столько в сложности приведенного математического аппарата, сколько в предубеждении, что математика — не для гуманитариев. Математическая экспансия всегда пугала гуманитариев. В современной науке, действительно, математика часто является инструментом агрессии. В данном случае

авторы преследуют цель не перевести социологическое знание в труднодоступную область, а дать новый инструмент исследования, который уже доказал свою жизнеспособность при решении конкретных задач [30; 59; 78; 97].

Важнейшей идеей синергетики в исследовании сложных систем является концепция иерархии упрощенных моделей, в основе которой лежит набор базовых математических моделей. В главе 3 «Моделирование социально-экономических систем» показано, что в исследовании различных процессов можно значительно продвинуться, применяя относительно простые математические модели. В качестве примеров синергетического подхода к исследованию социально-экономических процессов приведены модель рыночных механизмов В.В. Лебедева [44], модель многоступенчатого управления В.И. Арнольда [2], модель конфликтной ситуации М.Н. Либенсона [97, с. 187–192] и модель системы образования Г.Г. Малинецкого [30; 97, с. 311–356].

В главе 4 «Эвристический потенциал теории самоорганизации» внимание акцентируется на особенностях в постановке проблем прогнозирования и управления в рамках синергетического подхода. Переформулировка некоторых знакомых задач и проблем может оказаться весьма плодотворной и инициировать поиск решения в новых областях.

И наконец, исходной точкой социологического исследования является человеческая личность. Синергетический подход выглядит многообещающим в решении новой глобальной проблемы современности — проблемы человека в меняющемся мире. Сегодня фундамент жизнеустройства, дающий людям чувство уверенности в будущем, подорван. Нужно своевременно подготовить людей к новым условиям жизни, научить конструировать свой собственный жизненный путь, обрести смысл существования в потоке социальных трансформаций, которые субъективно воспринимаются как лишенный внутренней логики хаос. Стоит отметить, что в конце XX в. взгляды на цели и сущность экономического развития в значительной мере изменились. Среди подходов, оказавших принципиальное влияние на постановку проблемы, можно назвать

концепцию «возможностей выбора» А. Сена, лауреата Нобелевской премии в области экономики 1998 г. Согласно Сену, экономическое развитие — это процесс, в центре которого находится человек. Главная идея Сена состоит в том, что развитие должно расширять возможности человека в различных областях, в том числе возможности выбора цели и образа жизни, а уровень жизни следует оценивать потому, могут ли люди вести такую жизнь, которую они считают достойной (см.: [129]). С таких позиций ответственное и осознанное решение проблемы выбора, стоящей и перед государством, и перед отдельной личностью, может рассматриваться как необходимое условие решения социальных проблем.

Синергетика — очень молодая наука. Ее восприятие в современном мире неоднозначно. В конце учебного пособия приводится интервью с профессором Г. Хакеном — человеком, давшим жизнь этому научному направлению, в котором он отвечает на волнующие многих вопросы синергетического образования.

Авторы будут рады получить отзывы, замечания, рекомендации на настоящее пособие. Адреса электронной почты:

ap@math.isu.ru
solo@isu.runnet.ru

1. СИНЕРГЕТИКА КАК ИНСТРУМЕНТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Синергетический подход в социологии и экономике: некоторые итоги и перспективы

1.1.1. История возникновения синергетики

1963 год ознаменовался событиями, которые явились знаковыми в становлении новой науки, названной впоследствии синергетикой. В этом году фантаст Р. Брэдбери опубликовал рассказ «И грянул гром», в котором сформулировал идею динамического хаоса: малые причины могут иметь большие следствия. Герой рассказа отправился в прошлое на машине времени. Там в глубине веков он раздавил бабочку. Вернувшись назад, он попал совсем в другой мир. «Она упала на пол — изящное маленькое создание, способное нарушить равновесие, повалились маленькие костяшки домино... большие костяшки... огромные костяшки, соединенные цепью неисчислимых лет, составляющих Время... Не может быть, чтобы она что-то изменила. Мертвая бабочка — и такие последствия? Невозможно!»[1] Математики назвали такое свойство чувствительностью к начальным данным.

В этом же году метеоролог Э. Лоренц предложил модель конвекции воздуха, описанную системой дифференциальных уравнений. Просчитав ее на компьютере, Лоренц столкнулся с неожиданным результатом. История такова: Лоренц захотел перепроверить результат, полученный на компьютере ранее. Задав начальные данные с точностью до тысячных (программа же рассчитывала значения до шести значащих цифр), он получил результат, значительно отличающийся от предыдущего. Как и в рассказе Брэд-

[1] Фантастика Рея Брэдбери.М., 1964.

бери, трудно было предположить, что такая незначительная неточность могла привести к такому большому расхождению результатов. Заслуга Лоренца в том, что он увидел в данном расхождении не ошибку, а серьезный научный факт. Позже он был сформулирован как явление динамического хаоса. Важнейшим результатом исследования динамического хаоса явилось установление конечного *горизонта прогноза*.

И наконец, в 1963 г. лауреат Нобелевской премии Р. Фейнман высказал мысль о принципиальной ограниченности нашей способности предсказывать даже в мире, который идеально описывается классической механикой. Оказалось, что мы не можем дать «долгосрочный прогноз» поведения огромного количества сравнительно простых систем. Формально они являются детерминированными, т.е. точно зная текущее состояние систем, можно установить, что произойдет с ними в далеком будущем. В то же время сколь угодно малая неточность в определении начального состояния системы нарастает со временем, и с некоторого времени мы теряем возможность что-либо предсказывать. Такое поведение характерно для многих объектов, которые изучают экономика, психология, социология.

С этого времени в основном в естественных науках стал накапливаться материал, подтверждающий справедливость приведенных утверждений. Динамический хаос был обнаружен в системах самой различной природы. Новое научное направление Г. Хакен назвал *синергетикой*. Это слово произошло от греческого слова «синергетикос», что в переводе означает «совместное кооперативное действие». «Я назвал новую дисциплину синергетикой. В ней исследуется совместное действие многих подсистем (преимущественно одинаковых или нескольких различных видов), в результате которого на макроскопическом уровне возникает структура и соответствующее функционирование. С другой стороны, для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизующимися системами, необходимо кооперирование многих различных дисциплин» [124].

Следует отметить, что единая наука о самоорганизации имеет несколько названий. Так, в Германии она зовется синергетикой.

Во франкоязычных странах эта теория носит название теории диссипативных структур и развивается в рамках бельгийской научной школы под руководством лауреата Нобелевской премии И. Пригожина. В США теория самоорганизации известна как теория динамического хаоса. В отечественной литературе принят преимущественно термин «синергетика».

Синергетику можно охарактеризовать по-разному, а именно:

– синергетика — наука о самоорганизации физических, биологических и социальных систем; наука о коллективном, когерентном поведении систем различной природы;

– синергетика — термодинамика открытых систем, находящихся вдали от равновесия;

– синергетика — наука о неустойчивых состояниях, предшествующих катастрофе, и их дальнейшем развитии;

– синергетика — наука об универсальных законах эволюции в природе и обществе.

Неоднозначность определений, параллелизм и разнобой в терминологии имеют свое объяснение. Бурные темпы развития новой области, переживающей период «штурма и натиска», не оставляют времени на унификацию понятий и приведение в стройную систему всей суммы накопленных фактов. Кроме того, исследования в новой области ввиду ее специфики ведутся силами и средствами многих современных наук, каждая из которых обладает свойственными ей методами и сложившейся терминологией. И наконец, отдельные научные школы и направления акцентируют внимание на различных аспектах сложного и многообразного процесса самоорганизации [21].

1980-е годы для синергетиков — это эпоха безудержного оптимизма и эйфории. Стало издаваться много журналов по нелинейной динамике — «Chaos», «Physica D», «Nonlinearity», «Physical Review E», «Прикладная нелинейная динамика» и др. К этому времени относится блестящий успех синергетики — открытие сценариев перехода от порядка к хаосу. Результаты исследований стали успешно применяться в радиоэлектронике, биофизике, медицине, в области химических технологий и т.д. Специалисты по нелиней-

ной динамике достигли больших успехов. Они вошли в моду и стали популярны. Признанию идей синергетики в научном сообществе во многом способствовал механизм массовой культуры. Один из «отцов» теории самоорганизации Д. Рюэль в своей монографии «Случай и хаос» констатирует: «…хаос вошел в моду и стал предметом конференций… Успех хаоса приобрел характер события на уровне средств массовой информации» (цит. по: [29, с. 21–22]).

1.1.2. Синергетика и социальные науки

В конце 1980-х гг. ученые начинают обсуждать возможность применения теории хаоса в социальных науках. В основном, за небольшим исключением, среди них были профессиональные математики и физики. Нужно сказать, что в экономике методы синергетики оказались востребованными несколькими годами раньше, чем в других социальных науках (например, в исследованиях, связанных с рынком ценных бумаг).

Первые работы шли по пути перевода новых математических понятий и терминов на диалекты социальных наук. Во многом результаты этого направления опирались на знаменитые труды И. Пригожина и его школы.

Затем развитие социальных теорий, использующих концепции синергетики, миновало собственную точку бифуркации: выделились несколько методологических путей [14]:

1. Философское направление, исследующее новые возможности теории познания. Например, в России при Институте философии РАН и Московском международном синергетическом форуме был открыт научно-исследовательский семинар «Философия образования» [66].

2. Установление существования хаотических режимов. Подобные исследования, безусловно, очень важны. Так, для историка обнаружение хаотической компоненты может иметь принципиальное значение: в этом случае можно говорить о внутренней неустойчивости процесса, когда небольшие воздействия или случайные флуктуации могут привести к значительным изменениям.

Однако данное направление исследований столкнулось с рядом серьезных трудностей. Среди них — проблема стандартизации методов, отграничивающих детерминированный хаос, обусловленный внутренними параметрами, от случайных флуктуаций, возникающих вследствие внешних воздействий на систему.

3. Создание математических моделей социальных феноменов. Рецепт создания математических моделей в общих чертах может быть представлен в следующем виде: возьмем (после формализации интересующей нас социальной проблемы) некие «разумные» гипотезы, связывающие параметры задачи, в качестве исходных предположений. Далее запишем для них соответствующие уравнения (нелинейные) и исследуем решения с помощью компьютера. Неоспоримым достоинством данного подхода является возможность исследования процесса в динамике и установления причинно-следственных связей, которые не могут быть выведены из наших начальных гипотез с помощью обычной логики. Однако этот подход в настоящее время также испытывает ряд серьезных затруднений.

Во-первых, для большинства гуманитариев компьютер с не совсем понятными численными методами остается «черным ящиком». В этом состоит основная причина недоверия гуманитариев к знаниям, полученным по схеме: на входе — несколько гипотез; на выходе — много красивых картинок и рассуждения о влиянии отдельных параметров на хаотическое поведение системы. Можно сказать, что традиционное взаимодействие гуманитариев и математиков во многом себя исчерпало, и для преодоления кризиса необходимы новые подходы. Сказывается недостаточное внимание образования к уже появившимся курсам, которые могут создать необходимые условия для синтеза экономики, социологии (либо любой другой социальной науки), информатики и математики и вывести социальные науки на качественно новый уровень [87; 104].

Во-вторых, появление и широкое внедрение компьютеров породило иллюзию, что «чем больше мы учтем, тем лучше». Провал нескольких крупных исследовательских проектов показал несостоятельность данного подхода. Например, реализация американского проекта «Биосфера», связанного с моделированием экологических

процессов, в котором участвовали около 700 ведущих специалистов, привела к результатам, не допускающим какой-либо разумной интерпретации [30, с. 79]. Более перспективным в этом отношении явился синергетический подход, в основе которого лежит выделение параметров порядка (т.е. выделение небольшого числа переменных сложной системы, к которым подстраиваются в процессе развития другие параметры). Это значительно упрощает систему и вселяет надежду на возможность моделирования сложных систем, зависящих от огромного количества параметров. Однако на практике задача выделения параметров порядка до сих пор остается очень сложной, решаемой только для небольшого числа задач.

И наконец, существуют проблемы измеримости параметров, «реалистичности гипотез», корректности взаимосвязей. Методы получения количественных данных в экономике, социологии и других связанных с человеком науках существенно отличаются от приемов, используемых в естествознании. Объективную информацию о субъективных факторах часто приходится извлекать с помощью тестов, опросов, анализа косвенных данных. В таком случае вместо поиска строгих формул, удовлетворяющих статистическим данным, исследователи пытаются найти динамические системы с подобным поведением. Примером тому может служить аттрактор Ресслера, являющийся «строительным блоком» для исследований во многих областях знания, от химической кинетики до модели забастовочного движения. В этом случае акцент делается не на количественном, а на качественном описании системы. Рассматриваемое направление получило название *мягкого моделирования*, которое иногда определяют как искусство получать относительно надежные выводы из анализа малонадежных моделей. Однако остается открытым вопрос о том, соответствует ли реальной практике модель, построенная «под картинку».

4. Моделирование на основе количественных методов. Отдельным направлением развития социосинергетики являются количественные методы. Исходным материалом при построении модели служат количественные данные социальных наук. Плодотворный язык для описания целого ряда социальных явлений — веро-

ятностный. Вероятностная функция распределения легко поддается измерению (например, с помощью частых социологических опросов). Одной из заметных работ концептуального характера является статья Ф. Мюллера-Бенедикта «Хаос и самоорганизация: новые теоретические положения в социальных науках», исследователя, принадлежащего к Социологическому семинару Геттингенского университета, где давно уже сложилась традиция изучения теоретических аспектов количественных методов в истории и социальных науках. Среди основных проблем, с которыми сталкиваются исследователи, работающие в указанном направлении, можно выделить следующие: недостаточный объем данных, отсутствие стандартных статистических методов и соответствующих программных пакетов, невозможность повторных измерений, большие погрешности, в которых истинные флуктуации системы неразличимы за статистическим шумом.

Отметим, что количество исследований, применяющих «нелинейную науку», резко возросло за последние три–четыре года. В программах научных конференций последних лет по методологии научного знания, новым информационным подходам в социальных науках заметен интерес к использованию теории динамической стохастичности при изучении социальных явлений и процессов.

Так, в сентябре 1995 г. в университете Умеа в Швеции прошла конференция по бифуркациям и хаосу в экономических и социальных системах. Председателем конференции был один из создателей математики хаоса, автор теории фрактальных множеств, профессор Йельского университета Б. Мандельброт. В конференции приняли участие 36 ученых из Европы, Америки, Китая и Японии. Большинство докладов были посвящены экономическим приложениям, однако до трети докладов затрагивали и социальные проблемы.

С 1996 г. в России действует Московский международный синергетический форум, объединяющий специалистов самых различных отраслей знания. Форум был организован по инициативе В.Д. Поремского (1910–1997), известного в мире физика русского происхождения, который видел в синергетической деятельности будущее России и всего мира [66].

Ежегодно в США проходит международная конференция «Теория хаоса в психологии и науках о жизни» [148].

1.1.3. Почему социологи и экономисты обращаются к синергетике?

Синергетика прежде всего имеет громадное значение в качестве новой точки зрения на события, которые происходят в мире, отличающейся от традиционного детерминистического взгляда, который доминировал в науке со времена Ньютона. Таким образом, синергетика полезна как средство интерпретации научных данных в новом ракурсе.

Теория социальной самоорганизации позволяет по-новому подойти к решению целого ряда проблем:

– исторического детерминизма («все дозволено» или «все предопределено»);

– природы социально-экономических кризисов и путей их преодоления (возможно бескризисное развитие общества или нет);

– критерия социального прогресса (существует объективный критерий такого прогресса или его нет);

– возможности долгосрочного социального прогнозирования;

– возможности коэволюции (согласованного развития) природы и общества и др.

Актуализация синергетической методологии связана с особенностями современной эпохи, где «нестабильность, изменчивость социального калейдоскопа парадоксальным образом становятся чуть ли не наиболее устойчивой характеристикой современности. Происходит интенсивная трансформация общественных институтов, изменение всей социальной, культурной среды обитания человека и параллельно — его взглядов на смысл и цели бытия» [72]. В результате изучения различных систем различной природы, способных к самоорганизации, складывается новое — нелинейное — мышление. Оно характеризуется тремя «не»: неравновесность, неустойчивость, необратимость. Вместе с концепциями флуктуации, бифуркации, когерентности (кооперативности) эти

три категории образуют, по существу, «новую базовую модель мира и познания, дают науке "новый язык"» [131, с. 130].

Синергетика — очень молодая наука. Ей всего три с небольшим десятилетия. Здесь пока больше вопросов, чем ответов. В ней нет простых и ясных рецептов. Она, скорее, помогает задавать вопросы. Но, как известно, правильно поставленный вопрос — это уже путь к решению.

Важнейшей характеристикой синергетики является ее междисциплинарность. Последнее означает сотрудничество представителей различных научных направлений. Междисциплинарность подразумевает два этапа. На первом специалист из какой-то области обращается к идеям и представлениям синергетики, применяет их к своей задаче и находит решение. Это удается очень многим. На втором этапе он возвращается с полученным результатом в свою область и убеждает коллег в нетривиальности данного решения. Со вторым этапом, как показывает опыт, справляется гораздо меньшее количество ученых [56].

В настоящее время работы по использованию концепций синергетики в социальных науках продолжаются. В ближайшие годы можно ожидать получения новых результатов.

1.2. Методика синергетического анализа сложных систем

> По некоторым оценкам, к середине XXI века в сфере производства будет занято всего 5–7% населения. Возникнет огромный резерв людей, которые смогут работать над решением задач по переустройству общества, связанному с переходом человечества на новый этап цивилизационного развития.
>
> *Н.Н. Моисеев*

1.2.1. Нужна ли социологам и экономистам математика?

Наиболее распространенными ответами на данный вопрос являются следующие:

1. Применение математических методов выступает главным критерием научности. Если результат опирается на математические выкладки, значит, это научно обоснованный факт.

2. Выводы математиков слишком абстрактны и не могут описать реальное богатство социально-экономических взаимодействий. В области общественных наук математики в лучшем случае умеют моделировать лишь собственные фантазии.

Абсолютизация достоинств и недостатков математического знания приводит к тому, что выводам математиков либо доверяют безоговорочно, либо не доверяют вообще. В результате, с одной стороны, происходит всемерная математизация всех областей научного знания, включая социологию; с другой стороны, потенциал математики остается невостребованным, заполняя нишу выхолощенного, формализованного знания.

Традиционное взаимодействие социологов, экономистов и математиков во многом исчерпало себя. Между тем сложность задач, стоящих перед обществом, требует более конструктивных подходов, объединяющих усилия специалистов разных областей знания во имя решения острых проблем современности. Одной из задач междисциплинарного сближения может быть не попытка обучить гуманитариев математике (что часто гуманитариями воспринимается как «кара божья») или упростить курс математики, а стремление *воспитать восприимчивость к математическим идеям*, которые могли бы выступить в качестве «точек роста» для многих неразрешенных на сегодняшний день социальных проблем.

Синергетика могла бы помочь в исследовании вопросов неустойчивости, изменчивости, непредсказуемости социального мира. Однако этот математический инструментарий можно употребить и неправильно. Т. Постон и И. Стюарт по поводу инструментария теории катастроф писали: «Прошедшее десятилетие свидетельствует, что он является мощным средством, способным пролить свет на решение самых разнообразных проблем, но требует осторожного и умелого обращения» (цит. по: [53, с. 119]). Это в полной мере может быть отнесено и к синергетике. Инструмен-

тарий синергетики разрабатывался в недрах такой отрасли математики, как нелинейная динамика. Его применение оказалось плодотворным во многих областях знания, в том числе и в социологии. Но для того чтобы воспользоваться потенциалом синергетики, нужно владеть соответствующими методами, уметь выбирать и оценивать необходимые для данных целей важнейшие параметры.

1.2.2. Что изучает синергетика?

Синергетику часто определяют как науку о самоорганизации систем различной природы. Термин «система» наиболее часто встречается в научной литературе. На сегодняшний день, однако, отсутствует единое понимание такой основополагающей категории, как «система» (существуют более 40 определений). В качестве рабочего определения выберем следующее: *система — это совокупность объектов и процессов, называемых компонентами, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, которые образуют единое целое, обладающее свойствами, не присущими его компонентам, взятым в отдельности*.

Различают простые и сложные системы. *Простые системы* имеют небольшое число элементов. Количество взаимосвязей между элементами невелико. Простые системы почти не зависят от окружающей среды, хорошо управляемы, поведение их предсказуемо и мало изменяется во времени. *Сложные системы*, напротив, состоят из большого числа элементов, между которыми имеются многочисленные взаимосвязи. Если в простых системах существует единственная причинно-следственная связь, то в сложных системах причины часто отделены от следствий как в пространстве, так и во времени. Поведение сложных систем обладает рядом свойств, которые отсутствуют у простых систем и являются объектом пристального внимания синергетиков[2].

[2] Следует, однако, учитывать случаи, когда система имеет огромное число элементов, но все взаимодействия унифицированы. В результате система допускает разложение на простые части. Такие системы являются простыми.

Пример

Согласно одной из типологий, общества делятся на простые и сложные. Критериями выступают число уровней управления и степень социального расслоения. В простых обществах нет ни руководителей, ни подчиненных, ни богатых, ни бедных. Таковы первобытные племена. В сложных обществах существуют несколько уровней управления, несколько социальных страт. Здесь появляются разветвленное управление и социальное неравенство. Важнейшее свойство сложных систем — их способность к управлению и самоуправлению. Последнее нашло отражение в английской поговорке XVII в.: «Англия управляется королем, верхней палатой, нижней палатой и сама собой».

1.2.3. Как синергетики исследуют системы?

Основной путь исследования системы — это построение модели. *Моделирование* — процесс, посредством которого исследователь стремится понять определенные аспекты реальной жизни. Модель не является точной копией реальности, а представляет собой упрощенный ее вариант, согласованный с задачами исследователя. Один и тот же объект в зависимости от целей исследования может иметь разные модели. Например, в игре «Дочки–матери» моделью человека является кукла, при испытании парашюта — мешок с песком (100 кг), при испытании противоударных средств в автомобиле — ватный макет с большим числом датчиков...

С моделями мы часто встречаемся в обычной жизни, возможно, не подозревая, что это модели.

Примеры

– карта дорог — облегчает поиск пункта назначения и лучшего пути к нему;

– модель самолета или автомобиля — наглядно демонстрирует вид создаваемого образца и предназначена для проведения испытаний;

– манекен — используется для демонстрации одежды;

– курс «Экономикс» — представляет набор простых моделей, описывающих отдельные элементы экономической системы.

В дальнейшем под моделированием мы будем понимать теоретические модели реальности, а не процесс изготовления моделей каких-либо предметов, например самолетов.

Моделирование как метод исследования имеет альтернативу. Это — словесный, или «вербальный», анализ, оперирующий произвольными категориями с расплывчатыми результатами, которые трудно оценить. Нисколько не умаляя достоинств этого метода исследования, уместно указать на часто встречающийся недостаток «вербального» анализа: «Не пользующаяся математическими символами человеческая логика зачастую запутывается в словесных определениях и делает вследствие этого ошибочные выводы — и вскрыть эту ошибку за музыкою слов иногда стоит огромного труда и бесконечных, часто бесплодных, споров» [2, с. 30].

Процесс моделирования — это скорее искусство, чем наука. Тем не менее, он предполагает некоторые вполне определенные этапы. *Моделирование — это прежде всего умение выделить главное.* Модели должны быть по возможности простыми, однако они должны включать все самые *важные части* исследуемой системы (оригинала), самые *важные функции* и самые *важные связи*, внутрисистемные и внешние. Но таких элементов, выбранных для последующего детального исследования, должно быть ограниченное количество, например не более четырех–пяти частей, двух–трех функций и четырех–шести связей, иначе будет трудно вести анализ.

Для того чтобы найти главные части и связи системы, следует сосредоточить внимание на трех важных моментах:

1. Определить *главную цель* системы, ответив на вопросы о том, зачем существует система и какие *главные функции* она выполняет.

2. Понять работу системы и определить *главные части* (подсистемы), участвующие в выполнении главной функции.

3. Установить *важные связи* между этими частями.

При этом связи и части системы будут действительно важными, если после их исключения из нее система «рассыпается». И наоборот, если мы исключили какую-то часть или связь и ни-

чего не изменилось, то это не главная часть или, соответственно, не важная связь.

Пример

В экономике есть два основополагающих понятия — спрос и предложение. Экономисты иногда шутят: «Научите попугая произносить два слова — спрос и предложение — и перед Вами готовый экономист». Однако исторически модель спроса и предложения строилась не так просто. А. Смит, отец экономической науки, в своей знаменитой книге «Богатство народов» (1776) оставил будущим поколениям вопрос: «Что есть цена?» Чтобы получить ответ на него, понадобились более ста лет. Разрешить загадку пыталась теория трудовой стоимости Д. Рикардо. Однако эта теория описывала предложение, но не описывала спрос. В результате она стала классической теорией издержек, но не теорией цены. Для того чтобы превратиться в теорию цены, ей не хватало одного очень важного элемента — спроса. Аналогичный недостаток имела альтернативная теория — маргинализм. Она описывала спрос, но не описывала предложение. Загадка А. Смита была разгадана лишь в 1890 г. А. Маршаллом в книге «Принципы экономической теории», где в виде диаграммы была предложена модель спроса и предложения. Этой модели уже более ста лет. Тем не менее, сегодняшняя микроэкономическая теория мало отличается от того, о чем писал А. Маршалл.

Следует помнить, что рецептов построения хорошей модели не существует. Известный американский ученый Р. Шэннон указывал, что «любой набор правил для разработки моделей в лучшем случае имеет ограниченную полезность и может служить лишь предположительно в качестве каркаса будущей модели или отправного пункта в ее построении» (цит. по: [79, с. 91]). Кроме того, следует иметь в виду, что модель, успешно применяемая в одних случаях, в других может оказаться бесполезной. «Культура моделирования требует, чтобы для каждой модели был указан перечень условий, при которых данная модель верна. От модели не требуется истинность. Модель должна быть адекватной, работоспособной, т.е. давать удовлетворительные ответы на поставлен-

ные вопросы» [там же, с. 100]. Если модель не дает ответ на поставленный вопрос, то она уточняется или заменяется новой.

Пример

> В экономической теории часто используется линейная модель спроса и предложения. Несмотря на свою предельную простоту (в реальности кривые спроса и предложения вряд ли бывают прямыми линиями), она дает ответы на многие экономические вопросы: установление рыночного равновесия, определение равновесной цены, изменение спроса, изменение предложения и т.д. Когда же модель спроса и предложения не дает ответы на поставленные вопросы, она уточняется или заменяется новой. В этом случае, возможно, обращаются к более сложному для исследования варианту модели, где кривые спроса и предложения представляются нелинейными функциями (см., напр.: [139]).

Научиться моделированию, ограничившись только формальным усвоением каких-то правил, конечно, невозможно. Не зря говорят об искусстве моделирования, как и об искусстве медицинской диагностики, игры на скрипке, рисования. Но все же есть советы, к которым стоит прислушаться. Например, к советам академика Ю.И. Неймарка [71]. Они достаточно общие и не могут служить непосредственным указанием к действию, но дают разумные подсказки, что и как следует делать:

1. Чем проще модель, тем меньше возможность ошибочных выводов.

2. Модель должна быть простой, но не проще, чем это возможно.

3. Пренебрегать можно чем угодно, нужно только знать, как это повлияет на решение.

4. Модель должна быть грубой: малые поправки не должны кардинально менять ее поведение.

5. Модель и расчет не должны быть точнее исходных данных.

Задача построения моделей реальных социально-экономических процессов является актуальной в России. Как утверждают специалисты, у нас в стране это направление весьма слабо раз-

вито, а многие западные модели непригодны в условиях России [30, с. 121; 116, с. 115].

1.2.4. Что такое математическая модель?

Математическая модель предполагает использование математических понятий, таких как переменные, уравнения, матрицы, алгоритмы и т.д. Типичная математическая модель — это уравнение либо система уравнений, описывающие зависимость между различными переменными и константами. В зависимости от учета фактора времени математические модели делятся на статические и динамические. *Под динамическими системами понимают множество функций (правил, уравнений), которые определяют, как переменные изменяются во времени.*

Примеры

Динамической системой, заданной с помощью правила, может быть следующая закономерность: «Рост Алисы уменьшается в 2 раза каждую минуту».

Математическими моделями являются также квадратные уравнения $x^2 + px + q = 0$. Их элементы — x, p и q, причем p и q предполагаются известными и называются параметрами, а x — неизвестное.

Соотношение между элементами s, g, t и 2: $s = gt^2$ — математическая модель. Ее можно рассматривать как отображение явления свободного падения тела в поле силы тяжести.

Соотношение между элементами a, b и c, выражаемое формулой $a + b = c$, — тоже математическая модель. Она отображает, например, операцию объединения двух групп людей, численностью a и b, в общую группу, численность которой окажется c. При этом, не объединяя группы и не пересчитывая в ней людей, можно предсказать, что их будет ровно c.

Чаще всего динамические системы задаются с помощью дифференциальных уравнений или систем дифференциальных уравнений. Простейшая модель эволюции может быть представлена в виде

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = kx, \\ x(t_0) = x_0, \end{cases}$$

где k — параметр, определяющий скорость изменения процесса; x_0 — значение переменной x в начальный момент времени t_0.

Непрерывное время удобно для моделирования, так как позволяет использовать аппарат дифференциальных уравнений. Однако для приложений, поскольку, например, статистические данные всегда дискретны и относятся к конкретным единицам времени, удобнее применять аппарат разностных уравнений. В таком случае наша модель эволюции в системе с дискретным временем примет вид

$$\begin{cases} x_{t+1} = kx_t, \\ x_1 = x_0. \end{cases}$$

Заметим, что большинство известных моделей экономической динамики существуют как в непрерывном, так и в дискретном вариантах. В обоих вариантах для них могут быть получены, как правило, аналогичные результаты.

Важно различать:

– переменные и параметры;

– дискретные и непрерывные переменные;

– линейные и нелинейные системы;

– стохастические и детерминированные динамические системы.

Поясним эти термины. В настоящем учебном пособии мы будем рассматривать модели, в которых *переменные* меняются во времени, а *параметры* нет. *Дискретные переменные* принимают значения только в определенные моменты времени. Интервал времени может равняться году, кварталу, месяцу, неделе и т.д. Если в линейных моделях предполагается линейная зависимость между переменными, описывающими модель, то в нелинейных моделях присутствуют связи между элементами, задаваемые нелинейными функциями. *Линейные функции* — это функции, которые

графически изображаются прямой линией и могут быть записаны в виде $y = mx + b$. *Нелинейные функции* — это любые функции, не являющиеся линейными. В *детерминированных системах* будущее однозначно определено текущим состоянием системы. В *стохастических системах* будущее неоднозначно и не связано с предысторией. Типичный пример стохастических систем — бросание костей или монетки.

Синергетика занимается *нелинейными детерминированными динамическими системами*. Конечно, идея динамических систем не нова. Что нового несет в себе понятие нелинейной детерминированной динамической системы? Эти системы дают нам:

– новое понимание термина «непредсказуемость»;

– другое отношение к понятию «изменчивость»;

– некоторые новые средства для изучения данных и моделирования;

– новую парадигму.

1.2.5. Особенности моделирования социально-экономических систем

Моделирование социально-экономических систем наталкивается по крайней мере на две принципиальные трудности. Во-первых, социально-экономические системы — это сложные системы, зависящие от очень большого числа переменных. Так, например, социокультурная сфера охватывает порядка 6 млрд человек, объединенных в многообразные структуры. Во-вторых, поведение таких систем трудно поддается формализации.

Подход синергетиков к моделированию сложных систем, имеющих много степеней свободы, состоит в выделении параметров порядка. Параметры порядка — одно из базовых понятий синергетики. Основная идея данного понятия состоит в том, что в процессе эволюции выделяются несколько главных переменных, к которым подстраиваются все остальные. Эти главные переменные называются *параметрами порядка*. Выделение параметров порядка значительно упрощает процесс исследования системы. Опыт ис-

пользования такого подхода ясно продемонстрировал, что основные закономерности поведения очень сложных систем могут быть изучены при помощи относительно простых систем, включающих небольшое число переменных. Дальнейшее развитие данной идеи состоит в построении иерархии базовых моделей для исследования динамики сложных систем. Работы в этом направлении показали, что таких базовых математических моделей немного. Фактически они играют роль кубиков, комбинируя которые удается исследовать большие классы моделей различных явлений. Кроме того, исчезла иллюзия, что простые системы имеют простое поведение, а сложные — сложное. Даже простые детерминированные нелинейные динамические системы могут иметь сложное поведение.

Задача получения точных моделей и оптимальных решений в социально-экономической области в последние годы также была существенно переформулирована. Можно выделить некоторые основные причины новой постановки задачи.

Во-первых, погоня за все более точной моделью зачастую приводит к иерархии все более сложных и громоздких математических построений, реальная ценность которых не превосходит, в сущности, ценность простых выводов. В результате математиков часто обвиняют в том, что они получили в точности то, что заложили и что мы и без того знали.

Во-вторых, многие наиболее общие результаты экономической теории в определенном смысле отрицательны. Примером может служить теория социального выбора К. Эрроу, утверждающая невозможность рационального согласования интересов. Речь идет о несуществовании рационального правила общественного выбора, учитывающего мнение всех членов общества. Ряд попыток исследовать другие аспекты механизмов выбора при общих предположениях также привели к отрицательным результатам. Так, в 1973 г. Гиббард доказал, что универсальных, неманипулируемых и недиктаторских механизмов не существует (см.: [83]).

В-третьих, сопоставление теорем с опытом часто указывает на наличие неучтенных обстоятельств. А их учет приводит к разноречивым выводам. Так, решение задачи оптимизации дисконтирован-

ной суммы полезностей при технологических ограничениях позволило сделать вывод о том, что различный выбор функции полезности и значений дисконта может генерировать практически любые траектории, удовлетворяющие технологическим ограничениям. Другими словами, экономические заключения оказываются неустойчивыми относительно «малых» вариаций исходных допущений.

И наконец, проблема измерения. В отличие от объектов, изучаемых естественными науками, например физикой, в социально-экономической области отсутствуют надежные методы измерения переменных. Объективную информацию о субъективных факторах приходится извлекать с помощью тестов, опросов, анализа других косвенных данных.

В последние годы плодотворно развивается теория *мягкого моделирования*. Примером жесткой модели является таблица умножения. Простейший пример мягкой модели — принцип «Чем дальше в лес, тем больше дров». В математике разработаны методы, позволяющие делать выводы общего характера без знания точного явного вида функций. Теория мягкого моделирования — это искусство получать относительно надежные выводы из анализа малонадежных моделей. В результате исследователь не получает конкретных данных. Он обращает внимание на качественные эффекты: появление новых тенденций, возникновение новых качеств и т.д. Необходимо отметить, что, как показал опыт, процесс построения мягких моделей богат не столько конкретными решениями задач, сколько рождением новых теорий, концепций и т.д.

Пример

Жесткие модели нередко приводят к ошибочным предсказаниям. Так, в 1971 г. известный английский ученый С. Бир попытался создать жизнеспособную систему управления с тем, чтобы Чили принадлежало всемирное лидерство в кибернетическом регулировании экономики. Однако массовая коррупция, вмешательство других стран и прочие неприятности не дали реализоваться замечательным начинаниям английского кибернетика. Во многом неудачи Бира обусловлены «жесткостью» кибернетического подхода к исследованию социальных систем.

Задания и упражнения

1. Какие из событий последних лет ярко продемонстрировали, что малые причины могут иметь большие следствия?

2. Всегда ли можно найти единственную, главную причину перемен?

3. Можно ли построить модель модели?

4. Прокомментируйте слова профессора калифорнийского университета М. Кастельса: «Новая экономическая система является одновременно высокодинамичной… и высоконестабильной» [32, с. 24].

5. Если бы Вас попросили рассказать о предмете «экономика» только самое главное, что бы Вы сказали?

6. Используя шаги моделирования, рассмотрите процесс обучения в Вашем вузе. Выделите главные части, главные функции главных частей и главные связи между частями. Что Вы отнесете к несущественным частям?

7. Как изменится модель обучения в вузе в зависимости от двух различных подходов к образованию: образование — это процесс передачи знаний; образование — это процесс развития личности?

8. Американская исследовательница К. Дьюбойс назвала личность, обладающую общими для данного общества чертами, *модальной* (от взятого из статистики термина «мода», обозначающего величину, которая встречается наиболее часто в ряду или серии параметров объекта). Под модальной личностью Дьюбойс понимала наиболее часто встречающийся тип личности, обладающий некоторыми особенностями, присущими культуре общества в целом. Таким образом, в каждом обществе можно найти личности, которые воплощают средние, общепринятые черты. Модальная личность несет в себе все те общекультурные ценности, которые общество прививает своим членам в ходе культурного опыта. Эти ценности в большей или меньшей степени содержатся в каждой личности данного общества.

Постройте модели среднего американца, типичного англичанина, истинно русского. В какой степени Ваша модель истинно русского близка к модели А.П. Чехова (см.: [75, с. 466]), который замечал, что русскому человеку середина не интересна, что он — человек крайностей?

И.П. Павлов, признавая несосредоточенность, пристрастность, фантастичность русского ума, не оставлял надежды на его способность посмот-

реть на себя и окружающее без самообмана (см.: там же). Ваша модель истинно русского человека согласуется со взглядами Павлова?

9. Приведите примеры, когда применение макроэкономической модели Кейнса в мировой практике оказалось успешным, а когда не привело к ожидаемым результатам.

10. Известный экономист А. Филлипс в 1958 г. обнаружил, что статистические данные о темпах роста номинальной заработной платы и уровне безработицы для ряда стран хорошо аппроксимируются убывающей линейной зависимостью. Позднейшие исследователи вместо темпа роста заработной платы стали использовать тесно связанный с ним показатель — темп инфляции. Соответствующая зависимость и получила название кривой Филлипса. Кривая Филлипса правильно описывала связь между темпом инфляции и уровнем безработицы в Великобритании перед Второй мировой войной и в США в течение 50–60-х гг. XX в. Но в 70-е гг. динамика статистических данных в США перестала подчиняться кривой Филлипса. Было обнаружено, что темп инфляции определяется не только уровнем безработицы, но и инфляционными ожиданиями. В 70-е гг., после резкого изменения цен на нефть, стало ясно, что изменение предложения также влияет на темп инфляции. Что, по Вашему мнению, стоит сделать: усовершенствовать модель Филлипса, забыть ее или придумать собственную? Какие особенности экономического моделирования просматриваются в приведенном примере?

2. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Математика не свод готовых ответов на любой вопрос. Математика — это скорее школа мышления.

Г. Штейнгауз

Математика всегда была непримиримым врагом научных бессмыслиц.

Д. Араго

2.1. Основные понятия

К сожалению, даже в популярной форме ответить на вопросы о том, что такое хаос в динамической системе и как он возникает, невозможно без основных понятий из теории дифференциальных уравнений. Поэтому наберемся терпения и постараемся освоить азы теории динамических систем, чтобы, разобравшись в азах, мы смогли понять главное о хаосе.

Допустим, мы хотим построить математическую модель объекта, который обладает следующими свойствами:

1. Состояние объекта может быть однозначно охарактеризовано конечным набором чисел $x_1, x_2, \ldots, x_N$. Числа $x_1, x_2, \ldots, x_N$ можно интерпретировать как координаты точки, движущейся в фазовом пространстве. Эти числа называют *фазовыми переменными*. Пространство, которому они принадлежат, называют *фазовым пространством*, а величину N *— размерностью фазового пространства*.

2. Состояние объекта может меняться со временем, т.е. все числа $x_1, x_2, \ldots, x_N$ зависят только от одной независимой переменной. Поведение объекта является *детерминированным*.

3. Все зависимости $x_1, x_2, \ldots, x_N$ являются дифференцируемыми функциями независимой переменной t.

Состояние движущейся точки в фазовом пространстве определяется двумя векторами, а именно: вектором $\vec{x} = (x_1, x_2, ..., x_N)$, задающим ее геометрическое положение, и вектором скоростей $\vec{v} = (v_1, v_2, ..., v_N)$. Здесь

$$v_1 = \frac{dx_1}{dt}, \quad v_2 = \frac{dx_2}{dt}, \quad ..., \quad v_N = \frac{dx_N}{dt}.$$

Вектор $\vec{v}$ называют *фазовой скоростью*.

В теории обыкновенных дифференциальных уравнений считаются известными векторы скорости в точках фазового пространства. Множество таких векторов называют *векторным полем*.

Задача теории обыкновенных дифференциальных уравнений состоит в том, чтобы по векторному полю $\vec{v}$ и начальному положению $\vec{x}(0)$ найти траекторию точки в фазовом пространстве $\vec{x}(t)$. Другими словами, надо найти траекторию $\vec{x}(t)$, удовлетворяющую дифференциальному уравнению

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v}$$

и начальному условию $\vec{x}(0) = \vec{x}_0$. Решением дифференциального уравнения называется функция $\vec{x}(t)$, которая, будучи подставлена в это уравнение, обращает его в тождество. График функции $\vec{x}(t)$ называется *интегральной кривой*. При этом, если векторное поле $\vec{v}$ зависит только от вектора $\vec{x}$ и не зависит явно от времени, систему дифференциальных уравнений называют *автономной*. Размерность фазового пространства равна N. Если же $\vec{v}$ зависит от $\vec{x}$ и от времени, т.е. $\vec{v} = \vec{v}(x, t)$, то систему уравнений называют *неавтономной*. Фазовое пространство $\{x_1, x_2, ..., x_N, t\}$ имеет размерность $N + 1$ и называется *расширенным фазовым пространством*[1].

Рассмотренные понятия проиллюстрируем с помощью примера.

---

[1] Как правило, начальный момент времени $t_0 = 0$ выбирается только для автономных уравнений, так как там всегда можно от решения $x(t)$ с начальным условием $x(t_0) = x_0$ перейти к решению $y(t) = x(t + t_0)$ с тем же начальным условием $y(0) = x_0$. В неавтономном случае за начальные данные принимается пара (t_0, x_0) и начальные данные записываются в виде $x(t_0) = x_0$. В пособии рассматриваются в основном автономные уравнения.

Пример

Простейшим примером дифференциального уравнения является уравнение

$$\frac{dx(t)}{dt} = kx(t),\ k > 0\,,$$

где k — константа. Для простоты его иногда записывают в виде

$$\frac{dx}{dt} = kx.$$

Понятно, что решением уравнения являются те и только те функции $x = x(t)$, производная которых в каждой точке отличается от значения функции в этой точке лишь множителем k. Вспомнив правила дифференцирования и таблицу производных для простейших функций, нетрудно заметить, что решениями данного уравнения будут все функции вида

$$x = Ce^{kt},$$

где C — произвольное число. Множество этих решений обладает одним замечательным свойством: графики функций $x = Ce^{kt}$ со всевозможными числовыми значениями множителя C покрывают всю плоскость, причем через каждую точку плоскости проходит график единственной такой функции (рис. 2.1). В этом смысле приведенный пример типичен. Бесконечное множество решений — характерное свойство дифференциальных уравнений. Причем траектории пересекаться не могут по теореме единственности решения с заданной начальной точкой. Чтобы выделить из бесконечного множества зависимостей ту, которая описывает некоторый конкретный процесс, надо иметь дополнительную информацию, например знать начальное состояние процесса. Без этого дополнительного условия задача недоопределена и аналогична такой: «Автомобиль движется по прямолинейному шоссе в направлении к го-

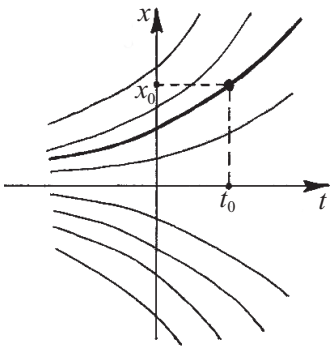


Рис. 2.1. Семейство решений (интегральных кривых) уравнения

$$\frac{dx(t)}{dt} = kx(t),\ k > 0$$

роду А с постоянной скоростью. Через какое время он приедет в город А?» В нашем примере найдем тот график, который в момент времени t_0 проходит через точку x_0. Для определения C получим уравнение $x_0 = Ce^{kt_0}$, которое имеет единственное решение: $C = e^{-kt_0}x_0$.

2.2. Как выглядят решения?

Рассмотрим автономную систему дифференциальных уравнений

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v},$$

где вектор $\vec{x}$ имеет две координаты: $\vec{x} = (x_1, x_2)$. Отвлечемся от конкретного вида решения $\vec{x}(t)$ и представим его схематически в виде графиков. Временна́я эволюция координат x_1 и x_2 приведена на рис. 2.2. Сплошными кривыми представлены зависимости $x_1(t)$ и $x_2(t)$, проходящие в начальный момент времени t_0 через x_1^0, x_2^0. При других начальных данных зависимости $x_1(t)$ и $x_2(t)$ описываются другими кривыми (например, штриховыми). Если в системе много переменных, то аналогичные кривые необходимо построить для каждой из них.

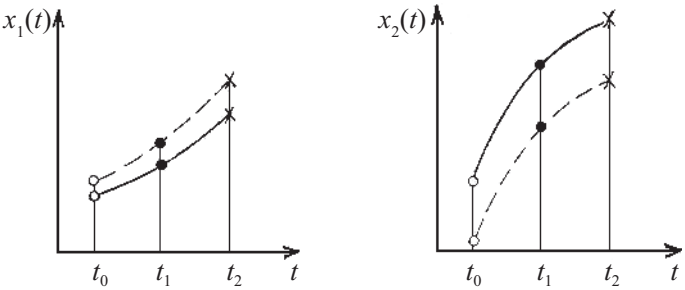


Рис. 2.2. Временная эволюция переменных x_1 и x_2

Для того чтобы построить траектории решений на плоскости x_1Ox_2, нужно сопоставить каждому значению t_i точку с координатами $x_1(t_i)$, $x_2(t_i)$. Если система в начальный момент времени t_0 находится в различных точках, то ее траектории также различны.

Координатную плоскость x_1Ox_2 при этом называют *фазовой плоскостью* (рис. 2.3). В общем случае, когда желательно проследить за всей траекторией, приходится рассматривать и $t \to +\infty$, и $t \to -\infty$ (рис. 2.4).

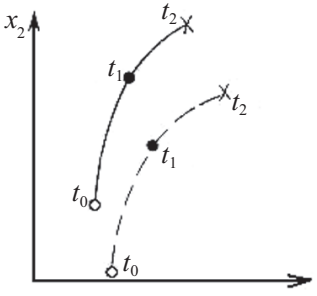


Рис. 2.3. Поведение траекторий на фазовой плоскости

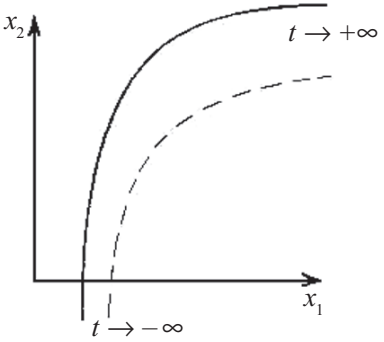


Рис. 2.4. Поведение траекторий на фазовой плоскости при $t \to +\infty$ и $t \to -\infty$

В теории дифференциальных уравнений известно, что траектории далеко не всегда идут в одном направлении: от $x = -\infty$ до $x = +\infty$, а могут по-разному заканчиваться при конечных x. Например, в двумерном случае траектории могут заканчиваться в *узле* (рис. 2.5) или в *фокусе* (рис 2.6).

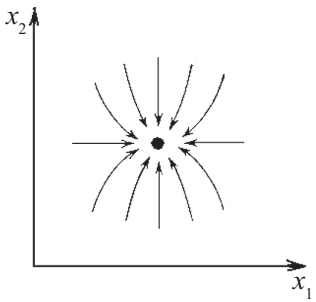


Рис. 2.5. Траектории, заканчивающиеся в устойчивом узле

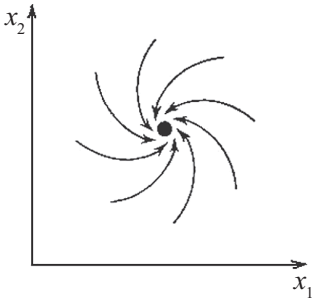


Рис. 2.6. Траектории, заканчивающиеся в устойчивом фокусе

Временная зависимость, например координаты $x_1(t)$, в случае узла и фокуса показана на рис. 2.7 и 2.8 соответственно.

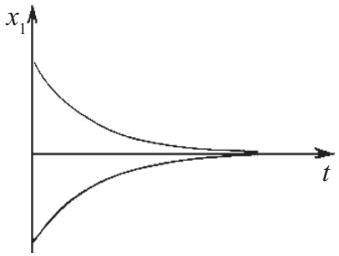


Рис. 2.7. Временная зависимость переменной $x_1(t)$ в случае узла (движение монотонно затухающее)

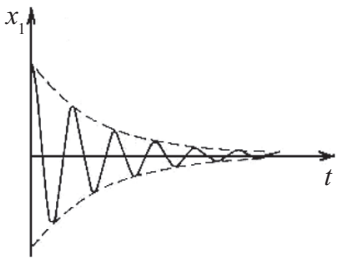


Рис. 2.8. Временная зависимость переменной $x_1(t)$ в случае фокуса (движение колебательное и затухающее)

Представляет интерес и ситуация, когда траектории заканчиваются, навиваясь на *предельный цикл* (рис. 2.9). В этом случае временная зависимость может быть представлена в виде незатухающих колебаний (рис. 2.10).

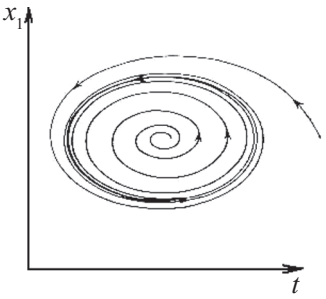


Рис. 2.9. Устойчивый предельный цикл

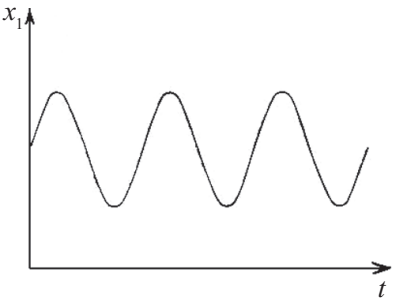


Рис. 2.10. Временная зависимость переменной $x_1(t)$ в случае предельного цикла

В математике притягивающее множество, к которому стремятся, «притягиваются» решения при $t \to \infty$, получило название *аттрактора* (от англ. *attract* — притягивать). В рассматриваемой двумерной системе возможны три типа аттракторов: точка,

замкнутая кривая и незамкнутая кривая. Решение, траекторией которого является точка (x_1^*, x_2^*), постоянно: $x_1(t) = x_1^*$, $x_2(t) = x_2^*$ для всех $t \in R$. Замкнутая кривая соответствует периодическому решению, а незамкнутая — непериодическому.

2.3. Качественная теория дифференциальных уравнений

Говорят, что основным лейтмотивом множества разделов математики, родившихся в XX в., стал анализ качеств, а не анализ чисел. Дело в том, что лишь в редких случаях удается решить дифференциальное уравнение в аналитическом виде, т.е. представить решение в виде формулы, использующей конечное число простейших операций над элементарными функциями. Значительно больше уравнений удается решить, представляя решения в виде сходящихся рядов. Но, к сожалению, часто бывает так, что наиболее существенные и интересные свойства решений никак нельзя выявить из вида полученных рядов. Более того, даже если удается найти аналитическое решение дифференциального уравнения, то далеко не всегда такое решение можно проанализировать, ибо полученная зависимость между различными параметрами часто оказывается довольно сложной.

Основы качественной теории и теории бифуркаций динамических систем были заложены в трудах великого французского ученого А. Пуанкаре, который первым понял, что, не интегрируя (не решая) дифференциальное уравнение, можно представить все основные качественные особенности поведения его решений.

Задача качественного исследования состоит в следующем: установить топологическую (качественную) структуру фазового портрета, т.е. набор таких его свойств, которые сохраняются при непрерывной деформации фазового портрета.

Пример

С точки зрения математика еж-рыба неотличима от луны-рыбы (и наоборот). Каждый из этих видов представляет собой лишь деформированную копию другого. Плавник при деформации переходит в плавник, глаз — в глаз и т.д. Иначе говоря, каче-

ственно новых анатомических (и прочих) особенностей, например нового плавника, при деформации не возникает (рис. 2.11).

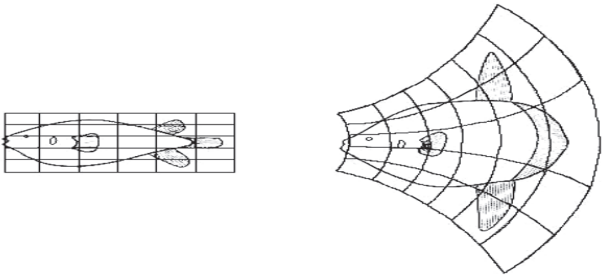


Рис. 2.11. Простым преобразованием сетки ежа-рыбу (слева) можно превратить в луну-рыбу (справа) и наоборот

В дальнейшем нас будут интересовать структурные изменения (в самом широком смысле). В отличие от примера с двумя рыбами нам придется рассматривать не статические структуры, а структуры, образуемые траекториями. Как известно, системой можно управлять извне — в математической форме этому соответствует изменение некоторых управляющих параметров. В дальнейшем мы увидим, что даже при небольших изменениях управляющего параметра свойства системы могут меняться значительно.

Эти проблемы рассматривает *качественная теория дифференциальных уравнений*. Результаты качественной теории являются очень общими. Они показывают, что огромное количество систем ведут себя одинаково.

2.4. Фазовая плоскость

Систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = P(x,\ y), \\ \dfrac{dy}{dt} = Q(x,\ y), \end{cases} \tag{2.1}$$

в которой $P(x, y)$ и $Q(x, y)$ — непрерывно дифференцируемые в некоторой области плоскости xОy (или во всей плоскости) функции, часто называют *динамический системой*, а координатную плоскость — ее *фазовой плоскостью*.

Основная задача качественного исследования рассматриваемой динамической системы состоит в том, чтобы выяснить качественную картину разбиения фазовой плоскости на траектории или, другими словами, установить *топологическую структуру* этого разбиения. Под топологической структурой принято понимать все те свойства, которые остаются инвариантными при топологическом (т.е. взаимно однозначном и взаимно непрерывном) преобразовании плоскости в себя.

Для выяснения качественной картины системы (2.1) нужно знать поведение не всех *фазовых кривых*, а лишь некоторых из них, называемых *особыми*.

Если дифференциальные уравнения вида (2.1) заданы на всей плоскости xОy, то, вообще говоря, фазовые траектории полностью покроют фазовую плоскость, не пересекаясь друг с другом. Если при этом окажется, что в некоторой точке $M_0(x_0, y_0)$ выполняются равенства $P(x,\ y) = Q(x,\ y) = 0$, то траектория вырождается в точку. Такие точки называются *особыми точками.*

В качестве исходного материала рассмотрим особые точки линейных систем второго порядка. Уравнение линейной системы имеет вид

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = ax + by, \\ \dfrac{dy}{dt} = cx + dy. \end{cases} \tag{2.2}$$

Если $ad - cd \neq 0$, то система (2.2) имеет единственное положение равновесия: $x = y = 0$. Как известно из теории обыкновенных дифференциальных уравнений [9; 10; 12; 92], качественное поведение фазовых кривых определяется собственными числами *характеристического уравнения*

$$\begin{vmatrix} a-\lambda & b \\ c & d-\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 - (a+d)\lambda + (ad-bc) = 0.$$

Корни λ_1 и λ_2 называются *характеристическими корнями* особой точки (состояния равновесия). При этом:

1. Если корни уравнения λ_1 и λ_2 действительные и одного знака, то положение равновесия — узел. При этом узел устойчивый, если $\lambda_1 < 0$ и $\lambda_2 < 0$ (рис. 2.12), и неустойчивый, если $\lambda_1 > 0$ и $\lambda_2 > 0$ (рис. 2.13).

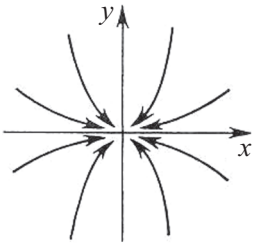


Рис. 2.12. Устойчивый узел

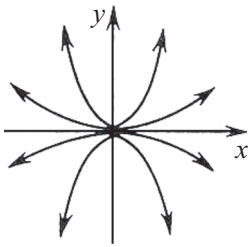


Рис. 2.13. Неустойчивый узел

2. Если корни уравнения λ_1 и λ_2 действительные и разных знаков, т.е. $\lambda_1\lambda_2 < 0$, то положение равновесия — седло (рис. 2.14). Это неустойчивый режим. При малом случайном отклонении от состояния равновесия система начинает удаляться от него в заданном направлении. Седло имеет две интегральные линии, входящие в особую точку (две полуоси $y = 0$). Их называют *устойчивыми сепаратрисами седла*. Попав на них, можно бесконечно долго двигаться по направлению к особой точке. Попав же на неустойчивые сепаратрисы седла (две полуоси $x = 0$, выходящие из особой точки), точка быстрее всего удаляется от положения равновесия.

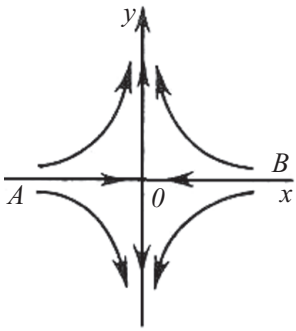


Рис. 2.14. Седло

3. Если корни уравнения λ_1 и λ_2 — комплексные числа, т.е. $\lambda_{1,2} = \alpha \pm i\beta$, то положение равновесия — фокус. При

этом, если действительная часть числа λ положительна ($\alpha > 0$), то особая точка — неустойчивый фокус (рис. 2.15). В случае отрицательной действительной части числа λ ($\alpha < 0$) особая точка будет устойчивым фокусом (рис. 2.16).

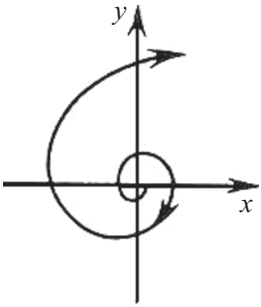


Рис. 2.15. Неустойчивый фокус

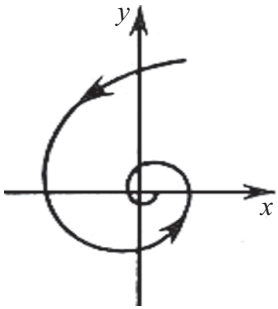


Рис. 2.16. Устойчивый фокус

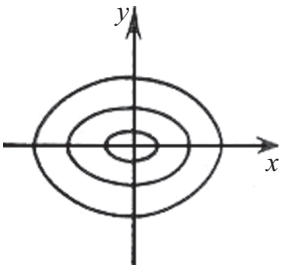


Рис. 2.17. Центр

4. Если корни уравнения λ_1 и λ_2 — чисто мнимые числа, т.е. $\lambda_{1,2} = \pm i\beta$, то особая точка — центр. Фазовая траектория системы в этом случае представляет собой эллипс (рис. 2.17). В системе наблюдаются незатухающие колебания.

Заметим, что состояния равновесия являются отдельными траекториями, так что пересечения суть не пересечения траекторий, а пересечения так называемых интегральных кривых, составленных из трех траекторий, одна из которых — состояние равновесия.

2.5. Локальный анализ динамических систем на плоскости

Вернемся к более общей системе дифференциальных уравнений (2.1). Вспомним, что при решении алгебраических уравнений принципиальную роль часто играет удачная замена переменных. Поэтому было бы естественным найти такие замены перемен-

ных в дифференциальных уравнениях, которые позволили бы представить их в наиболее простом виде. Глобально (во всем фазовом пространстве) подобную замену найти не удается. Однако если рассмотреть эту задачу локально, в небольшой окрестности фазового пространства, то такая замена может быть найдена. Из курса дифференциальных уравнений известно, что справедлива теорема о выпрямлении векторного поля [54, с. 59–60]. Согласно этой теореме, вдали от особых точек траектории локально ведут себя аналогично параллельным прямым, а устойчивость особых точек системы (2.1) в большинстве случаев определяется устойчивостью особых точек соответствующей линеаризованной системы.

Схема анализа состояний равновесия системы (2.1):

1. Найти состояния равновесия. Для этого нужно решить систему двух алгебраических уравнений

$$\begin{cases} P(x,\ y) = 0, \\ Q(x,\ y) = 0. \end{cases}$$

Пусть (x^*, y^*) — одно из решений этой системы. Пара чисел (x^*, y^*) определяет координаты особой точки в фазовом пространстве.

2. Определить тип особой точки. Чтобы определить тип особой точки, рассматривают уравнение (2.1), линеаризованное в окрестности этой точки:

$$x(t) = x^* + \Delta x(t), \quad y(t) = y^* + \Delta y(t).$$

Тогда

$$\Delta \dot{x} = P(x^* + \Delta x, y^* + \Delta y) \approx P(x^*,\ y^*) + a_{11}\Delta x + a_{12}\Delta y,$$
$$\Delta \dot{y} = Q(x^* + \Delta x, y^* + \Delta y) \approx Q(x^*,\ y^*) + a_{21}\Delta x + a_{22}\Delta y,$$

где $a_{11} = P'_x(x^*,\ y^*)$, $a_{12} = P'_y(x^*,\ y^*)$, $a_{21} = Q'_x(x^*,\ y^*)$, $a_{22} = Q'_y(x^*,\ y^*)$, т.е. правые части содержат первые три члена в соответствующих рядах Тейлора.

Пусть

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \neq 0.$$

Учитывая, что (x^*, y^*) — точка равновесия, получим линейное уравнение

$$\Delta\dot{x} = a_{11}\Delta x + a_{12}\Delta y, \quad \Delta\dot{y} = a_{21}\Delta x + a_{22}\Delta y. \tag{2.3}$$

Если вещественные части корней характеристического уравнения

$$\begin{vmatrix} a_{11} - p & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - p \end{vmatrix} = 0$$

отличны от нуля, то положение равновесия (x^*, y^*) системы (2.1) будет такого же типа, что и положение равновесия системы (2.3). Такие состояния равновесия называются *грубыми состояниями равновесия*. В том случае, когда для системы (2.3) точка (x^*, y^*) является центром, требуется дополнительный анализ (см., напр.: [9])[2].

Пример

Исследуем положения равновесия системы уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \sin x, \\ \dfrac{dy}{dt} = \sin y \end{cases} \tag{2.4}$$

и построим ее фазовые кривые.

Решение. Правые части системы уравнений (2.4) — периодические по x и y функции, поэтому достаточно исследовать систему в квадрате $K = \{(x, y) \mid 0 \le x < 2\pi, 0 \le y < 2\pi\}$.

Из системы алгебраических уравнений

$$\begin{cases} \sin x = 0, \\ \sin y = 0 \end{cases}$$

[2] Стоит отметить, что устойчивость линеаризованного уравнения не влечет за собой устойчивости исходного уравнения без дополнительных условий на вторые частные производные. Это вопрос очень тонкий и впервые был отмечен великим русским математиком А.М.Ляпуновым.Он, наряду с французским математиком А. Пуанкаре, является основателем теории динамических систем, и основной метод исследования качественных свойств решений называется методом функций Ляпунова.Устойчивость линейного приближения — это устойчивость в целом, т.е.для исходной нелинейной системы данная область может сужаться.Ее, вообще говоря, найти трудно, но функции Ляпунова позволяют получить оценки таких областей.

находим положения равновесия, принадлежащие квадрату K. Этот квадрат содержит четыре положения равновесия системы: $O(0, 0)$, $O_1(0, \pi)$, $O_2(\pi, 0)$ и $O_3(\pi, \pi)$. Составляем и решаем характеристическое уравнение, соответствующее положению равновесия (x^*, y^*):

$$\begin{vmatrix} \cos x^* - \lambda & 0 \\ 0 & \cos y^* - \lambda \end{vmatrix} = 0. \qquad (2.5)$$

Раскрывая детерминант (2.5), получаем уравнение $(\cos x^* - \lambda)(\cos y^* - \lambda) = 0$. Отсюда $\lambda_1 = \cos x^*$, $\lambda_2 = \cos y^*$. Таким образом, в точке равновесия O имеем: $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 1$. Следовательно, O — неустойчивый узел. Аналогично определяем, что O_3 — устойчивый узел ($\lambda_1 = \lambda_2 = -1$). Корни характеристического уравнения, соответствующие точкам O_1 и O_2, действительны и разных знаков, значит, O_1 и O_2 — седла. Поведение фазовых кривых изображено на рис. 2.18.

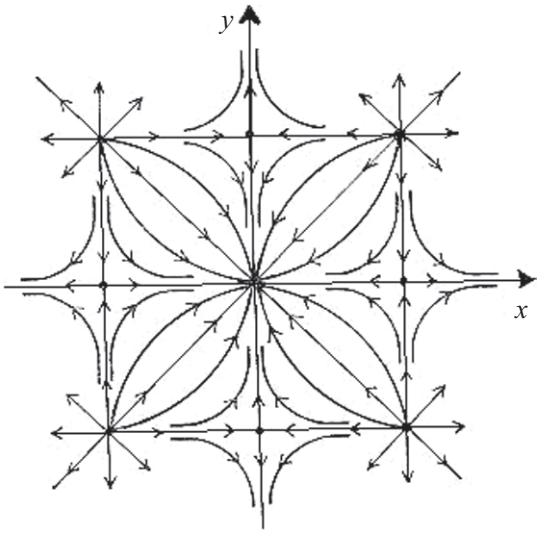


Рис. 2.18. Поведение фазовых кривых системы

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \sin x, \\ \dfrac{dy}{dt} = \sin y \end{cases}$$

2.6. Предельные циклы

Решение системы (2.1), однако, при $t \to \infty$ не всегда определяется состоянием равновесия. Оно может стремиться к периодическим функциям $x(t + T) = x(t)$, $y(t + T) = y(t)$, где T — константа. В этом случае говорят, что в системе существует устойчивый предельный цикл. Типичная картина поведения решений в окрестности предельного цикла показана на рис. 2.19. Фазовые траектории изнутри и снаружи «наматываются» на цикл. Независимо от начальных данных в системе будут происходить колебания с постоянными амплитудой и частотой. Их часто называют *автоколебаниями*.

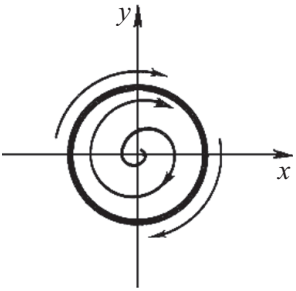


Рис. 2.19. Устойчивый предельный цикл

Предельные циклы бывают трех типов:

– *устойчивые* — близкие траектории «навиваются» на цикл при $t \to +\infty$ (рис. 2.20);

– *полуустойчивые* — траектории, лежащие по одну сторону от цикла, «навиваются» на него при $t \to +\infty$, а лежащие по другую сторону — «отходят» от цикла (рис. 2.21);

– *неустойчивые* — близкие траектории «уходят» от цикла при $t \to +\infty$ (рис. 2.22).

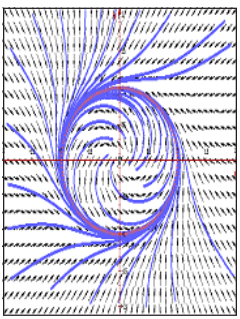


Рис. 2.20. Устойчивый предельный цикл

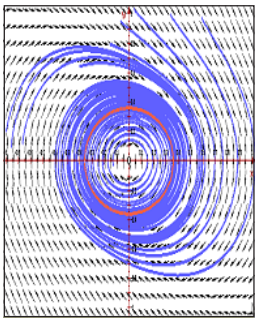


Рис. 2.21. Полуустойчивый предельный цикл

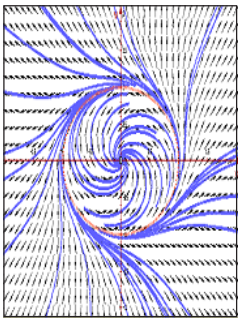


Рис. 2.22. Неустойчивый предельный цикл

Для исследования устойчивости предельных циклов используют *функцию последования*. Идея построения функции последования состоит в следующем. Проводится луч, заведомо пересекающий предельный цикл и близкие траектории. Например, проведем луч OA, выходящий из особой точки O, лежащей внутри предельного цикла (рис. 2.23). Введем координату r вдоль этого луча. Рассмотрим траекторию, выходящую из точки A, принадлежащей лучу. Пусть эта траектория в первый раз пересекает луч в точке B. Введем функцию $r_B = f(r_A)$, которая каждой точке с координатой r_A сопоставляет координату точки B; обозначим ее через r_B. Пусть r_n — координата n-го пересечения траектории с лучом. Тогда $r_{n+1} = f(r_n)$, а предельному циклу соответствует неподвижная точка этого отображения $r^* = f(r^*)$. Если $r_n \to r^*$ для всех r_1, принадлежащих окрестности r^*, то предельный цикл будет устойчивым.

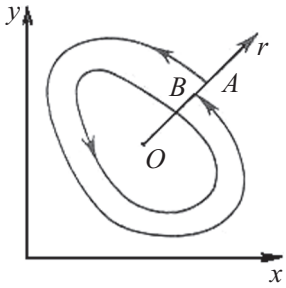


Рис. 2.23. Построение функции последования

Идея построения функции последования оказалась очень плодотворной для исследования нелинейных систем, особенно более высокого порядка (размерность фазового пространства $N>2$). Обобщение обсуждавшегося подхода носит название *метода сечений Пуанкаре*. При этом, переходя от модели (2.1) к системам большего числа измерений, вместо луча OA нужно рассматривать некоторую гиперплоскость. Например, в трехмерном случае рассматривают точки P_1, P_2, …, P_n пересечения траектории с плоскостью S (рис. 2.24). Преобразование, переводя-

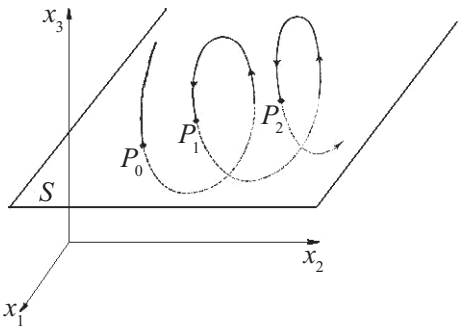


Рис. 2.24. Схематическое изображение сечения Пуанкаре

щее точку в следующую, называется отображением Пуанкаре: $P_{n+1} = T(P_n)$.

Метод сечений Пуанкаре упрощает исследование непрерывных динамических систем по крайней мере по трем причинам:

– число фазовых переменных уменьшается на единицу;

– дифференциальные уравнения заменяются разностными уравнениями вида $x_i(k + 1) = f(x_i(k))$, $i = 1, 2, \ldots, N$, которые значительно легче поддаются исследованию;

– резко сокращается число данных, подлежащих обработке, так как почти всеми точками на траектории можно пренебречь.

Кроме того, многие системы дифференциальных уравнений порождают сходные отображения. Поэтому сейчас часто одномерные и двумерные отображения рассматриваются как упрощенные модели различных процессов. Более подробно свойства одномерных отображений будут изложены в разделе «Системы с дискретным временем».

2.7. Поведение фазовых кривых на фазовой плоскости

Начиная исследование систем, мы ставили задачу установления топологической (качественной) структуры фазового портрета, т.е. такого набора его свойств, которые сохраняются при непрерывной деформации фазового портрета. Это очень важное для задачи моделирования условие, так как если мы моделируем реальный процесс, то функция и параметры, входящие в систему, нам, скорее всего, известны приближенно.

Одним из основных понятий качественной теории является понятие *грубой* (структурно устойчивой) *системы*. В качестве определения грубости было взято свойство сохранения структуры фазового портрета при малых изменениях системы. Важный результат состоит в том, что кроме устойчивых особых точек и предельных циклов других притягивающих множеств, называемых *аттракторами*, в грубых динамических системах вида (2.1) не бывает. Сепаратрисы связывают седловые положения равновесия с узлами (фокусами) и предельными циклами, образуя вместе

с ними «каркас» фазового портрета, определяющего поведение всех остальных траекторий системы.

Итак, исследование окрестности положения равновесия (2.1) — это локальная задача качественной теории дифференциальных уравнений. В отдельных случаях, изучив поведение фазовых кривых в окрестности каждого положения равновесия, удается решить глобальную задачу качественной теории — определить поведение фазовых кривых системы (2.1) на всей фазовой плоскости, или установить структуру разбиения фазовой плоскости на траектории. Однако в общем случае эта задача довольно сложная.

В настоящее время качественное исследование эволюционных процессов стало доступно широкому кругу пользователей благодаря наличию и стремительному совершенствованию соответствующего программного обеспечения (пакеты прикладных программ *STELLA*, *Mathlab*, *Mathematica* и др.).

Исследуя систему дифференциальных уравнений, можно забыть о содержательном смысле переменных и использовать математический аппарат, разрабатываемый в течение нескольких столетий целым рядом выдающихся математиков. При интерпретации полученных качественных оценок необходимо снова вернуться к языку содержательных понятий для оценки адекватности и осмысленности сделанных математических выводов.

2.8. Элементы теории бифуркаций

Качественные математические модели ставят перед собой задачу описывать принципиальные, качественные свойства изучаемых процессов, а не их детальные характеристики. Возникающие при исследовании таких моделей вопросы должны носить качественный характер. Качественные вопросы естественно разделить на две категории.

Вопросы первого типа относятся к поведению системы при фиксированных значениях параметров. Самым существенным при этом является качественное понимание характера режимов, устанавливающихся в системе. Ответы на такие вопросы можно по-

лучить из фазового портрета системы, т.е. совокупности всех ее траекторий, изображенных в фазовом пространстве. Как было показано ранее, среди этих траекторий имеется некоторое число основных, которые и определяют качественные свойства системы. К ним относятся прежде всего точки равновесия, отвечающие стационарным режимам системы, и циклы (замкнутые траектории), отвечающие режимам периодических колебаний. Будет ли режим устойчивым или нет, можно установить по поведению соседних траекторий: устойчивое равновесие или цикл притягивает все близкие траектории, неустойчивое — отталкивает хотя бы некоторые из них. Особый интерес представляют области притяжения различных устойчивых режимов и границы этих областей.

Вопросы второго типа касаются событий, происходящих в системе при изменении значений параметров. Постепенное изменение параметра может приводить к тому, что при пересечении некоторого критического значения установившийся в системе режим претерпевает качественное изменение. При таких перестройках меняется фазовый портрет изучаемой системы. Качественные перестройки фазового портрета называются *бифуркациями*. Вопросы второго типа, следовательно, подразумевают определение бифуркационных (критических) значений параметров и описание явлений, происходящих при переходе через критические значения. Таким образом, возникает задача разбиения пространства параметров системы на области с качественно различными типами динамического поведения — построения параметрического портрета системы. Построенный параметрический портрет вместе с соответствующими фазовыми портретами в концентрированном виде содержит информацию о возможных в системе динамических режимах и их качественных перестройках.

Рассматривая какую-нибудь конкретную модель, всегда можно считать, что она является грубой, т.е. не меняет свои качественные свойства при небольших изменениях системы. Но если нас интересует целое семейство моделей, зависящих от параметра a, то нам иногда будут встречаться негрубые ситуации. Например, при изменении параметра a действительная часть корней ха-

рактеристического уравнения меняет знак, проходя через точку «нуль». В этом случае при изменении параметра a мы переходим от одной грубой системы к другой через негрубую, в которой топологическая структура фазового портрета меняется.

Таким образом, задача качественного исследования системы, зависящей от параметров, состоит в том, чтобы описать все возможные в ней бифуркации, разбить множество бифуркационных значений параметров на области с различными типами грубых фазовых портретов и построить для каждой области соответствующий ей фазовый портрет. Этим занимается теория бифуркаций. Теория бифуркаций является одним из основных инструментов современной нелинейной динамики. С математическим аппаратом этой теории и даже основными приложениями нельзя ознакомиться во вводном курсе. Однако представляется полезным рассмотреть основные идеи и обсудить эвристическую ценность теории бифуркаций.

Многочисленные компьютерные эксперименты, которые проводились в последние 20 лет, показали, что мы имеем дело с новым уровнем единства. В начале XX в. единство природы проявлялось в том, что множество самых разных явлений описывались одними и теми же линейными уравнениями, т.е. в универсальности математических моделей. Сейчас стало ясно, что качественные свойства различных уравнений могут оказаться одинаковыми. Единство связывается не с появлением аналогичных уравнений, а с универсальным качественным поведением [53].

Возникновение одних и тех же бифуркаций в сложных и простых системах привело к рождению направления мягкого моделирования, которое иногда называют «стратегической фантастикой». В теории эволюции, при моделировании социальных процессов, исследовании необратимо развивающихся объектов эксперты часто выделяют поворотные пункты, ситуации, в которых была выбрана одна из альтернатив. Естественно такие точки отождествить с точками бифуркации в некоторой динамической системе. Разумеется, это правомерно, если речь идет о процессах, развивающихся по своим внутренним законам, а не зависящих кардинально от внешнего воздействия.

Пример

В качестве примера рассмотрим различные сценарии исторического развития, выделенные выдающимся историком XX в. А. Тойнби (см.: [30]). Будем предполагать, что в качестве параметра A, отложенного по оси ординат, выступают доходы на душу населения, в качестве бифуркационного параметра l, отложенного по оси абсцисс, — время. Пусть с течением времени климат меняется и урожайность зерновых культур в некотором государстве падает. Выращиваемого на доступных посевных площадях становится недостаточно. Возрастает социальная нестабильность, сообщество подходит к точке бифуркации. По терминологии А. Тойнби, обществу «брошен исторический вызов». На него можно отреагировать разными способами. Например, возможно уменьшить потребности, перенести внутренние проблемы вовне и начать проводить жесткий курс по отношению к соседям. Этому ответу соответствует нижняя ветвь на рис. 2.25, а (точка λ_1). Второй ответ — колонизация заморских территорий, находящихся на более низкой стадии развития и не способных оказать серьезного сопротивления. Этому ответу соответствует верхняя ветвь на рис. 2.25, а (точка λ_2). В данном случае государство может оказаться, к примеру, перед следующим выбором: направить силы на то, чтобы стать торговой державой, либо обосноваться за морем «всерьез и надолго».

Диаграмма, приведенная на рис. 2.25, б, может характеризовать кризис «общества потребления», имеющего весьма высокие жизненные стандарты. На ней представлена ситуация, когда неустойчивая (отмеченная пунктирной линией) и устойчивая (сплошная линия) ветви соединяются («схлопываются») в точке λ_3. Такой случай соответствует катастрофическому скачку, принципиальным изменениям в обществе, происходящим за очень короткий срок.

Особый интерес в плане сказанного представляет рис. 2.25, в. Эта картина отвечает, например, разрушению окружающей среды при использовании традиционных технологий природопользования, резкому понижению жизненных стандартов и выходу с течением времени на уровень возобновляемых ресурсов. Две верхние изолированные ветви (устойчивая и неустойчивая) соответствуют, предположим, новой технологии природопользования.

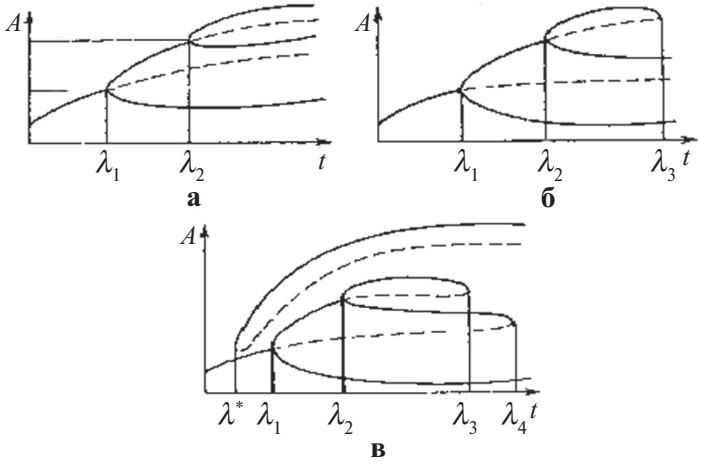


Рис. 2.25. Типичные бифуркационные диаграммы, допускающие наглядную историческую интерпретацию

Польза подобного рода диаграмм может состоять в следующем. Допустим, что мы не представляем кривой своего исторического развития. Тогда нас ожидают катастрофы, бедствия и серьезные неприятности в точках λ_3 и λ_4. Но если мы имеем развитый и эффективный аппарат прогноза, то ситуация существенно меняется. Мы знаем «поворотный пункт» λ^*, где можно перейти на другую ветвь развития. Причем позже для этого может не оказаться возможностей. Поэтому точки бифуркации иногда называют динамическими ключами управления [142].

2.9. Многомерные динамические системы

Ранее мы рассматривали задачу качественного анализа для систем второго порядка, т.е. таких, число степеней свободы которых равно двум ($N = 2$). Переход к многомерному случаю ($N > 2$) значительно усложняет задачу качественного исследования. Следует отметить, что полное описание фазового портрета для произвольной динамической системы до сих пор представляет собой нерешенную проблему. Важнейшей особенностью динамических систем, размер-

ность фазового пространства которых равна трем или больше трех, является то, что *система* может стать *хаотической*, а на фазовой плоскости появится так называемый *странный аттрактор*.

Чтобы выяснить, имеет ли система аттракторы, обратимся к понятию диссипативной системы. Поясним, что такое диссипативная система. Рассмотрим поведение системы при разных, но близких начальных данных. Пусть начальные условия принадлежат N-мерному кубику в пространстве $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$. Для наглядности будем полагать, что $N = 2$, тогда $\vec{x}_0$ лежит внутри квадрата со стороной Δx. Обозначим его через $G(0)$. С течением времени точки, первоначально находившиеся внутри квадрата, станут двигаться вдоль своих фазовых кривых. Посмотрим, что будет происходить с площадью фигуры $G(t)$ (в общем случае — с объемом N-мерной фигуры $G(t)$). Типичными являются две ситуации.

1. Объем $G(t)$ сохраняется. Огромное число моделей классической механики устроены именно таким образом (рис. 2.26, а). Подобные системы называются *консервативными*.

2. Фазовый объем непрерывно уменьшается (рис. 2.26, б). Площадь фигуры $G(t)$ с течением времени стремится к нулю. И естественно предположить, что $G(\infty)$ окажется точкой или замкнутой кривой (площадь обеих равна нулю), а все траектории системы будут стремиться к этому притягивающему множеству, называемому аттрактором. Такое поведение означает не что иное, как забывание начальных данных. Описанная система называется *диссипативной.*

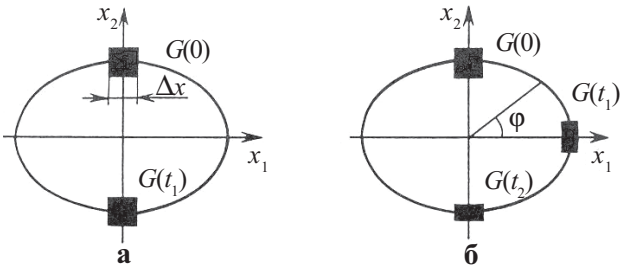


Рис. 2.26. Типичная картина изменения фазового объема малого элемента в системе: а — консервативной; б — диссипативной

Существует принципиальное различие между нелинейными явлениями, которые описываются диссипативными и консервативными системами. Для того чтобы моделировать то или иное явление с помощью консервативной системы, нужно иметь ясное представление, что в изучаемом случае сохраняется и по каким причинам. Именно поэтому при мягком моделировании в экономике, экологии, социологии, психологии обычно обращаются к диссипативным системам.

Кардинальное отличие диссипативных систем от консервативных состоит в том, что в первых системах могут происходить выход на аттракторы и забывание начальных данных, тогда как во вторых начальные данные не забываются, а поэтому играют гораздо более важную роль. Кроме того, диссипативные системы часто обладают свойством грубости, в то время как малое возмущение консервативной системы меняет поведение системы при $t \to \infty$. Естественно, отличается и математический аппарат, разработанный для анализа этих двух классов систем. В дальнейшем мы сосредоточим внимание на диссипативных системах.

2.10. Системы с дискретным временем

Следуя процедуре построения сечения Пуанкаре (см. разд. 2.6), исследуем соответствие между видом сечения Пуанкаре аттрактора и динамическими свойствами решения. Если решение периодическое, то фазовая траектория представляет собой замкнутую орбиту — предельный цикл. Соответствующее сечение Пуанкаре устроено очень просто: это либо одна точка, либо несколько точек.

Напомним, что когда поток сильно диссипативен и приводит к быстрому сокращению площадей, его сечение Пуанкаре, например в трехмерном случае, практически можно рассматривать как множество точек, распределенных вдоль некоторой кривой (отрезка прямой, дуги кривой и т.д.). Тогда мы можем определить координату x для каждой точки на кривой и исследовать, как изменяется x со временем. Отображение Пуанкаре на таком одномерном графике называется *отображением первого возвращения*. Следова-

тельно, естественным обобщением исследования сечения Пуанкаре является анализ отображения первого возвращения $x_{n+1} = f(x_n)$, $n > 1$, выражающего зависимость между координатами текущей и предшествующей точек. Классическими средствами исследования одномерного отображения являются графики на плоскости (x_n, x_{n+1}).

Вероятно, простейшая кривая, приводящая к нетривиальным результатам, соответствует так называемому *логистическому отображению*

$$x_{n+1} = \lambda x_n(1 - x_n),\ 0 \le x_n \le 1. \qquad (2.6)$$

Уравнением (2.6) на плоскости задается квадратичная парабола. Процедура построения отображения первого возвращения представлена на рис. 2.27. По известному начальному значению x_1 найдем x_2, восстановив перпендикуляр к оси x_n в точке x_1 до пересечения с параболой. Примем значение x_2 за начальное. Для этого проведем через точку на оси x_{n+1} штриховую прямую до пересечения с биссектрисой угла между осями x_{n+1} и x_n и из точки пересечения опустим перпендикуляр на ось x_n. Получим новое начальное значение x_2. Повторяя процесс по описанной схеме, найдем x_3, x_4 и т.д. Эта процедура называется построением *лестницы Ламерея.*

Нетрудно убедиться, что в случае логистического отображения, если $\lambda \le 4$, все значения x_n лежат на отрезке [0, 1] при условии, что $0 \le x_1 \le 1$.

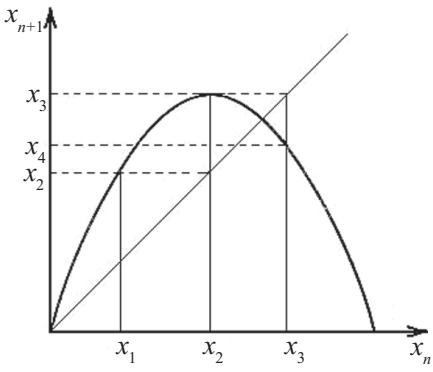


Рис. 2.27. Процедура построения лестницы Ламерея

Рассмотрим поведение последовательности $\{x_n\}$ при разных значениях параметра λ.

1. Допустим, $0 < \lambda < 1$. Найдем значение неподвижной точки x^* из уравнения $x^* = \lambda x^*(1 - x^*)$. В данном случае существует только одно неотрицательное решение: $x^* = 0$. Все решения, начальными условиями которых являются значения x_0 из интервала $0 < x_1 < 1$, притягиваются к x^*.

Областью притяжения $x^* = 0$ будет весь интервал (0, 1). Графически последовательность $\{x_n\}$ изображена на рис. 2.28.

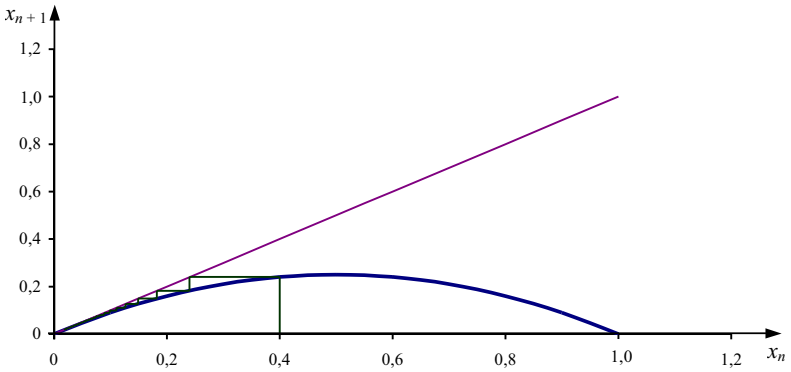


Рис. 2.28. Лестница Ламерея логистического отображения ($\lambda = 0{,}5$)

Процесс исследования системы может быть выполнен с помощью электронной таблицы *Excel*. Пусть $\lambda = 0{,}5$, $x_1 = 0{,}8$. Запустим *Excel*. В раскрывшемся окне появится таблица. Введем в ячейку A1 значение $x_1 = 0{,}8$. В ячейку A2 введем формулу для x_2 в следующем виде: = 0,5 × A1 × (1 – A1). Теперь приступим к размножению формулы, чтобы узнать для всех x_n соответствующие им значения (для n, возрастающего, например, до десяти). Для этого надо подвести курсор к правому нижнему углу ячейки A2 так, чтобы он превратился в черный крестик, и, нажав левую кнопку мыши, протащить его до ячейки A10. Столбец A заполнится цифрами (рис. 2.29).

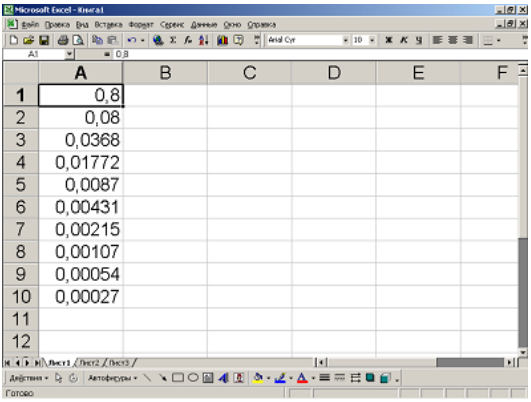


Рис. 2.29. Фрагмент окна Excel

Пары (n, x_n) задают последовательность точек, изображенную на рис. 2.30.

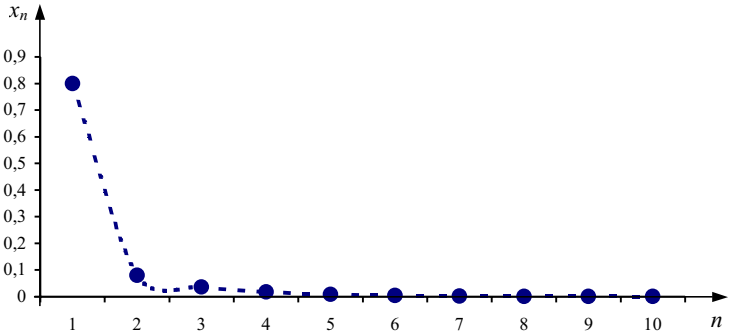


Рис. 2.30. Графическое представление последовательности ($\lambda = 0,5$)

2. Допустим, $1 < \lambda < 3$. Как видно из рис. 2.31, последовательность $\{x_n\}$ сходится к ненулевому значению x^*, которое может быть найдено из уравнения $x^* = \lambda x^*(1 - x^*)$. Все точки, удовлетворяющие последнему уравнению, будем называть неподвижными точками, так как $x_1 = x^*$, $x_2 = x^*$, …, $x_n = x^*$ при любом n. При $\lambda < 1$ квадратное уравнение $\lambda(x^*)^2 + x^*(1 - \lambda) = 0$ имеет один неотрицательный корень: $x^* = 0$. При $\lambda > 1$ неотрицательных корней два: $x^* = 0$ и $x^* = (\lambda - 1) / \lambda$. Таким образом, при $\lambda = 1$ происходит бифуркация: неподвижная точка $x^* = 0$ теряет устойчивость, а вновь появившаяся точка становится устойчивой.

Устойчивость неподвижной точки $x^* = f(x^*)$ можно определить следующим образом. Пусть $x_n = x^* + \Delta x_n$, где Δx_n — малое число. Если точка устойчива, то с ростом n величина $|\Delta x_n|$ должна уменьшаться. Используя разложение функции в ряд Тейлора и пренебрегая членами, пропорциональными $(\Delta x_n)^2$, $(\Delta x_n)^3$ и т.д., получим оценку для Δx_{n+1}:

$$x^* + \Delta x_{n+1} = f(x^* + \Delta x_n) \approx f(x^*) + \frac{df(x^*)}{dx}\Delta x_n, \qquad \Delta x_{n+1} \approx \frac{df(x^*)}{dx}\Delta x_n.$$

Для того чтобы $\Delta x_n \to 0$, должно выполняться неравенство

$$\left|\frac{df(x^*)}{dx}\right| < 1. \qquad (2.7)$$

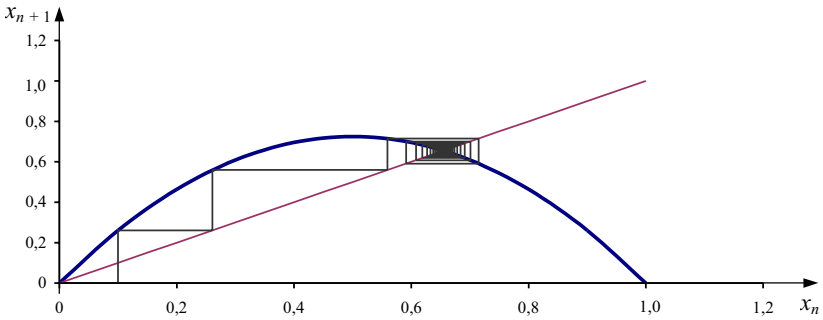


Рис. 2.31. Лестница Ламерея логистического отображения ($\lambda = 2{,}9$; $x_1 = 0{,}1$)

Нетрудно убедиться, что

$$\frac{df(0)}{dx} = \lambda .$$

Это в рассматриваемом случае больше единицы. Поэтому точка $x^* = 0$ теряет устойчивость. Вычисление значения производной функции $f(x) = \lambda x(1 - x)$ в точке $x^* = (\lambda - 1) / \lambda$ приводит к неравенству $\lambda - 2 < 1$. Таким образом, данное решение будет устойчивым для всех $1 < \lambda < 3$.

Представляется полезным поэкспериментировать, используя программу *Excel* с разными значениями параметра λ из указанного интервала и разными начальными состояниями x_1. Графики поведения решения уравнения (2.6) при $\lambda = 2$ и $x_1 = 0{,}1$; 0,4; 0,8 представлены на рис. 2.32.

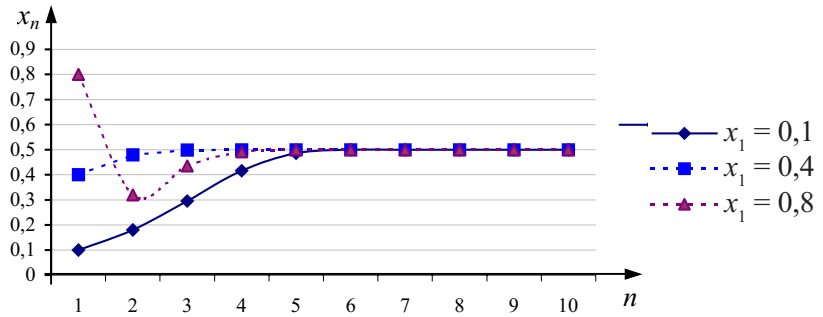


Рис. 2.32. Стремление к состоянию равновесия при разных начальных условиях ($\lambda = 2$)

3. Пусть теперь $3 < \lambda < 3{,}449...$ Численный анализ уравнения (2.6) при значении $\lambda = 3{,}2$ ($x_1 = 0{,}8$) показывает, что в системе устанавливаются периодические колебания (рис. 2.33).

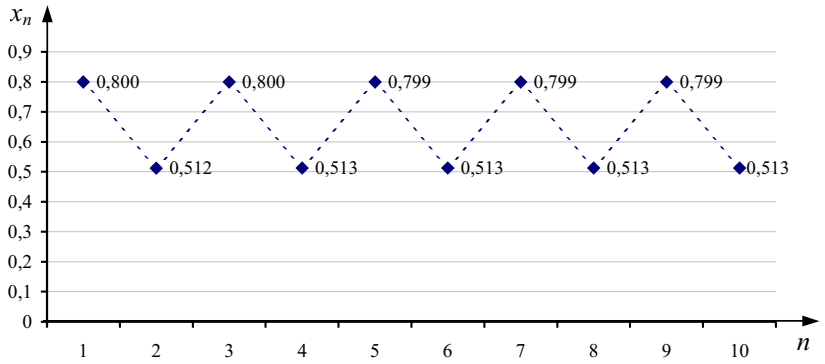


Рис. 2.33. Периодические колебания ($\lambda = 3{,}2$)

Поведение системы качественно изменилось. В данном случае последовательность $\{x_n\}$ устроена таким образом, что $x_{2n+1} \to a_1$, $x_{2n} \to a_2$ при $n \to \infty$. Эти числа связаны соотношениями $a_1 = f(a_2)$, $a_2 = f(a_1)$. Тогда говорят, что отображение (2.6) имеет устойчивый цикл с периодом 2, и обозначают его S^2 (рис. 2.34).

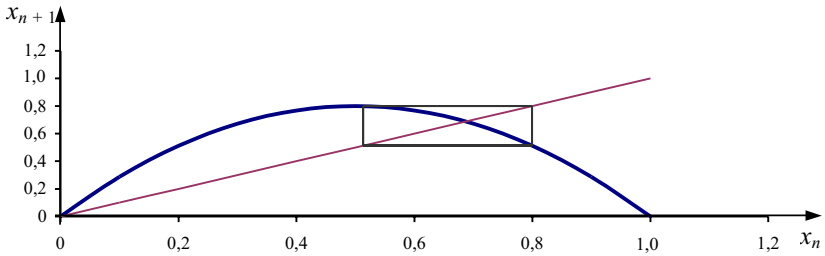


Рис. 2.34. Двойной цикл S^2

Переход от неподвижной точки (ее можно считать циклом S^1) к циклу S^2 произошел в результате бифуркации, которая имеет на-

звание *бифуркации удвоения периода.* Точка x^* при этом не исчезла и осталась неподвижной точкой, однако величина

$$\left|\frac{df(x^*)}{dx}\right|$$

стала больше единицы.

Найдем неподвижные точки отображения (2.6) и исследуем их устойчивость. Для этого решим уравнение $f(f(x^*)) = x^*$, которое для $f(x) = \lambda x(1 - x)$ примет вид

$$\lambda^3(x^*)^4 - 2\lambda^3(x^*)^3 + (\lambda^3 + \lambda^2)(x^*)^2 - \lambda^2 x^* = x^*. \qquad (2.8)$$

Два корня приведенного уравнения четвертой степени нам известны. Это $x_1^* = 0$ и $x_2^* = (\lambda - 1) / \lambda$. Разделив формулу (2.8) на x^* и на $(x^* - (\lambda - 1) / \lambda)$, получим квадратное уравнение $\lambda^3(x^*)^2 - (\lambda^3 + \lambda^2)x^* + (\lambda^2 + \lambda) = 0$, корнями которого являются

$$x_3^* = \frac{\lambda + 1 + \sqrt{\lambda^2 - 2\lambda - 3}}{2\lambda}, \quad x_4^* = \frac{\lambda + 1 - \sqrt{\lambda^2 - 2\lambda - 3}}{2\lambda}.$$

Условие устойчивости цикла S^2 определяется формулой

$$\left|\frac{df(x_1)}{dx} \cdot \frac{df(x_2)}{dx}\right| < 1,$$

которая следует из неравенства (2.7) и правил дифференцирования сложной функции.

В рассматриваемом случае

$$\frac{df(x_1^*)}{dx} = 1 + \sqrt{\lambda^2 - 2\lambda - 3}, \quad \frac{df(x_2^*)}{dx} = 1 - \sqrt{\lambda^2 - 2\lambda - 3}.$$

Таким образом, условие устойчивости приводит к неравенству $|\lambda^2 - 2\lambda - 4| < 1$, что выполняется для всех $3 < \lambda < 1 + \sqrt{6}$.

4. При дальнейшем увеличении параметра λ последовательность $\{x_n\}$ опять меняется. Так, при $\lambda = 3{,}449...$ ($\lambda = 1 + \sqrt{6}$) возникает цикл S^4: $x_{4n} \to a_1$, $x_{4n+1} \to a_2$, $x_{4n+2} \to a_3$, $x_{4n+3} \to a_4$ при $n \to \infty$ (рис. 2.35). При этом в системе устанавливаются периодические колебания с периодом 4 (рис. 2.36).

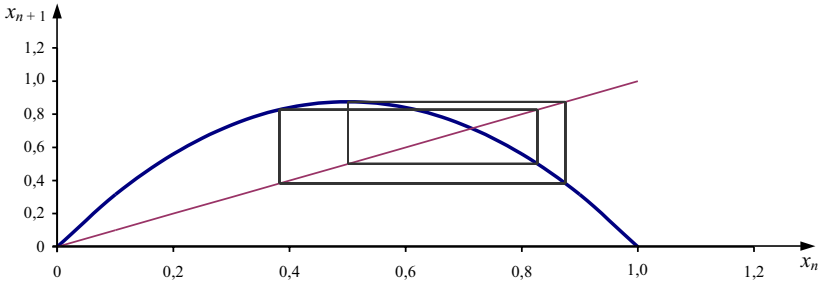


Рис. 2.35. Устойчивый цикл S^4

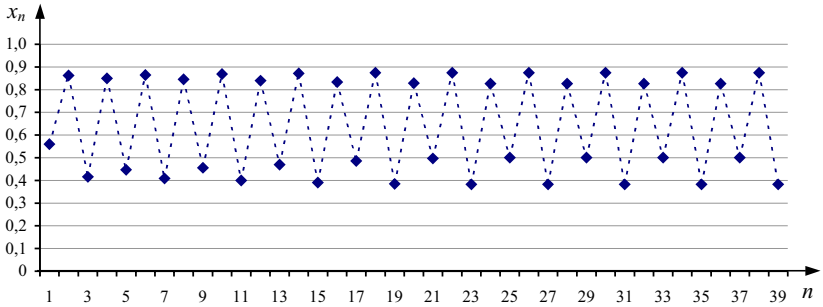


Рис. 2.36. Колебания с периодом 4 ($\lambda = 3{,}5$)

Последовательно увеличивая параметр λ, мы увидим циклы S^8, S^{16}, S^{32}, S^{64}, S^{128}, S^{256} и т.д. При этом каждый цикл S^{2p} теряет устойчивость и устойчивым становится цикл S^{2p+1}. Наконец, при значении $\lambda = 3{,}5699...$ (его иногда обозначают λ_∞) формула (2.6) дает уже непериодическую последовательность $\{x_n\}$. Поведение выглядит случайным. На самом же деле это загадочное поведение полностью определено детерминированным законом (2.6). Непериодический, случайный процесс возникает как предел все более сложных структур (циклов S^{2p}). Таким образом, *хаос* возникает как сверхсложная организация (цикл $S^{2\infty}$) (рис. 2.37).

Хаотическое поведение слишком чувствительно к изменению исходных данных. Изменение x_1 на одну миллионную может существенно повлиять на ход решения. На рис. 2.38 представлены графики решений уравнения (2.6) при $x_1 = 0{,}8$ и $x_1 = 0{,}800\ 01$ соот-

ветственно ($\lambda = 3{,}9$). Как видно из графиков, близкие траектории с ростом n начинают сильно расходиться.

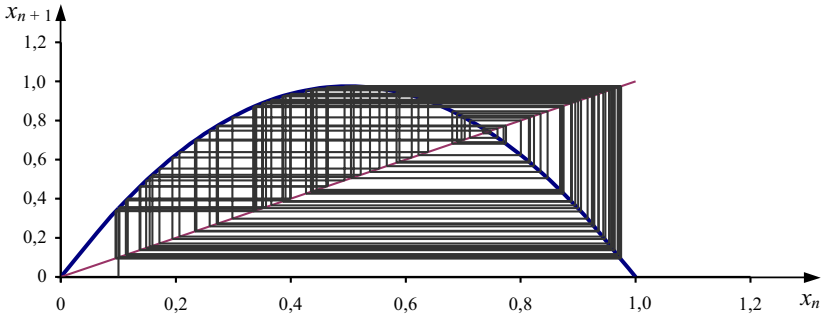


Рис. 2.37. Апериодический цикл S^{2^∞}

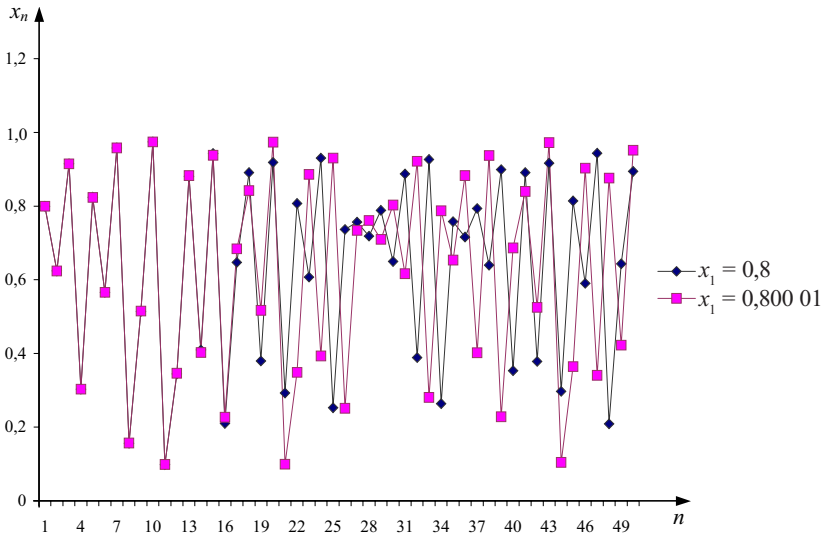


Рис. 2.38. Чувствительность системы к начальным данным ($\lambda = 3{,}9$)

Соответствующий хаотический режим на фазовой плоскости представлен на рис. 2.39.

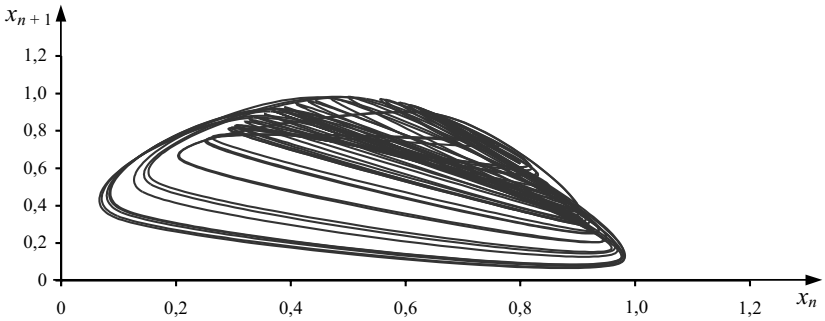


Рис. 2.39. Хаотический режим на фазовой плоскости ($\lambda = 3{,}9; x_1 = 0{,}8$)

Обозначим через λ_1, λ_2, λ_3... те значения параметра λ, при которых происходили удвоения периода. В 1971 г. американский ученый М. Фейгенбаум установил интересную закономерность: последовательность $\{\lambda_n\}$ образует возрастающую последовательность, быстро сходящуюся к точке накопления $\lambda_\infty = 3{,}5699...$ Разность значений λ, соответствующих двум последовательным бифуркациям, уменьшается каждый раз с приблизительно одинаковым коэффициентом:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{\lambda_{n+1} - \lambda_n}{\lambda_{n+2} - \lambda_{n+1}} = \delta .$$

Знаменатель прогрессии $\delta = 4{,}6692...$ теперь носит название *постоянной Фейгенбаума*. За точкой накопления λ_∞ апериодические и периодические аттракторы чередуются (рис. 2.40).

В 1978 г. М. Фейгенбаум сделал открытие, состоящее в том, что сценарий перехода к хаосу через бесконечный каскад бифуркаций удвоения периода универсален для большого класса динамических систем. Сценарий Фейгенбаума стали обнаруживать в системах самой различной природы — физике, химии, биологии, экологии и т.д. Каскад бифуркаций в социальной области анализируется, например, в работах американского исследователя Т. Янга [150].

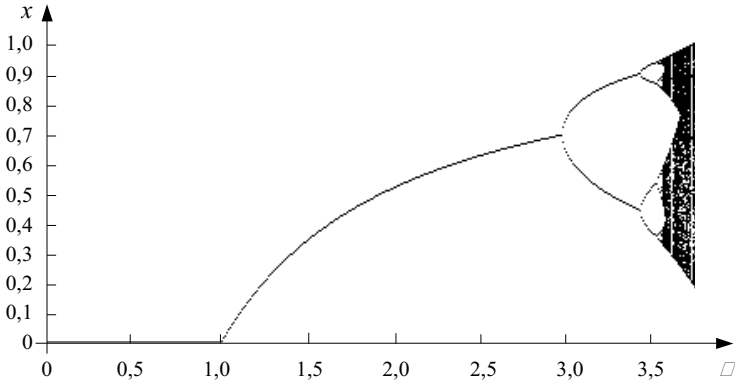


Рис. 2.40. Бифуркационная диаграмма

Независимо от конкретного вида системы и ее сложности теория универсальности Фейгенбаума дает количественные предсказания. Константа δ и ряд других констант выступают как универсальные константы, такие же как π или e. Таким образом, данная теория установила, что большой класс нелинейных явлений демонстрирует не только одинаковое качественное поведение, но и универсальные количественные закономерности.

Позже были обнаружены еще несколько универсальных сценариев перехода к хаосу. Работы последних лет позволяют предположить, что в природе обычно реализуются всего несколько универсальных сценариев. Это огромный шаг к пониманию внутреннего единства нелинейных явлений.

2.11. Свойства странного аттрактора

Динамический хаос в фазовом пространстве выглядит как клубок траекторий, например такой, как показан на рис. 2.41. Для установившихся колебаний, соответствующих динамическому хаосу, Д. Рюэль и Ф. Такенс в 1971 г. предложили название — «*странный аттрактор*».

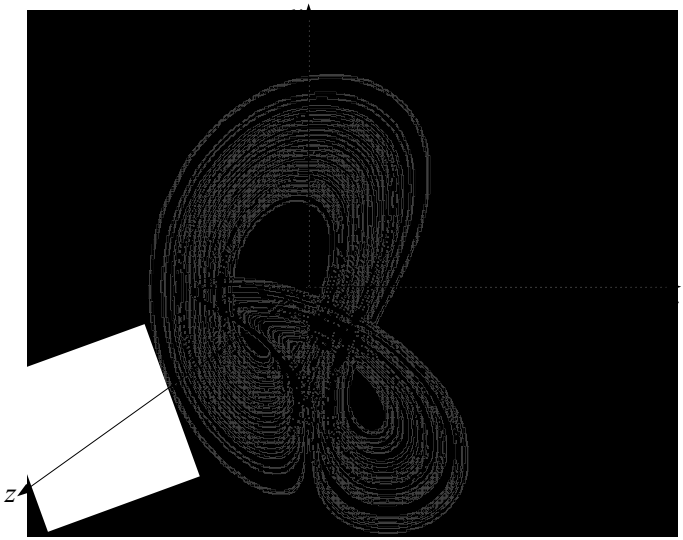


Рис. 2.41. Аттрактор Лоренца

«Странность» хаотического аттрактора состоит не столько в необычном виде, сколько в тех новых свойствах, которыми он обладает. Странный аттрактор — это прежде всего притягивающая область для траекторий из окрестных областей. При этом все траектории внутри странного аттрактора динамически неустойчивы. Другими словами, если представить предельное множество как «клубок» в фазовом пространстве, то точка, характеризующая состояние системы, будет принадлежать этому «клубку» и не уйдет в другую область фазового пространства. Однако мы не можем сказать, в каком месте клубка будет находиться точка в данный момент времени.

Одним из таких парадоксальных свойств является *чувствительность к начальным данным*. Проиллюстрируем это. Выберем две близкие точки $\vec{x}'(0)$ и $\vec{x}''(0)$, лежащие на аттракторе, и посмотрим, как меняется расстояние $d(t) = |\vec{x}'(t) - \vec{x}''(t)|$ с течением времени. Если аттрактор есть особая точка, то $d(t) = 0$. Если аттрактор — предельный цикл, то $d(t)$ будет периодической функ-

цией времени. В случае странного аттрактора $d(t) \sim e^{\lambda t}$, $\lambda > 0$. Величина λ называется *ляпуновским показателем*. Положительный ляпуновский показатель характеризует среднюю скорость разбегания бесконечно близких траекторий (рис. 2.42).

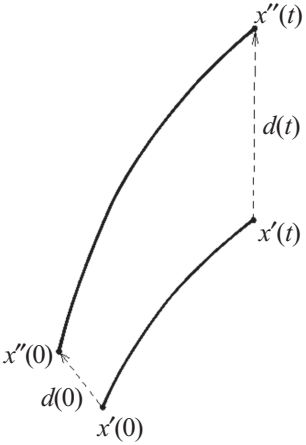


Рис. 2.42. Разбегание близких траекторий

Процесс приближенного вычисления ляпуновского показателя для отображения $X_{n+1} = f(X_n)$ состоит в следующем:

– рассмотрим близкую к X_n точку $X_n + \delta X_n$;

– используя разложение функции $f(X)$ в ряд Тейлора, получим: $\delta X_{n+1} = \mathrm{d}f / dX \delta X_n + \ldots$;

– определим $e^{\lambda} = |\delta X_{n+1} / \delta X_n| = |\mathrm{d}f / \mathrm{d}X|$, тогда $\lambda = \ln|\mathrm{d}f / \mathrm{d}X|$;

– так как величина $\mathrm{d}f / \mathrm{d}X$ обычно изменяется в различных точках траектории, то будем вычислять среднее значение $\ln|\mathrm{d}f / \mathrm{d}X|$ для большого числа итераций.

Пример

Рассмотрим логистическое уравнение [126]

$$X_{n+1} = 4X_n(1 - X_n):$$

– $\mathrm{d}f / \mathrm{d}X = 4(1 - 2X)$;

– взяв в качестве начального значения $x_1 = 0{,}1$, вычислим значения величины для первых десяти итераций (табл. 2.1):

Таблица 2.1

Вычисление ляпуновского показателя

Итерация	Xn	ln|df/dx(n)|
1	0,36	0,113328685
2	0,9216	1,21574326
3	0,28901376	0,523479181
4	0,821939226	0,946049052
5	0,585420539	-0,380727165
6	0,970813326	1,326147943
7	0,113339247	1,129233963
8	0,401973849	-0,24307945
9	0,961563495	1,306305891
10	0,14783656	1,035781649
Среднее		0,697226301

– в данном случае ляпуновский показатель, вычисленный всего лишь после десяти итераций, дает хорошее приближение к истинному значению, равному ln2 = 0,693 147.

Положительные значения ляпуновского показателя и чувствительность системы к начальным данным позволили совершенно иначе взглянуть на проблему прогноза. Ранее предполагалось, что прогноз поведения детерминированных систем, в отличие от стохастических, может быть дан на любое желаемое время. Однако исследования последних десятилетий показали, что есть класс детерминированных систем (даже сравнительно простых), поведение которых можно предсказать лишь на ограниченный период времени. У странного аттрактора через время $\tau \sim 1 / \lambda$ две вначале близкие траектории перестают быть близкими. Сколь угодно малая неточность в определении начального состояния нарастает со временем, и мы в принципе не можем дать «долгосрочный прогноз». Таким образом, существует *горизонт прогноза*, ограничивающий наши способности предсказывать.

Другой интересной характеристикой хаотического режима является *фрактальная структура*. Геометрическая структура странного аттрактора не может быть представлена в виде кривых или плоскостей, т.е. геометрических элементов целой размерности. *Размерность* странного аттрактора является дробной, или, как принято говорить, *фрактальной.* Кроме того, странный аттрактор обладает свойством самоподобия. Сколь бы малую часть странного аттрактора мы ни взяли, она имеет ту же структуру. Целое оказывается подобным сколь угодно малой своей части.

Эффективным методом исследования странных аттракторов является метод сечения Пуанкаре. Исследование отображения Пуанкаре позволило проследить таинство создания странного аттрактора, которое может быть описано, например, с помощью модели Смейла (преобразования типа подковы). Основной операцией, необходимой для создания странного аттрактора, является растягивание в сочетании со складыванием. Простая процедура растягивания и образования складок в фазовом пространстве дает ключ к

пониманию хаотического поведения. Экспоненциальная расходимость — локальное явление: поскольку аттрактор имеет конечные размеры, две орбиты на хаотическом аттракторе не могут экспоненциально расходиться навсегда. Это означает, что такой аттрактор должен образовывать складки внутри самого себя. И хотя орбиты расходятся и следуют совершенно разными путями, в конце концов они должны пройти снова вблизи друг от друга. В результате орбиты на хаотическом аттракторе перемешиваются подобно тому, как перетасовываются карты в колоде. Случайность хаотических орбит есть результат этого процесса перемешивания. Растягивание и образование складок происходит снова и снова, складки создаются внутри складок, и так до бесконечности. Иначе говоря, хаотический аттрактор является *фракталом* — объектом, в котором по мере увеличения выявляется все больше деталей, повторяющих основной рисунок фрактала в каждом из масштабов.

Преобразование типа подковы наглядно описывает технику построения слоистой структуры странного аттрактора. Возьмем прямоугольник $ABCD$ и растянем его, например, в 2 раза по оси x и одновременно сожмем более чем в 2 раза по оси y. В результате получим прямоугольник $A_1B_1C_1D_1$. Такая операция приводит к сокращению площади, что необходимо для диссипативной системы. Затем сложим прямоугольник $A_1B_1C_1D_1$ в виде подковы и наложим на исходный прямоугольник $ABCD$ (рис. 2.43).

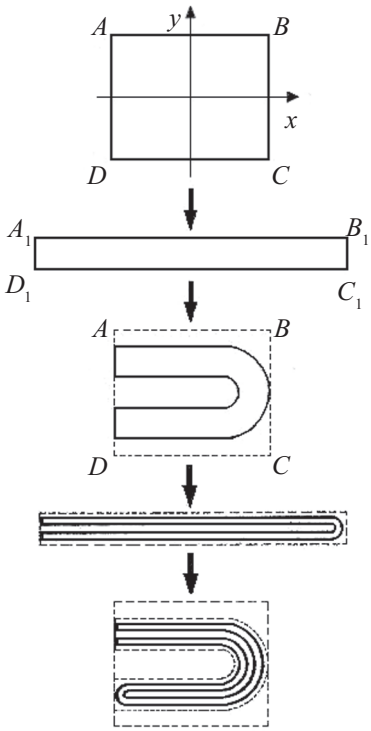


Рис. 2.43. Преобразование типа подковы

Теперь проделаем те же операции с новым прямоугольником. В результате получится нечто вроде двойной заколки для волос. Многократно повторяя указанные операции, получим многослойную структуру, обладающую всеми свойствами странного аттрактора (рис. 2.44).

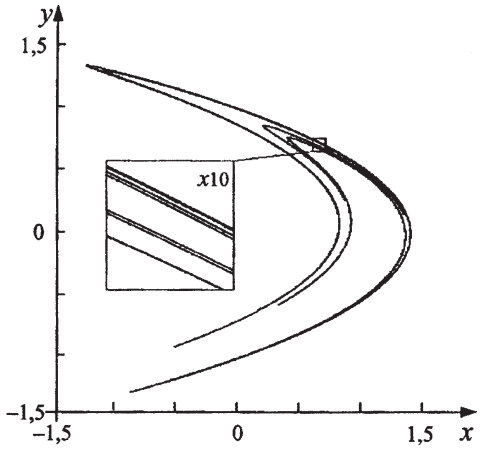


Рис. 2.44. Иллюстрация фрактальных свойств странныхаттракторов

Построенный нами аттрактор имеет фрактальную размерность. Чтобы убедиться в этом, проведем сечение прямоугольника по оси *y*. На первом этапе ($k = 0$) сечение имеет вид прямолинейного отрезка. После одной итерации ($k = 1$) мы получим подкову, а сечение будет состоять из двух отрезков (рис. 2.43). В дальнейшем мы будем получать наборы отрезков, названные канторовым множеством (рис. 2.45).

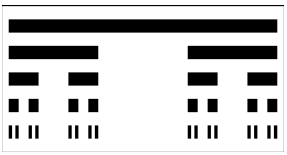


Рис. 2.45. Канторово множество

Другим способом канторово множество строится последовательным исключением интервалов длиной 1/3 из середины единичного отрезка. Выбросив первый раз среднюю треть, оставляем два отрезка длиной 1/3 каждый. Затем, выбросив средние трети из оставшихся двух

отрезков, получим четыре отрезка длиной по 1/9. Канторово множество будет построено, если процесс исключения интервалов продолжить до бесконечности (см. рис. 2.45).

До сих пор под термином «размерность» мы понимали либо размерность евклидова пространства ($D = 1, 2, 3$), либо размерность динамической системы. Фракталы, как нерегулярные геометрические объекты, потребовали расширения понятия размерности. Обобщением данного понятия для фрактальных множеств стала *размерность Хаусдорфа*. Идея состоит в следующем. Рассмотрим множество точек в p-мерном пространстве. Мы хотим покрыть это множество кубами с ребром ε. Пусть $N(\varepsilon)$ — наименьшее число кубов, необходимых для покрытия множества. На рис. 2.46 показано число кубиков с ребром $r = 1/\varepsilon$, необходимых для покрытия единичного отрезка, квадрата и куба.

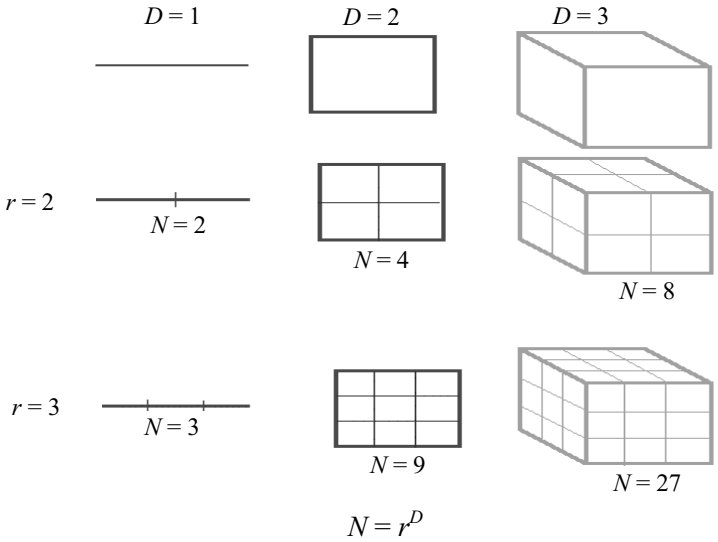


Рис. 2.46. Покрытие объекта кубами с длиной ребра $r = 1/\varepsilon$

Как нетрудно заметить, число кубиков N, необходимых для покрытия множества точек, длина ребра куба ε и размерность пространства D связаны соотношением $N = (1/\varepsilon)^D$. Прологариф-

мировав приведенное выражение, получим: $\ln(N) = D\ln(1/\varepsilon)$, откуда $D = \ln(N(\varepsilon)) / \ln(1/\varepsilon)$. Размерность Хаусдорфа определяется как предел (если он существует) отношения $\ln(N(\varepsilon)) / \ln(1/\varepsilon)$ при ребре куба, стремящемся к нулю, т.е.

$$D = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}.$$

Нетрудно убедиться, что если множество состоит из одной точки, то $N(\varepsilon) = \text{const} = 1$. Следовательно, размерность Хаусдорфа точки равна нулю (евклидова размерность тоже равна нулю). Если множество представляет отрезок линии длиной L, то $N(\varepsilon) = L/\varepsilon$. Поэтому $D = 1$. Если множество точек — это поверхность с площадью S, то $N(\varepsilon) = S/\varepsilon^2$, откуда $D = 2$.

До сих пор определение размерности Хаусдорфа ничего не добавило к определению евклидовой размерности. Однако вернемся к канторову множеству. Размерность Хаусдорфа канторова множества нетрудно получить по его построению. При $\varepsilon = 1/3$ число элементов (в данном случае кубы вырождаются просто в отрезки), необходимых для того, чтобы покрыть множество, равно: $N(1/3) = 2$. Аналогично, при $\varepsilon = 1/9$ получаем: $N(1/9) = 4$. В общем случае при $\varepsilon = (1/3)^m$ имеем: $N(\varepsilon) = 2^m$. По определению, размерность Хаусдорфа есть величина $D = \ln 2 / \ln 3 \approx 0{,}63$.

В заключение отметим, что еще недавно синергетику воспринимали как моду или игру ума. Однако умение давать глубокие ответы на простые вопросы позволило воспринимать этот подход всерьез. Синергетика сегодня служит источником многих идей и гипотез в самых разных областях знания.

Задания и упражнения

1. В чем состоит основное различие задач экономической статики и динамики? Как соотносится рассматриваемый период времени для статических и динамических задач?

2. Запишите уравнение для описания развития экономического объекта, если темп прироста неизменен во времени.

3. Является ли функция

$$y(x) = e^{-2x} + \frac{1}{3}e^{x}$$

решением дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{dx} + 2y = e^{x}\,?$$

4. Определите характер точки равновесия линейной автономной системы

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = 2x + 4y, \\ \dfrac{dy}{dt} = -2y \end{cases}$$

и изобразите несколько фазовых кривых.

5. Исследуйте систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = y, \\ \dfrac{dy}{dt} = -x - by \end{cases}$$

в зависимости от параметра b. Определите, для каких значений параметра b система теряет устойчивый аттрактор.

6. Исследуйте положения равновесия системы уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \sin y, \\ \dfrac{dy}{dt} = -\sin x \end{cases}$$

и постройте ее фазовые кривые.

7. Проведите сравнение дискретного и непрерывного отображений и заполните таблицу:

Параметр сравнения	*Непрерывное отображение*	*Дискретное отображение*
Время	Непрерывное	
Вид уравнения	Дифференциальное	
Пример	$\dfrac{dx}{dt} = ax$	
Решение	$x = x_0 e^{at}$	

8. С помощью программы *Excel* постройте лестницу Ламерея и исследуйте отображение $x_{n+1} = Ax_n$ в зависимости от параметра A. Какое значение параметра A будет бифуркационным?

9. Сравните свойства отображения $x_{n+1} = A\sin(\pi x_n)$ со свойствами логистического отображения.

10. Рассмотрите паутинообразную модель динамики рыночных цен, в которой функции спроса S и предложения D линейны: $S(p) = A + Bp$, $D(p) = C - Ep$; где A, B, C, D — некоторые параметры. Пусть производители определяют предложение товара на основе цен, установившихся в предыдущем периоде, т.е. $D(p_t) = S(p_{t-1})$. Определите точки равновесия в зависимости от параметров функций спроса и предложения. Найдите условия, при которых: равновесие является устойчивым; процесс расходится; в модели появляется цикл. Изобразите эти процессы графически.

11. Как изменятся выводы предыдущей задачи, если временной лаг присутствует не в функции предложения, а в функции спроса, т.е. $S(p_t) = D(p_{t-1})$?

12. Пусть в паутинообразной модели $D_t = 1/3p_t$; $S_t = 5p_t$; $D_t = S_{t-1}$. Изобразите графически динамику цен и объемов выпуска. Каковы равновесные цена и выпуск? Является ли равновесие устойчивым?

13. Что наблюдается в реальной жизни в случае, когда паутинообразная модель динамики рыночных цен расходится?

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Достаточно присмотреться,
чтобы понять, что жизнь проста.

Кинофильм «Ностальгия»

3.1. Некоторые базовые математические модели и их применение в исследовании социально-экономических процессов

Работы последних лет по моделированию сложных систем различной природы позволили сформулировать концепцию иерархии упрощенных моделей. В основе такой концепции лежит набор базовых математических моделей, дающих возможность эффективно строить и изучать большие классы моделей различных явлений. Образно говоря, базовые модели выступают в качестве кубиков, с помощью которых конструируют описание конкретного явления. Важно подчеркнуть два принципиальных факта, выявленных в последние 20 лет. Во-первых, базовых математических моделей немного. Даже предельно простые нелинейные математические модели могут оказаться глубокими и содержательными. Во-вторых, с их помощью, не проходя все ступени иерархии, связанные с детализацией и усложнением математического описания, оказалось возможным предсказывать явления природы.

3.1.1. Модель Мальтуса

Т. Мальтусом в конце XVIII в. была предложена модель экспоненциального роста населения планеты с течением времени. Он предположил, что скорость роста населения dx / dt пропорциональна численности населения x. Математически закон Мальтуса может быть описан дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{dt} = kx,$$

где k — коэффициент, отражающий естественный прирост населения (разность между уровнями рождаемости и смертности полагается постоянной); x — численность населения в момент времени t. Решением данного уравнения является функция

$$x = x_0 e^{kt},$$

где $x_0 = x(t_0)$ — численность населения в начальный момент времени. Согласно закону Мальтуса, рост численности населения происходит очень быстро, удваиваясь через время $\ln 2 / k$. Когда количество населения становится слишком большим, мальтусовская модель с постоянным коэффициентом k перестает быть применимой. Однако если нас интересуют недолговременные процессы, линейная модель Мальтуса может оказаться весьма подходящей. Например, она применима к описанию процесса развития науки в 1700–1950 гг., характеризуемого, скажем, числом научных статей [2, с. 7].

Заметим, что в модели Мальтуса вместо численности населения можно рассматривать изменение производительности труда, объема инвестиций, уровня образования и т.д.

3.1.2. Логистическая модель

Недостатком модели Мальтуса является то, что она не учитывает системный характер развития. Производство, например, пищи и воспроизводство населения взаимообусловлены посредством множества связей. Естественно, что при слишком больших x конкуренция за ресурсы (пищу) приводит к уменьшению k. Поэтому жесткая модель Мальтуса нуждается в уточнении, учитывающем зависимость коэффициента k от численности населения.

Возвращаясь к модели развития науки, заметим, что дальнейший экспоненциальный рост по модели Мальтуса привел бы к тому, что в XX в. исчерпались бы запасы бумаги и чернил, а число ученых достигло бы половины населения земного шара. Ясно, что

общество не может этого допустить и, следовательно, развитие науки должно быть подавлено, что и наблюдается во многих странах (в том числе и в России) в виде различного рода реформ академической науки [2, с. 7–8].

Вместо жесткой модели Мальтуса рассмотрим мягкую модель

$$\frac{dx}{dt} = k(x)x\,,$$

допускающую выбор разных функций $k(x)$. Простейшим примером является $k(x) = a - bx$, что приводит к так называемой логистической модели

$$\frac{dx}{dt} = ax - bx^2\,. \qquad (3.1)$$

Выбор данной функции может быть обоснован определенными соображениями. Так как ресурсы ограниченны, то естественно предположить, что уровень рождаемости с ростом численности населения будет падать, а уровень смертности увеличиваться. Зададим уровень рождаемости функцией

$$r = r_0 - k_r x,$$

где r_0 — первоначальный уровень рождаемости; k_r — скорость падения уровня рождаемости по мере увеличения численности населения x. Аналогично, уровень смертности может быть найден как

$$d = d_0 + k_d x,$$

где d_0 — первоначальный уровень рождаемости; k_d — скорость роста уровня смертности по мере увеличения численности населения. Тогда для коэффициента k в уравнении Мальтуса имеем: $k = r - d = (r_0 - k_r x) - (d_0 + k_d x) = (r_0 - d_0) - (k_r + k_d)x$.

Пусть $a = (r_0 - d_0)$, а $b = (k_r + k_d)$. Подставив приведенные выражения в уравнение Мальтуса, получим дифференциальное уравнение (3.1).

На рис. 3.1 изображена зависимость численности населения от времени при разных начальных условиях. Когда численность населения мала, рассматриваемая модель очень близка к мальтузианской (пунктирная линия), но в дальнейшем ее поведение резко отличается от мальтузианского роста: вместо ухода x в бес-

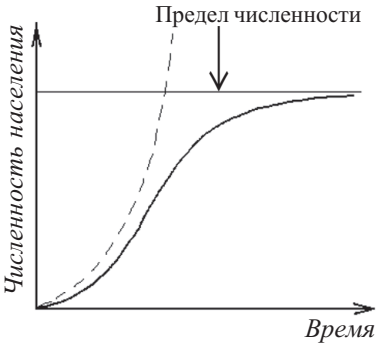


Рис. 3.1. Пример логистической кривой

конечность количество населения приближается к стационарному состоянию. Численность населения Земли сейчас составляет 6 млрд человек. Стационарное значение ее (по разным оценкам) — 16–20 млрд человек.

Заметим, что сделанные выводы справедливы для широкого класса моделей с различными убывающими функциями $k(x)$. Логистическая модель удовлетворительно описывает многочисленные явления насыщения. Эмпирический анализ огромного числа природных, технико-экономических и социокультурных процессов показал, что их рост, развитие, распространение подчиняются логистическому закону. В книге Ю.М. Плотинского «Модели социальных процессов» приведено множество примеров, начиная от развития транспорта и коммуникаций до роста народонаселения [79, с. 184–191]. *S*-Образные кривые хорошо описывают замещение одного вида техники другим, смену технологий, эволюционные процессы в экономической и социокультурной сферах.

Еще одним примером логистической модели может быть классическая модель диффузии инноваций [79]. Обозначим число людей, принявших некоторую инновацию к моменту времени t, через y_t. Пусть M — емкость рынка, т.е. максимально возможное число лиц, способных воспринимать данное нововведение. Предположим, что прирост сторонников новинки пропорционален числу возможных встреч между ними и пока сомневающимися. Число таких встреч пропорционально произведению $y_t^*(M - y_t)$. Получаем логистическое уравнение $y_{t+1} = y_t + ay_t(M - y_t)$, где a — коэффициент пропорциональности. Численные эксперименты с полученной моделью (см. разд. 2.10) демонстрируют множество режимов, включая хаотические, описывающие эволюцию процесса распространения нововведений. Проведение подобных эксперимен-

тов позволяет определить границы параметров, при которых система ведет себя стабильно, а также выработать стратегию управления при различных режимах поведения.

Логистическая модель диффузии инноваций использовалась американскими политологами Дж. Модельски и Г. Пери (1991) при прогнозировании процесса демократизации. Процесс распространения демократической формы правления при этом рассматривался как процесс диффузии инноваций. С 1450 по 1800 г. доля населения, избравшего демократические формы правления, не превышала 1–2% всего населения земного шара. Однако далее процесс диффузии начал набирать обороты. К 1990 г. доля населения, живущего в условиях демократии, достигла 50%, а по прогнозу авторов модели к 2100 г. это значение составит 90%.

Можно привести еще немало примеров успешного использования данной модели на практике.

3.1.3. Экспоненциальная модель с отловом

В этой модели не учитывается конкуренция, зато предполагается, что в результате промысла из популяции с постоянной скоростью изымается некоторое количество особей в единицу времени [35]. Это фиксированное число обозначим через c и назовем квотой отлова. Дискретный вариант такой модели имеет вид

$$x_{n+1} = ax_n - c, \quad a > 1. \tag{3.2}$$

Возможная экономическая интерпретация полученной модели может быть следующей:

x_n — доход фирмы в n-й момент времени;

a — коэффициент, демонстрирующий способность работников фирмы увеличивать доход за один период времени ($a > 1$);

c — постоянные платежи, не зависящие от n и x_n.

Стационарная траектория $x^* = c / (a - 1)$ является критической: падение численности популяции ниже указанной величины влечет ее гибель. В экономической интерпретации это означает, что существует некоторое критическое значение начального дохода. Если начальный доход фирмы превышает критическое значение

x^*, то доход в дальнейшем неограниченно растет. Если же начальный доход меньше критического, то в дальнейшем фирма разоряется. При больших платежах критический уровень дохода возрастает до высокого значения и фирме требуется высокий начальный доход, чтобы выжить на рынке.

Пример

Пусть персонал фирмы способен увеличивать доход фирмы каждый год на 10% по сравнению с уровнем прошлого года. Ежегодные платежи фирмы равны 1 млн р. Найдем величину начального стартового капитала фирмы, необходимого для ее безопасной жизнедеятельности.

В данном случае уравнение (3.2) приобретает вид $x_{n+1} = 1{,}1x_n - 1$. Критическое значение достигает величины $x^* = 1 / (1{,}1 - 1) = 10$ млн р. На рис. 3.2 представлены результаты расчета нескольких траекторий при изменении n от 1 до 15.

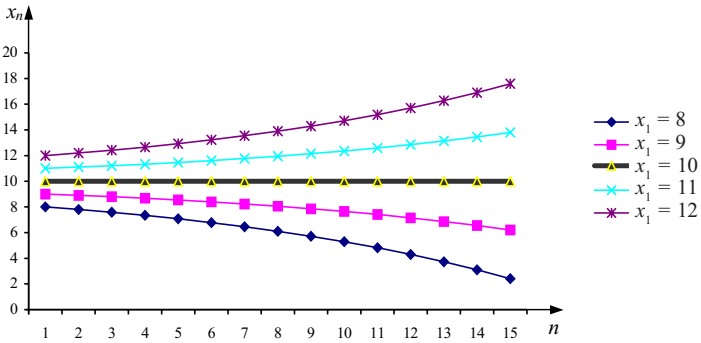


Рис. 3.2. Динамика финансов фирм с различным стартовым капиталом

3.1.4. Логистическая модель с отловом

Эта модель является синтезом двух предыдущих моделей: она учитывает конкуренцию и предполагает регулярный отлов. Модель определяется формулой

$$x_{n+1} = (a - bx_n)x_n - c. \qquad (3.3)$$

Экономическая интерпретация рассматриваемой модели состоит в том, что она описывает поведение фирмы в условиях возможного насыщения рынка и при наличии платежей, не зависящих от времени, дохода или капитала фирмы.

Модель при малых значениях квоты отлова c имеет два стационарных состояния:

$$x_1^* = \frac{a-1+\sqrt{(a-1)^2-4bc}}{2b} \quad \text{(устойчивый корень)},$$

$$x_2^* = \frac{a-1-\sqrt{(a-1)^2-4bc}}{2b} \quad \text{(неустойчивый корень)}.$$

Результаты расчета нескольких траекторий по формуле $x_{n+1} = (1{,}1 - 0{,}1x_n)x_n - 0{,}02$ представлены на рис. 3.3.

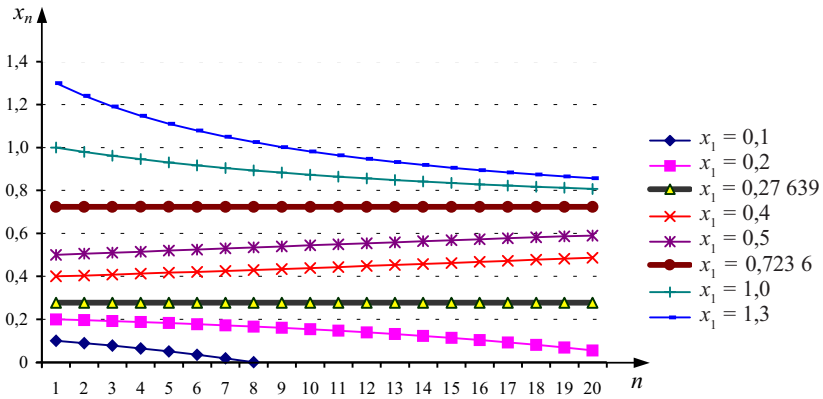


Рис. 3.3. Траектории логистической модели с умеренным отловом

Если $c = (a - 1)^2 / 4b$, то корни x_1^* и x_2^* сольются. Квота отлова при этом достигнет максимального значения. Однако такую ситуацию специалисты называют «оптимизация как путь к катастрофе» [2, с. 7]. Дело в том, что если вследствие каких-либо внешних причин размер популяции окажется хоть незначительно ниже уровня $x^* = (a - 1) / 2b$, то в дальнейшем популяция будет уничтожена полностью за конечное время (рис. 3.4).

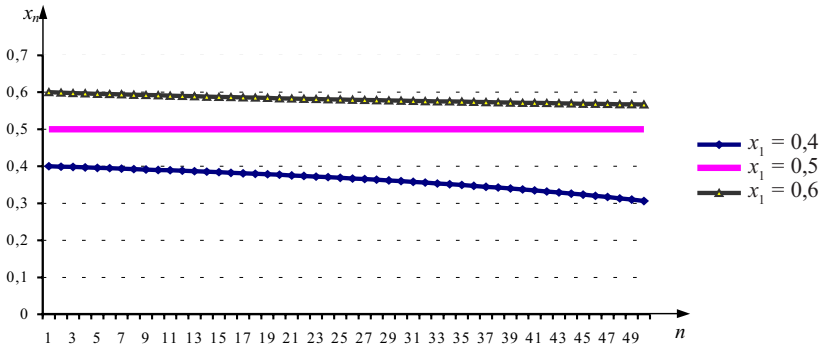


Рис. 3.4. Оптимизация как путь к катастрофе

Если квота отлова c станет больше критического уровня: $c > (a-1)^2 / 4b$, то популяцию ждет гибель при любых начальных условиях. Ситуация перелова приведена на рис. 3.5, на котором показаны траектории модели $x_{n+1} = (1,1 - 0,1x_n)x_n - 0,03$.

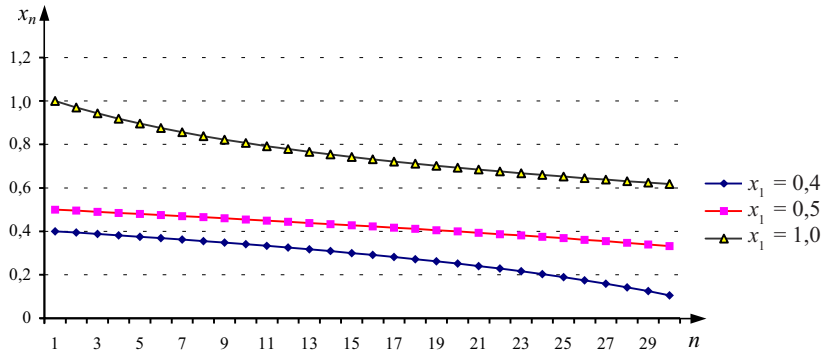


Рис. 3.5. Траектории логистической модели в ситуации перелова

В экономической интерпретации ситуация перелова может означать разорение фирмы под бременем постоянных платежей c, несоразмерных с возможностями фирмы и с жесткостью условий рынка, которые в формуле (3.3) характеризуются параметрами a и b соответственно.

По мнению академика В.И. Арнольда, численность населения России еще не понизилась до этого смертельно опасного уровня, но движется к нему. Наука же в России находится в настоящее время в условиях «перелова». Скорость убыли числа ученых в России c («утечка умов») в основном ограничивается дискриминационными мерами, принимаемыми на Западе для охраны своих рабочих мест от наплыва специалистов из России [2, с. 12].

3.1.5. Мягкая логистическая модель с отловом

Из модели (3.3) ясно, что выбор значения параметра c является чрезвычайно важным моментом в управлении эксплуатацией популяции x. Стремясь к увеличению квоты эксплуатации c, разумно планирующая организация не должна допускать превышения ее критического уровня. Оптимизация параметров (доход от эксплуатации в единицу времени достигает максимально возможного значения) приводит к выбору именно критического значения c, при котором эксплуатируемая популяция еще не уничтожается, но небольшое случайное уменьшение x может вызвать ее полное уничтожение за конечное время. Данный случай является примером того, как оптимизация параметров может приводить к полному уничтожению планируемой системы вследствие возникающей из-за оптимизации неустойчивости.

Устойчивость восстанавливается путем введения обратной связи. Другими словами, решение о величине эксплуатации (квоты отлова, налогового пресса и т.д.) следует принимать не директивно (c = const), а в зависимости от состояния системы $c = kx$. В этом случае логистическая модель с отловом примет вид

$$x_{n+1} = (a - bx_n)x_n - kx_n. \qquad (3.4)$$

Численное исследование модели (3.4) после введения обратной связи показывает, что при любых начальных условиях численность популяции приближается к стационарной (рис. 3.6).

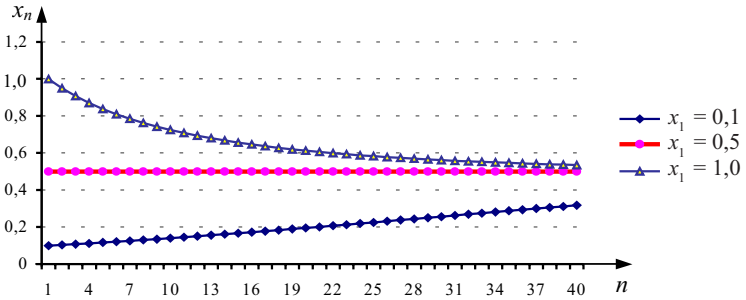


Рис. 3.6. Траектории мягкой логистической модели с отловом ($a = 1{,}1$; $b = 0{,}1$; $k = 0{,}05$)

3.1.6. Модель Лотки–Вольтерра

Рассмотрим модель взаимодействия двух популяций, одну из которых назовем хищником, другую — жертвой. Пусть x — численность популяции жертв, а y — численность популяции хищников. Условимся, что между особями одного вида нет соперничества.

Предположим, что относительный прирост жертв равен

$$a - by,\ a > 0,\ b > 0,$$

где a — скорость размножения жертв в отсутствие хищников; $-by$ — потери от хищников (b — вероятность того, что при встрече с хищником жертва будет съедена). Развитие популяции хищников зависит от количества пищи (жертв). При отсутствии пищи ($x = 0$) относительная скорость изменения размера популяции хищников равна $-c$, $c > 0$; наличие пищи компенсирует убывание, и при $x > 0$ относительный прирост численности популяции хищников составляет $(-c + dx)$, $d > 0$.

Таким образом, система дифференциальных уравнений, описывающих модель Лотки–Вольтерра, имеет вид

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = (a - by)x, \\ \dfrac{dy}{dt} = (-c + dx)y, \end{cases} \tag{3.5}$$

где a, b, c, $d > 0$.

Модель (3.5) может описывать поведение конкурирующих фирм, рост народонаселения, изменение численности воюющих армий, экологической обстановки, развитие науки и пр.

Построим фазовый портрет и исследуем динамику популяций системы Лотки–Вольтерра для $a = 0{,}1$; $b = 0{,}01$; $c = 0{,}05$; $d = 0{,}001$. Начальные условия: $x(0) = 50$, $y(0) = 15$ (рис. 3.7, 3.8).

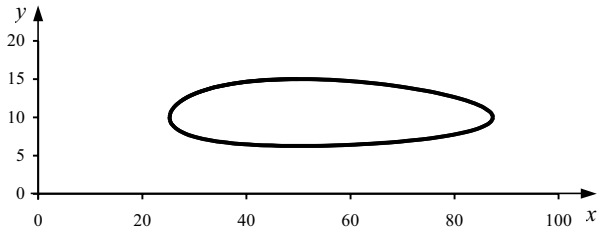


Рис. 3.7. Фазовый портрет системы Лотки—Вольтерра

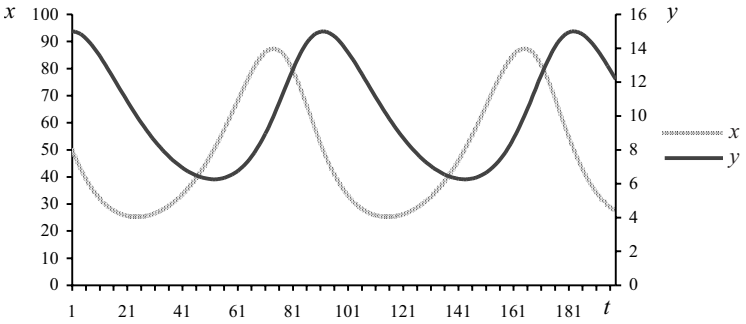


Рис. 3.8. Динамика популяций жертв и хищников

Процесс носит колебательный характер. Количество жертв и хищников колеблется возле величин $x = 50$, $y = 10$ соответственно. На языке дифференциальных уравнений это означает, что система имеет стационарное состояние $x' = 0$, $y' = 0$, которое достигается в точке $x = 50$, $y = 10$. Если в начальный момент система находилась в стационарной точке, то решения $x(t)$, $y(t)$ не будут изменяться во времени, останутся постоянными. Всякое же другое начальное состояние приводит к периодическому колебанию

решений. Периодичность процесса явственно видна на фазовой плоскости: фазовая кривая $(x(t), y(t))$ — замкнутая линия. Самая левая точка указанной кривой — это точка, в которой число жертв достигает наименьшего значения. Самая правая точка — точка пика размера популяции жертв. Между этими точками количество хищников сначала убывает до нижней точки фазовой кривой, где достигает наименьшего значения, а затем растет до верхней точки фазовой кривой. Фазовая кривая охватывает точку $x = 50, y = 10$.

Стоит отметить, что рассмотренная модель Лотки–Вольтерра демонстрирует структурную неустойчивость. При малом изменении параметров модели фазовая кривая перестает быть замкнутой. Модель Лотки–Вольтерра неустойчива относительно возмущений, поскольку ее стационарное состояние — центр. Большинство моделей являются идеализацией действительности; в них внимание сосредоточено на некоторых основных переменных и соотношениях между ними. Поэтому устойчивость моделей относительно малых возмущений чрезвычайно важна в приложениях.

Данная модель широко применяется при моделировании социальных взаимодействий. Например, модель сотрудничества и конкуренции [80, с. 239], модель творческого процесса [там же, с. 240–241], модели индивидуального поведения и групповой деятельности [59] и т.д. В сборнике [75, с. 291–323] модель Лотки–Вольтерра используется в качестве базовой для исследования фаз социально-экономического развития человечества.

3.2. Примеры моделирования социально-экономических процессов

3.2.1. Моделирование рыночных механизмов

Основным направлением развития экономической науки является исследование рыночного равновесия и условий его достижения. Практически до начала XX в. все экономические теории ис-

ходили из того, что любое нарушение равновесия представляет собой временное явление. Считалось, что каждое отклонение от него автоматически устраняется посредством действия «невидимой руки» рынка. Причем существует единственно возможная точка равновесия, и механизм саморегулирования направляет экономику именно в эту точку. Основным принципом поведения государства был принцип «*laissez faire*», или невмешательства в экономическую деятельность. Согласно этому принципу, государство должно было минимизировать неблагоприятные экономические последствия своей собственной деятельности и воздерживаться от непосредственного влияния на принятие решений субъектами, действующими в условиях конкуренции. Следовательно, задача государства в области экономической политики заключалась в создании условий для функционирования конкурентного рынка, при этом государственный бюджет должен был постоянно ориентироваться на равенство доходов и расходов.

Серьезный вызов экономической науке был брошен в конце 20–начале 30-х гг. XX в. «Великая депрессия» качественно отличалась от всех других циклических спадов производства. Масштабы и длительность депрессии создавали впечатление, что механизмы саморегулирования утратили способность восстанавливать равновесие. Для объяснения новых экономических проблем делались различные попытки усовершенствовать теорию, но лишь теория английского экономиста Дж.М. Кейнса, утверждавшего, что экономика не может существовать на основе саморегулирования и что государство должно взять на себя задачу управления экономическими процессами, получила всеобщее признание.

Основным допущением теории Кейнса послужила гипотеза «Спрос создает предложение». Исходя из этого Кейнс предложил комплекс антикризисных мероприятий, суть которых сводилась к повышению совокупного спроса.

«Кейнсианская революция» состояла в переходе от единственной плоскости равновесных состояний (в каждый момент времени этой плоскости может принадлежать только одна точка рыночного равновесия) к множеству плоскостей Смита. Открытие Кейнса

столь значимо еще и потому, что оно продемонстрировало инструментальную возможность перевода экономики из одной плоскости Смита в другую. Понимание того, что вывести экономику из положения «депрессивного» равновесия может лишь внешнее воздействие, позволило Кейнсу запустить смитсианский механизм при иной величине совокупного денежного спроса.

Итак, согласно гипотезе, допускающей наличие в каждый момент времени нескольких точек равновесия, «невидимая рука» рынка должна получить в лице государства «видимого поводыря», отвечающего за выбор конкретной точки равновесия [33].

Рассмотрим упрощенный вариант кейнсианской модели [44], который тем не менее дает наглядное представление о действии рыночных механизмов. В этой модели, часто называемой также моделью мультипликатора, анализируется один макроэкономический рынок — рынок товаров и услуг, а состояние всей экономики описывается двумя переменными. Первая переменная, Y_S, — произведенный национальный доход, используемый на потребление и накопление. Эта переменная трактуется как предложение товаров и услуг. Вторая переменная, Y_D, — совокупный спрос на товары и услуги. Она представляет собой сумму двух составляющих: спроса на инвестиции I и спроса на текущее потребление C:

$$Y_D = I + C. \tag{3.6}$$

Существенным допущением модели является то, что спрос на текущее потребление C есть возрастающая функция национального дохода: $C = C(Y_S)$. При этом считают, что спрос изменяется медленнее, чем национальный доход, вследствие чего производная функции потребления $C'(Y_S)$ — так называемая предельная склонность к потреблению — удовлетворяет условию $0 < C'(Y_S) < 1$.

В дальнейшем для упрощения анализа модели примем, как обычно, что спрос на текущее потребление C изменяется по линейному закону:

$$C(Y_S) = a + cY_S, \tag{3.7}$$

где a и c — положительные константы (поскольку здесь $C'(Y_S) = c$, то $0 < c < 1$).

Пусть до некоторого момента времени T экономика находилась в состоянии равновесия, т.е. при $t < T$ совокупный спрос был равен предложению: $Y_D(t) = Y_S(t)$. Что произойдет, если по какой-либо причине в момент T совокупный спрос увеличится (например, за счет роста спроса на инвестиции)?

Логика упрощенной модели Кейнса, используемой для получения ответа на поставленный вопрос, такова. Во-первых, с увеличением спроса на инвестиции линия совокупного спроса сместится, вследствие чего система будет характеризоваться новым состоянием равновесия. Во-вторых, рост совокупного спроса приведет (в результате действия гипотезы Кейнса «Спрос создает предложение») к увеличению предложения. Увеличившемуся предложению (национальному доходу), вызванному ростом производства товаров и услуг, соответствует увеличившееся значение совокупного спроса. Но так как предельная склонность к потреблению меньше единицы, разность между спросом и предложением сокращается. Эту разность ($E = Y_D - Y_S$) называют избыточным спросом на товары и услуги. Таким образом, положительный избыточный спрос на товары и услуги вызывает в каждый последующий момент времени рост их предложения, что приводит к сокращению избыточного спроса. Точно так же, если избыточный спрос отрицателен, происходит сокращение национального дохода.

При формализации описанного механизма в упрощенной модели Кейнса обычно исходят из того, что национальный доход в момент $t + 1$ равен совокупному спросу в предыдущий момент t, т.е.

$$Y_S(t + 1) = Y_D(t). \qquad (3.8)$$

Математики говорят, что уравнение (3.8) задает итерационный процесс (одномерное отображение). Возникает вопрос о том, приведет ли этот процесс к новому равновесному значению национального дохода Y_E. Для получения ответа удобно ввести новую переменную $y_t = Y_S(t) - Y_E$, которая равна отклонению текущего значения национального дохода от его нового равновесного значения Y_E. Можно показать, что динамика этой переменной в силу

уравнений (3.6), (3.7) и (3.8) описывается формулой геометрической прогрессии

$$y_{t+1} = cy_t. \tag{3.9}$$

А поскольку предельная склонность к потреблению удовлетворяет условию $0 < c < 1$, то, как известно из школьного курса алгебры, уравнение (3.9) задает бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, вследствие чего $y_t > 0$ при $t > \infty$. Поэтому национальный доход $Y_S(t)$ устремляется к своему новому равновесному значению Y_E.

Рассмотренная нами динамика национального дохода носит название «мультипликативный процесс». Графически этот процесс изображается в виде ломаной линии (рис. 3.9). Здесь линия $Y = Y_S$ (биссектриса координатного угла) является графиком функции предложения, а линия $Y = Y_D(Y_S)$, где $Y_D(Y_S) = C(Y_S) + I$ — графиком функции совокупного спроса.

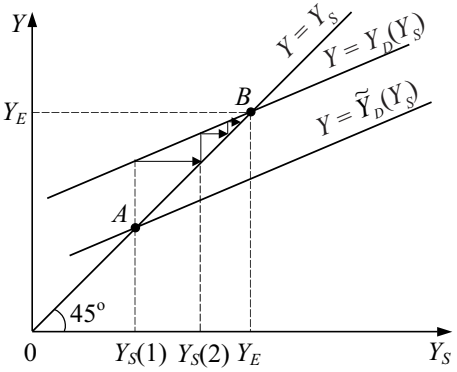


Рис. 3.9. Мультипликативный процесс. Сначала спрос характеризовался прямой $Y = \tilde{Y}_D$ и система находилась в состоянии равновесия A. Затем спрос вырос (прямая $Y = Y_D$), и в результате итерационного процесса (соответствующие переходы показаны стрелками) система перешла в новое состояние равновесия B

Итак, действие гипотезы «Спрос создает предложение» приводит макроэкономическую систему (в данном случае — рынок

товаров и услуг) к новому состоянию равновесия. Поэтому в методологическом плане упрощенная модель Кейнса используется в экономической теории для демонстрации тезиса о действии рыночных механизмов, приводящих систему в состояние равновесия, если товаропроизводителям выгодно делать инвестиции и расширять производство при наличии избыточного спроса. Напомним, что ключевая гипотеза Кейнса «Спрос создает предложение» выражает действие именно этого механизма.

Упрощенная модель Кейнса, изложенная в таком виде практически во всех учебниках макроэкономики, формирует у читателей убеждение, что макроэкономическая система всегда устойчива в указанном смысле и любое изменение положения точки равновесия связано в конечном итоге со смещением функции спроса. Однако, как показывают дальнейшие исследования [44], действия только рассмотренного механизма недостаточно: новое состояние равновесия может и не наступить.

Статистические данные, характеризующие динамику национальной экономики, говорят о неравномерности развития: темпы экономического роста изменяются во времени. Открытие Н.Д. Кондратьевым «длинных волн экономики» (об этом свидетельствуют периодические спады и подъемы темпов роста макроэкономических показателей приблизительно через каждые 50 лет) дало импульс для развития теории циклов, в результате чего были разработаны разнообразные экономические модели, обладающие свойством цикличности. К их числу относится, например, модель Самуэльсона–Хикса, в которой колебания национального дохода объясняются единственной причиной — колебаниями совокупного спроса. Однако действие гипотезы Кейнса может и без дополнительных допущений приводить к циклической, а то и хаотической динамике переменных.

В качестве примера рассмотрим модификацию упрощенной модели Кейнса, для построения которой снова вернемся к его ключевой гипотезе. Как было сказано, традиционная, более того — общепринятая трактовка принципа построения модели формализуется с помощью уравнения (3.8). Однако из гипотезы Кейнса

совсем не следует, что значение предложения (национального дохода) в каждый последующий момент времени должно быть равно значению спроса в предыдущий момент. Строго говоря, она определяет лишь направление изменения национального дохода, поэтому более последовательной и общей является такая ее формализация: знаки приращений национального дохода и избыточного спроса совпадают. В этом случае рост национального дохода происходит, если спрос выше предложения, а снижение национального дохода — если спрос ниже предложения. Такому условию удовлетворяет не только рассмотренная модель, но и следующее, уже нелинейное, одномерное отображение:

$$Y_S(t+1) = Y_S(t)exp\{g[Y_D(t) - Y_S(t)]\}, \qquad (3.10)$$

где $g > 0$ — коэффициент реакции экономики на дисбаланс между спросом и предложением. Уравнение (3.10) может быть сведено чисто формально к уравнению Риккера, задающему итерационный процесс:

$$y_{t+1} = Ay_t exp(-y_t). \qquad (3.11)$$

Здесь $y_t = qY_S(t)$, где $q = g(1 - c)$; $A = exp(qY_E)$.

Уравнение Риккера (3.11) впервые было использовано в математической биологии при анализе динамики популяций. Оно обладает свойством бифуркации удвоения периода, которое заключается в следующем: при сравнительно малых значениях бифуркационного параметра A равновесное решение уравнения устойчиво; при увеличении этого параметра равновесие нарушается — возникают циклы периода 2, 4, 8 и т.д., а при еще больших значениях бифуркационного параметра наступает детерминированный хаос. Это хорошо видно на рис. 3.10, а и 3.11, а, где итерационный процесс (3.11) изображен на плоскости при различных значениях бифуркационного параметра A с использованием графиков функций $y = xAe^{-x}$ и $y = x$. Здесь применяется тот же прием, что и при рассмотрении динамики национального дохода в упрощенной модели Кейнса (см. рис. 3.9).

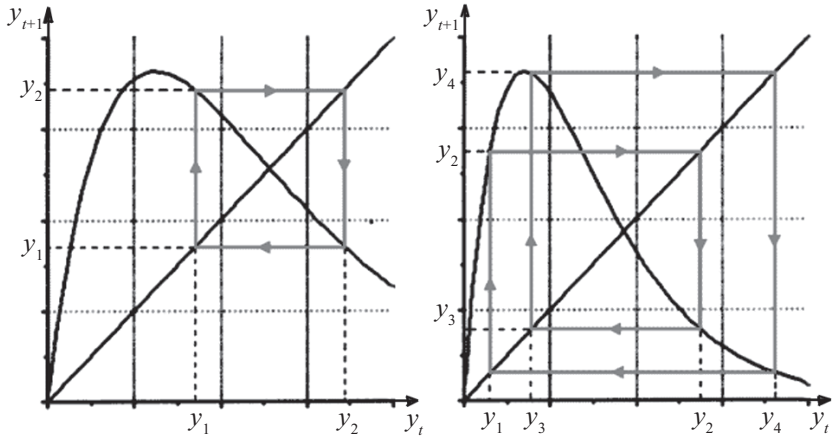


Рис. 3.10. Динамическая спираль— циклы периода 2 (а) и 4 (б). Здесь со временем устанавливаются циклы: переменная y_t принимает последовательно значения y_1 и y_2 (а) или значения y_1,y_2,y_3 и y_4 (б). Переходы при итерационном процессе показаны стрелками

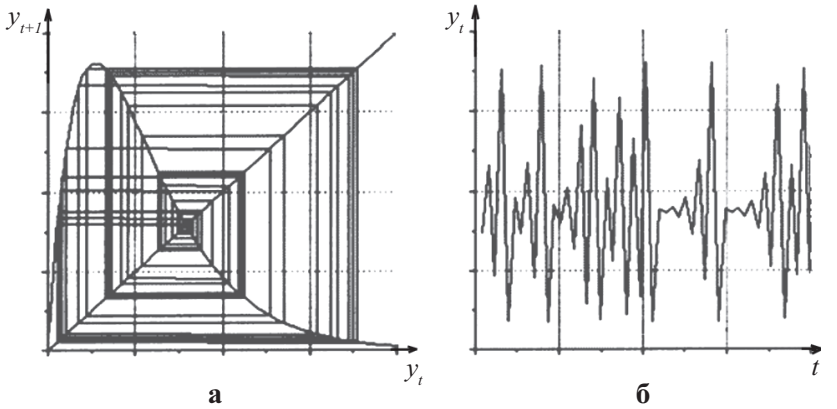


Рис. 3.11. Детерминированный хаос: а — фазовая диаграмма, характеризующая динамику переменной y_t; б— соответствующее изменение y_t во времени

Для иллюстрации свойства бифуркации используем бифуркационную диаграмму, в случае одномерного отображения представляющую собой множество точек плоскости, абсциссы которых равны значениям бифуркационного параметра, а ординаты — установившимся значениям рассматриваемой переменной. На рис. 3.12 видно, как по мере роста параметра A меняется характер решения. Сначала решение соответствует состоянию равновесия, затем становится периодическим, с циклическими колебаниями переменной y_t между двумя значениями (кривая «раздваивается»), и наконец, переходит к детерминированному хаосу (тонированная область на диаграмме).

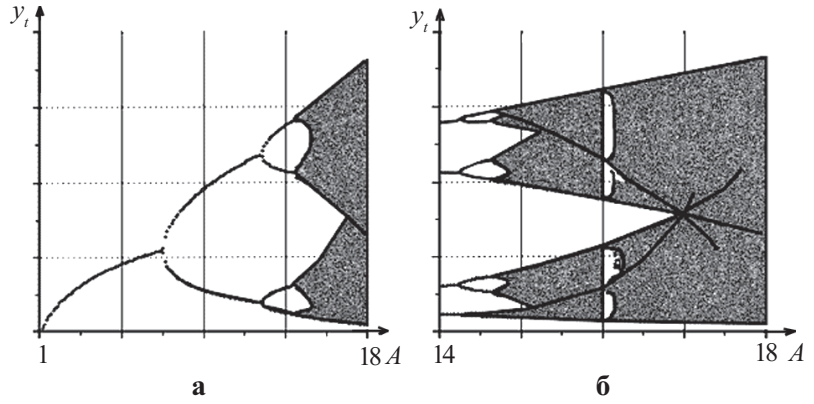


Рис. 3.12. Бифуркационная диаграмма одномерного отображения (3.11) (а) и ее увеличенный фрагмент (б) (4900 < t < 5000)

Итак, исследование экономических процессов с помощью многомерных нелинейных отображений, характеризующих динамику макроэкономических переменных, приводит к заключению, что этим процессам присущи, в зависимости от значений параметров, многообразные динамические режимы: равновесие, цикличность и достаточно сложное поведение (детерминированный хаос). При относительно небольших значениях коэффициентов реакций цены и ставки процента на дисбаланс между спросом на товары и их предложением, а также коэффициентов реакции

экономики на несоответствие спроса и предложения система в перспективе ведет себя просто: со временем устанавливаются либо равновесие, либо периодические колебания с малым периодом. Однако при увеличении даже одного из коэффициентов реакции усложняется динамика переменных модели. Это означает, что в общем случае равновесное решение неустойчиво, а динамика переменных обобщенной макроэкономической модели может быть достаточно сложной и при некоторых значениях параметров приобретать стохастические свойства. Следует отметить, что сложный характер решений — не следствие внешнего случайного воздействия, а внутреннее свойство используемой детерминированной модели.

Сказанное означает, что механизмы государственного регулирования должны быть направлены не только на стимулирование спроса, но и на устранение отклонений макроэкономической системы от траектории эволюционного развития. По-видимому, лишь в этом случае можно говорить об «автоматическом действии» равновесных рыночных механизмов, которые, как и «невидимая рука» А. Смита, обеспечивают устойчивость равновесия макроэкономических рынков.

3.2.2. Модель многоступенчатого управления

Пусть производство какого-либо продукта x управляется некоторым руководителем, принимающим решение о скорости производства: $\dot{x} = y$. В свою очередь, поведение руководителя y управляется руководителем второго ранга, принимающим решение о том, как нужно менять скорость производства: $\dot{y} = z$. Поведение руководителя второго ранга z управляется руководителем третьего ранга и т.д., вплоть до генерального руководителя (ранга n). Генеральный руководитель в нашей модели реализует обратную связь: его решение основывается не на желании выполнить приказ начальства (как у руководителей предыдущих рангов), а на интересах дела. Например, он может желать достичь уровня X величины x и будет влиять на руководителя предыдущего ранга в по-

ложительную сторону, если уровень X не достигнут, и в отрицательную — если он превзойден.

Например, для $n = 3$ простейшая модель этого рода имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = z, \\ \dot{z} = -k(x - X),\ k > 0. \end{cases}$$

Устойчивость стационарного состояния ($x = X$, $y = z = 0$) определяется тем, отрицательны ли вещественные части корней характеристического уравнения

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \\ -k & 0 & -\lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель, получим: $\lambda^n = -k$.

Корни данного характеристического уравнения для случаев $n = 1, 2, 3$ изображены на рис. 3.13.

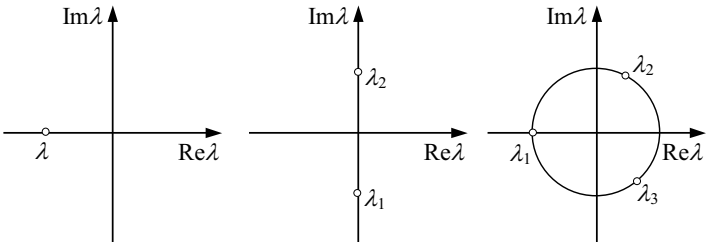


Рис. 3.13. Неустойчивость многоступенчатого управления

В случае одноступенчатого управления ($n = 1$) корень $\lambda = -k$ лежит в устойчивой (левой) полуплоскости, при $n = 2$ корни $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{k}$ находятся на границе устойчивости, а при $n \geq 3$ некоторые корни лежат в неустойчивой (правой) полуплоскости.

Таким образом, устойчивым оказывается только одноступенчатое управление, при котором управляющее лицо более заинтересовано в результатах дела, чем в поощрении со стороны начальства. Двухступенчатое управление может оказаться как устойчи-

вым, так и неустойчивым в зависимости от деталей организации дела, которыми мы пренебрегли при составлении нашей простой модели. Многоступенчатое управление ($n \geq 3$) неустойчиво. Как отмечает академик В.И. Арнольд, длительное устойчивое функционирование системы многоступенчатого управления в СССР объяснялось, вероятно, неисполнением директивных указаний и существованием «теневой» системы стимулирования управляющих различных рангов в интересах дела. Без такой реальной заинтересованности (которая в современных условиях не обязательно обеспечивается коррупцией) многоступенчатое управление всегда ведет к разрухе [2, с. 19–20].

3.2.3. Модель конфликтной ситуации

Рассмотрим двусторонний конфликт. В качестве динамической характеристики возьмем накопленную «напряженность» U. При этом естественно ввести данную характеристику для каждой из участвующих в конфликте сторон, например U_1 и U_2. Предположим, что на изменение величин U_1 и U_2 во времени t аддитивно и линейно влияют обе накопленные напряженности. Тогда модель примет вид

$$\begin{cases} \dfrac{dU_1}{dt} = F_1 + \alpha_{11}U_1 + \alpha_{12}U_2, \\ \dfrac{dU_2}{dt} = F_2 + \alpha_{21}U_2 + \alpha_{22}U_2, \end{cases} \tag{3.12}$$

где $F_{1,2}$ — возмущающие факторы, послужившие стартовым толчком; α_{ii} — быстрота «самовозбуждения» каждой из конфликтующих сторон, определяемая внутренними мотивациями ($i = 1, 2$); α_{ik} — быстрота внешнего возбуждения стороны i, связанного с действиями стороны k, или быстрота взаимного влияния сторон друг на друга (в общем случае $\alpha_{ik} \neq \alpha_{ki}$; $i = 1, 2$; $k = 1, 2$); если $t = 0$, то $U_1 = U_2 = 0$.

Нетрудно убедиться, что один из корней характеристического уравнения системы (3.12) всегда положителен при любом неотри-

цательном значении каждого из параметров α_{11}, α_{22}, α_{12} и α_{21}. Этот корень определяется выражением

$$k = \frac{1}{2}\left[(\alpha_{11} + \alpha_{22}) + \sqrt{(\alpha_{11} - \alpha_{22})^2 + 4\alpha_{12}\alpha_{21}}\right].$$

Таким образом, в рассматриваемой системе всегда есть неустойчивость. Попробуем стабилизировать конфликтную ситуацию. Очевидно, что нейтральные усилия (не зависящие от U_1 и U_2) не могут стабилизировать ситуацию в принципе. Если же вклад «миротворческих сил» зависит от U_1 и U_2, то возможны следующие основные варианты:

– миротворческие усилия пропорциональны разности напряженностей, накопленных сторонами, и направлены на обе конфликтующие стороны: $P_{1,2} = -\gamma|U_1 - U_2|$;

– «миротворческое» воздействие на каждую из сторон конфликта пропорционально сумме накопленных сторонами напряженностей: $P_{1,2} = -\gamma|U_1 + U_2|$.

Первый вариант кажется наиболее естественным с точки зрения «здравого смысла»: он учитывает текущие изменения в конфликте и усилия ослабляются по мере приближения сторон к равенству сил (паритет сил).

Проанализируем ситуацию, предполагая, что $U_1 > U_2$, например вследствие того, что $\alpha_{1i} > \alpha_{2i}$, $i = 1, 2$. Тогда вместо системы (3.12) имеем:

$$\begin{cases} \dfrac{dU_1}{dt} = F_1 + \alpha_{11}U_1 + \alpha_{12}U_2 - \gamma(U_1 - U_2), \\ \dfrac{dU_2}{dt} = F_2 + \alpha_{21}U_2 + \alpha_{22}U_2 - \gamma(U_1 - U_2). \end{cases}$$

Корни характеристического уравнения определяются выражениями

$$k_{1,2} = \mu \pm \sqrt{\mu^2 + \nu}\,, \qquad (3.13)$$

где

$$\mu = \frac{(\alpha_{11} + \alpha_{22})}{2} > 0,$$

$$v = \alpha_{12}\alpha_{21} - \alpha_{11}\alpha_{22} + \gamma\left[(\alpha_{22} + \alpha_{21}) - (\alpha_{11} + \alpha_{12})\right].$$

Из выражений (3.13) видно, что при любых значениях параметров хотя бы один из корней характеристического уравнения, а именно k_1, имеет положительную действительную часть. Это означает, что рассматриваемое миротворческое усилие недостаточно для стабилизации конфликта. Сказанное можно обобщить и на случай нелинейных по $U_{1,2}$ стабилизирующих воздействий.

Таким образом, миротворческие усилия первого типа, достаточно часто используемые при решении различного рода конфликтов, достичь цели не в состоянии.

Рассмотрим второй вариант. Пусть $P_{1,2} = -\gamma|U_1 + U_2|$. В этом случае корни характеристического уравнения выражаются формулами

$$k_{1,2} = -\omega \pm \sqrt{\omega^2 + \sigma}\,,$$

где

$$\omega = \gamma - \frac{(\alpha_{11} + \alpha_{22})}{2},$$

$$\sigma = \alpha_{12}\alpha_{21} - \alpha_{11}\alpha_{22} + \gamma\left[(\alpha_{11} + \alpha_{22}) - (\alpha_{12} + \alpha_{21})\right].$$

Нетрудно убедиться, что в системе существуют условия для стабилизации конфликтной ситуации. Для этого необходимо выполнение следующих неравенств:

$$\gamma > \frac{(\alpha_{11} + \alpha_{22})}{2}, \tag{3.14}$$

$$\alpha_{ik} > \alpha_{ii}. \tag{3.15}$$

Тогда $\omega < 0$, $\sigma < 0$, что обеспечивает необходимое для устойчивости динамического процесса требование $\mathrm{Re}\, k_{12} < 0$.

Поскольку количественная оценка указанных факторов затруднительна, сформулируем в наиболее общем виде полученный результат. Миротворческие усилия, пропорциональные сумме накопленных сторонами напряженностей, могут стабилизировать конфликтную ситуацию. Для этого нужно, чтобы они были направлены на обе конфликтующие стороны с одинаковой силой. Усилия будут достаточными, если они возобладают над усредненным фактором

самовозбуждения сторон конфликта (3.14). Тогда одна из конфликтующих сторон будет реагировать на приготовления другой сильнее, чем на собственные побудительные мотивы (3.15). В противном случае рано или поздно возникнет неустойчивость. Наглядной иллюстрацией справедливости этого вывода служат весьма неустойчивая ситуация вокруг арабо-израильского конфликта, события в бывшей Югославии, в Чечне и других регионах, где «внутренние» факторы стимулирования конфликта преобладают над внешними.

3.2.4. Математическое моделирование системы образования

В 1994–1995 гг. в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша проводились работы по моделированию и прогнозированию развития высшей школы России [30]. Модель включала три основные переменные, характеризующие состояние общества: объем производства X, объем доступных материальных ресурсов R, уровень развития науки и образования, т.е. объем интеллектуальных ресурсов, A. При выводе уравнений использовались следующие предположения:

1. Прирост объема производства. В процессе производства используется некоторый объем ресурсов ΔR, полученный в результате затрат прошлогоднего продукта в области материальных ресурсов. В итоге создается новый объем продукта $X(t + 1)$: $X(t + 1) = p\Delta R(t)$.

Далее предполагалось, что с ростом объема интеллектуальных ресурсов величина p будет возрастать, поэтому в модели использовалась зависимость $p = p_0 + Ap_1$. Величина p_0 оценивалась, исходя из темпов экстенсивного развития производства в условиях избытка материальных ресурсов. Пусть $p_0 \approx 1, 2$.

2. Увеличение расходов на интеллектуальную сферу. Известно, что в мире расходы на интеллектуальную сферу составляют несколько процентов ВВП. Примерно такова же доля людей, занятых в этой области. Если считать характерной для X величину $O(1)$, то для A порядок будет другим: $O(0{,}01)$. Поэтому величина p_1 была выбрана близкой к десяти.

Расходы на интеллектуальную сферу предполагались равными: $M = eX$, где e также имеет порядок 0,01 (1%). Однако специфика интеллектуальной сферы такова, что скорость ее прироста принципиально ограниченна. Выполнение достаточно сложной работы, как и подготовка нового специалиста, требуют времени порядка пяти лет, поэтому годовой прирост не превышает величину $2^{1/5} \approx 1{,}15$. Кроме того, данная сфера подвержена эффекту распада: знания устаревают, люди уходят в другие области деятельности. Окончательно объем интеллектуальных ресурсов в следующем году равен:

$$A(t+1) = qA(t) + f\,\frac{M}{1+M/A}.$$

Здесь $q < 1$ учитывает распад; f описывает скорость роста при щедром финансировании; величина $1/(1 + M/A)$ описывает «усваиваемость» финансов: чем больше A, тем больше средств может быть эффективно вложено. Использовались значения $q \approx 0{,}8$; $f \approx 1{,}15$.

Объем материальных ресурсов R обычно имеет тот же масштаб, что и X. Ежегодно из него вычитается часть ΔR, затраченная на производство, часть ресурсов h возобновляются естественным путем. При ограничении объема ресурса его стоимость должна возрастать, что требует дополнительных расходов на единицу продукции. Степень ограничения определяется соотношением между объемом ресурсов R и текущим производством X. Если R мало, то для получения того же количества ΔR потребуется больший объем X. В модели использовалось соотношение $\Delta R = X/1 + g(X/R)$, где g — коэффициент, отражающий цену ресурсов. Тогда, если ресурсов много, $\Delta R \approx X$; если объем ресурсов порядка X, то ΔR будет всегда меньше R и может быть существенно меньше X. Кроме того, предполагалось использовать функцию вида $b(A/A_c)^k$ для учета возможности освоения обществом новых видов материальных ресурсов за счет «интеллекта». Здесь b — «параметр усвоения инноваций»; A_c — некоторый критический уровень развития интеллектуальной сферы. В модели $A_c = 0{,}03$. Величина k — некоторый параметр, определяющий стиль и эффективность научной и образовательной работы. Поскольку такая работа эффективна, по крайней мере при частых «парных контактах», использовалось $k = 2$.

В этом случае имеем:

$$R(t+1) = R(t) - \Delta R + h + b\left\{\frac{A(t-t_R)}{A_c}\right\}^2 .$$

Здесь величина t_R — время «включения в работу» специалиста. Его можно принять равным трем–пяти годам.

Окончательно получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} X(t+1) = (p_0 + p_1 A)X\dfrac{R}{R+gX}, \\ R(t+1) = R(t) - X\dfrac{R}{r+gX} + h + b\left\{\dfrac{A(t-t_R)}{A_c}\right\}^2, \\ A(t+1) = qA(t) + f\dfrac{eXA}{A+eX}. \end{cases}$$

Заметим, что модели такого класса дают не количественную, а качественную информацию, которая может оказаться достаточно ценной. Результаты данного моделирования можно резюмировать в виде следующих сценариев развития общества:

1. Пусть изначально у общества не было ни развитого производства, ни научно-образовательной сферы, однако был довольно большой объем неосвоенных природных ресурсов. В течение примерно 30 лет идет быстрый рост масштабов производства: оно возрастает почти в 50 раз. Интеллектуальная сфера неплохо финансируется, и объем ее вырастает почти в 30 раз. Однако интеллект никак не используется в производстве ($b = 0$), поэтому рост сопровождается довольно быстрым исчерпанием природных ресурсов, и когда их объем падает ниже определенной черты, начинается быстрый, почти катастрофический, спад, наступает коллапс. За пять лет масштабы производства снижаются почти в 5 раз (рис. 3.14), а затем постепенно стабилизируются на уровне, отвечающем потреблению только возобновляемых ресурсов ($h = 0{,}5$). При другом уровне возобновления возможен более катастрофический спад. В конце концов страна оказывается в положении банановой республики.

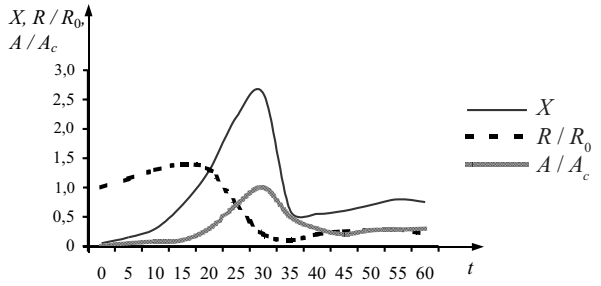


Рис. 3.14. Развитие общества в случае,когда экономика невосприимчива к нововведениям ($p_0 = 1,2$; $p_1 = 10$; $g = 1$; $h = 0,5$; $b = 0$; $q = 0,5$; $f = 1,15$; $e = 0,01$; $A_c = 0,03$; $X_0 = 0,05$; $R_0 = 10$; $A_0 = 0,01$; $t_R = 5$)

2. Пусть все исходные данные остаются прежними, за исключением «параметра усвоения инноваций». Как видно из рис. 3.15, увеличение параметра *b* до 1,5 приводит к довольно стабильной ситуации в период исчерпания ресурсов. И хотя объем производства падает примерно на 30%, оно быстро восстанавливается и устойчиво растет. В данном случае наблюдается ситуация, когда общество достигает некоторого уровня развития, после чего происходит смена основных ресурсов развития и дальнейший рост обеспечивается интеллектуальной сферой. Страна может совершить «технологический рывок» и выйти в число высокоразвитых стран.

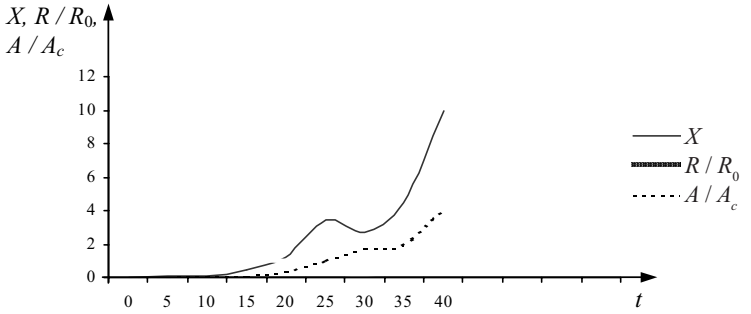


Рис. 3.15. Развитие общества в случае,когда экономика восприимчива к нововведениям (b = 1,5; остальные значения параметров те же, что и на рис. 3.14)

3. Пусть степень усвоения инноваций та же, что и в предыдущем случае, но финансирование интеллектуальной сферы уменьшено вдвое (e = 0,005). Вследствие этого к критическому моменту начала спада производства развитие интеллектуальной сферы не достигает необходимого уровня и не может оказать заметного влияния на состояние общества. В результате общество развивается по первому сценарию.

4. Пусть степень усвоения инноваций недостаточна (b = 1,0) и при таком же уровне финансирования, как в первом сценарии, происходит выход на уровень возобновляемых ресурсов. Однако если финансирование интеллектуальной сферы увеличено с 1 до 1,5%, то снова происходит качественная смена режима — наблюдается быстрый рост вместо спада. Таким образом, развитие продолжается по второму сценарию.

В заключение сделаем выводы из проведенного исследования.

Во-первых, интеллектуальная сфера является важнейшим ресурсом развития общества. Если возможность использования этого ресурса отсутствует или ниже порогового уровня, то развитие общества может быть только экстенсивным.

Во-вторых, существует пороговый уровень финансирования интеллектуальной сферы, и если объем финансирования окажется ниже этого уровня, то интеллектуальная сфера быстро теряет способность играть роль ресурса развития общества.

Опыт России, к сожалению, говорит о том, что подобные выводы оставались в годы реформ без должного внимания. Так, в 1991–1992 гг. наука была исключена из числа приоритетных областей. Причина заключалась в том, что наука не рассматривалась в качестве инструмента решения тех организационно-экономических задач, которые находились в центре внимания правительства. Поэтому из сферы приоритетов национального престижа наука перешла в область остаточного финансирования. Государственное финансирование науки в 1992 г. снизилось в 2,2 раза по сравнению с 1991 г. (в пересчете на постоянные цены 1991 г.), затраты на науку в ВВП сократились с 1,03% в 1991 г. (при критическом значении в мировой практике 2% ВВП) до

0,57% в 1992 г.[1]. Следует отметить, что при относительно высокой пропускной способности системы современного образования в России сегодня менее 5% экономического роста достигается за счет научно-технического прогресса, в то время как этот показатель в 1990 г. доходил до 65%. Для сравнения отметим, что в передовых странах он приближается в настоящее время к 90%[2].

Задания и упражнения

1. Опишите с помощью логистической модели историю развития науки. Что, на Ваш взгляд, может выступить в качестве ограничителя дальнейшего стремительного роста науки?

2. С помощью логистической модели исследуйте вопрос эффективности рекламы. Всегда ли широкая рекламная кампания гарантирует успех новому товару?

3. Приведите примеры возможного применения логистической модели в сфере образования.

4. Дайте экономическую интерпретацию процесса, описываемого уравнениями Лотки–Вольтерра.

5. Используя известные Вам модели, опишите:

– арабо-израильский конфликт;

– взаимоотношения России и США;

– какой-либо известный Вам конфликт между руководителем и подчиненным;

– характер своих взаимоотношений с другом или в семье (с родителями, братом или сестрой);

– свою жизнь;

– любые взаимоотношения стран и/или народов в настоящее время или в прошлом.

---

[1] Дежина И. Наука России в переходный период.http://koi.www.roline.ru/sp/iet/trends/1990-1996/science.rhtml

[2] О науке, информатике и сезоне охоты за учеными степенями // Almamater. 2001. № 1. С. 49.

4. ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ

Мне хочется выполоть несколько
сорных истин. У вас есть время?

В. Набоков

4.1. Методологические ориентиры социально-экономического анализа в рамках синергетического подхода

Методологическими ориентирами социально-экономического анализа в рамках синергетического подхода могут быть следующие [93]:

1. Незамкнутость экономических систем. Для того чтобы в сложных системах происходили процессы самоорганизации, они должны быть открытыми. Любые экономические агенты, а также экономическая система любого государства в целом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к открытым системам, — в них постоянно циркулируют потоки денег, ресурсов, информации, людей и пр. Важно иметь в виду, что открытость любой сложной системы порождает целый спектр нелинейных эффектов, которые пока не нашли отражения в экономической теории. Например, всякие допущения *caeteris paribus* (при прочих равных условиях) при анализе поведения экономических агентов в современных условиях могут нанести огромный вред экономике любого государства — новейшая история изобилует такого рода примерами.

2. Неравновесность экономических процессов. Данная характеристика также является очень важной характеристикой системы, способной к самоорганизации. Как отмечал Н.Н. Моисеев, «устойчивость, доведенная до своего предела, прекращает любое развитие. Она противоречит принципу изменчивости. Чересчур стабильные формы — это тупиковые формы, эволюция которых пре-

кращается. Чрезмерная адаптация... столь же опасна для совершенства вида, как неспособность к адаптации» [61, с. 42]. Теоретические модели равновесных систем в конечном счете оказываются нежизнеспособными конструкциями.

3. Необратимость экономической эволюции. Прохождение через точки ветвления эволюционного дерева (совершенный «выбор») закрывает иные, альтернативные, пути и делает тем самым эволюционный процесс необратимым. Настораживающе в этом отношении звучат выводы синергетиков о том, что в России «пункты, в которых можно было корректировать только политические, экономические, социальные процессы, уже пройдены. Масштабы происшедших в России перемен настолько велики, что при стратегическом управлении следует иметь в виду исторические траектории страны и этнические процессы» [52, с. 11–12].

4. Нелинейность экономических преобразований. В самом общем смысле нелинейность системы заключается в том, что ее реакция на изменение внешней или внутренней среды не пропорциональна этому изменению. У экономических систем существуют такие состояния, вблизи которых законы, управляющие дальнейшим развитием данной системы, резко, т.е. без промежуточных переходов, изменяются. Иными словами, наступает такой момент, когда экономическая система становится «вдруг» в существенной степени иной, но уловить эти переходы, хотя бы на самом общем уровне, экономическая теория пока не в состоянии.

5. Неоднозначность экономических целей. В нелинейной среде могут одновременно существовать много путей развития процессов. С точки зрения синергетики будущее вероятностно, неоднозначно, но вместе с тем оно не может быть любым. Владеть соответствующими методами синергетики — это уметь выбирать и оценивать необходимые важнейшие параметры. «Различие между реалистическими и утопическими проектами не в том, что первые можно воплотить в жизнь, а вторые — нет. Утопии тем и опасны, что они осуществимы; самые близкие нам примеры — “построенный в боях социализм” и затем ожидание рыночного рая на его обломках. Характерной чертой утопического мышления слу-

жит гипертрофирование позитивных и игнорирование негативных последствий того или иного выбора» [70, с. 149].

Синергетика позволяет увидеть мир в «другой системе координат». Выводы синергетиков часто неожиданны и противоречат устоявшимся истинам. Однако именно такой взгляд позволяет обнаружить то, что теряется в традиционном ракурсе, и предупредить о серьезных опасностях, которые могут возникнуть на пути развития общества, если в бифуркационный момент (момент выбора) не будут приняты ответственные, эволюционно обоснованные решения.

4.2. Кризисы и катастрофы в социально-экономической системе

> …Наш мир, по-видимому, навсегда лишился
> гарантий стабильных, непреходящих законов.
> Мы живем в опасном и в неопределенном мире,
> внушающем не чувство слепой уверенности,
> а лишь…чувство умеренной надежды.
>
> *И. Пригожин, И. Стенгерс*

4.2.1. Социальные кризисы и катастрофы в современном мире

Понятие кризиса в социально-экономических системах формально не определено. В толковом словаре термин «кризис» трактуется как резкий, крутой перелом в чем-либо, как острый недостаток или нехватка, как затруднительное, тяжелое, опасное положение. Под катастрофой в общем, самом широком смысле слова понимается переход, скачок из одного состояния развития социальной системы в другое.

Как отмечают специалисты, социальные кризисы, процессы перехода системы из одного состояния в другое изучены крайне мало [79; 80]. Тем не менее, число стихийных бедствий, катастроф и социальных кризисов на планете стремительно растет. Социальное пространство в XXI в. насыщено большим количеством

потенциально опасных кризисов, многие из которых способны угрожать выживанию человечества. Среди них:

– опасность коллапса биосферы вследствие разрушающего техногенного воздействия на окружающую среду;

– чрезмерный рост численности населения Земли и вызванная этим нехватка сырьевых ресурсов;

– вероятность «схлопывания» экологической ниши биологического вида *Homo sapiens* вследствие изменения состава биоты, происходящего из-за получающих распространение новых болезней и эпидемий, генетических мутаций, вырождения и т.п.;

– исчерпание энергетических и минеральных ресурсов;

– сверхурбанизация, погружение в мир эрзацев, искусственную среду обитания;

– чрезмерное распространение духа материального потребительства;

– погружение в новую среду обитания — виртуальную ойкумену;

– нарастающий разрыв по уровню жизни между богатыми и бедными странами;

– терроризм и преступность.

Как утверждают эксперты, есть радикальное отличие нынешнего века от всех предыдущих эпох: впервые за тысячелетия мировой истории возникло ощущение реальной опасности гибели человечества [46]. Иными словами, на рубеже веков наметились новые «вызовы» человечеству. Под «вызовами» обычно понимают проблемы общего характера, связанные с появлением каких-либо новых факторов в мировом развитии, ставящих под вопрос возможность нормального функционирования механизма воспроизводства общественной жизни, стабильность системы международных отношений, устойчивость мировой экономики и т.д. [20, с. 3]. В отличие от «угроз», предполагающих незамедлительные ответные действия, реакция на «вызовы», как правило, может быть двоякой:

1. Отсутствие каких-либо действий. В этом случае возможен следующий дальнейший ход событий. Какое-то время (вероятно, довольно долгое) система «подавляет» проявление дестабилизирующих ее факторов или «сосуществует» с ними. Однако если речь

идет о «вызовах», имеющих глубинные причины, то это рано или поздно приводит к коллапсу миропорядка, общества. Это наиболее болезненный тип развития.

2. Модернизация системы, связанная с изменением характера ее функционирования, установлением новых внутрисистемных связей. Чаще всего это — результат осознанных мер, призванных найти ответ на «вызовы». Однако неумелое вмешательство может только усугубить ситуацию, ускоряя коллапс системы. В истории России 1980–90-х гг. немало примеров подобного рода неадекватных действий.

4.2.2. Бифуркационная природа социальных катастроф

Возможность научного изучения кризисов и катастроф долгое время подвергалась сомнению в силу неповторимости и уникальности этих явлений. Однако в дальнейшем в сценариях развития кризисов и катастроф самой различной природы было обнаружено много общего.

Известный русский социолог П.А. Сорокин писал, что «накануне войны большинство ученых предсказывали мир; накануне экономического краха и обнищания — процветание; накануне революций — стабильный порядок и закономерный прогресс. Несмотря на все находящиеся в нашем распоряжении общественные и естественные науки, мы не способны ни управлять социально-культурными процессами, ни избегать исторических катастроф. Как бревно на краю Ниагарского водопада, нас приводят в движение непредвиденные и непреодолимые социально-культурные течения, перенося нас от одного кризиса и катастрофы к другим» (цит. по: [80, с. 188]).

В истории можно найти немало примеров, иллюстрирующих описанную ситуацию. Так, XX век Европа встречала в обстановке мирной жизни, которая продолжалась уже почти три десятилетия. По предложению императора Николая II собирается конгресс, цель которого — договориться о мирном сосуществовании в наступающем столетии. Ученые говорят, что наука раскрыла уже почти все тайны природы. Продолжается бурное развитие промышлен-

ности. В культуре наступил серебряный век… И все это благополучие было буквально взорвано всего через полтора десятилетия.

Революционные процессы с их непредсказуемым исходом являются типичными процессами *бифуркационной* природы (*бифуркация* — ветвление эволюционного пути). Трудно вспомнить революцию и революционеров, добившихся тех целей, из-за которых предпринимались революционные перестройки. Другими словами, социальные революции всегда оказываются «иронией истории» в отношении предсказуемости исхода. Ярким тому примером служит опыт социально-экономических реформ 1990-х гг. в России. Экономика страны в течение последних десяти лет функционировала в режиме чрезвычайных ситуаций: все экономические кризисы или оказались более глубокими по сравнению с предварительными оценками экспертов (например, спад и гиперинфляция 1992–1994 гг., дефолт 1998 г.), или явились полной неожиданностью как для экономических властей, так и для большинства экспертов.

С синергетической точки зрения развитие социума как нелинейной системы описывается посредством двух моделей: эволюционной и бифуркационной. Отличительной особенностью эволюционного этапа развития является неизменность системного качества. Это период с хорошо предсказуемыми линейными изменениями. Но именно в данный период происходит нарастание внутреннего неравновесия, что ощущается как нарастание кризиса. Разрушение, дестабилизация каждой системы имеет свой сценарий. В строении системы есть свои слабые места, где возмущающий удар вызывает наибольшие последствия. Поэтому особенности дестабилизации зависят в первую очередь не от специфики внешнего воздействия, а от устройства самой системы.

По мере нарастания внутреннего неравновесия система приближается к бифуркационной точке, в которой эволюционный путь системы разветвляется. Система становится очень чувствительной к внешним и внутренним воздействиям. Выбор того или иного пути в точке бифуркации зависит от фактора случайности, реализуемого через деятельность конкретных людей. Именно конкретная историческая личность приводит систему к новому системному

качеству. Роль случайности не просто велика, она фундаментальна. Она делает процесс необратимым. Развитие таких систем имеет принципиально непредсказуемый характер. Историк, как правило, «фатализирует» исторический процесс («задним умом») и сам конструирует цепь причинно-следственных событий, с наибольшей надежностью ведущую к заключительному пункту. Синергетика же понимает под общеисторической закономерностью не единый путь исторического развития, а единые принципы «хождения по разным историческим маршрутам». Синергетический подход ставит во главу угла не только реальность, но и возможности, ситуации выбора, точки бифуркации (ветвления) исторического процесса.

Прямолинейные экстраполяции тех или иных кратковременных тенденций, на основе которых по большей части строились прогнозы социального переустройства, уступают место моделям, в которых будущее видится как пространство возможностей, а настоящее — как напряженный процесс выбора. Синергетически мыслящий историк, политолог или экономист не будет оценивать то или иное решение посредством прямолинейного сравнения предыдущего и последующего состояний. Он станет сравнивать реальный ход последующих событий с вероятным ходом событий при альтернативном ключевом решении.

Разумеется, такой подход сильно отличается от традиционного, сложившегося в рамках классической парадигмы, основными постулатами которого являются следующие [37, с. 4]:

- Мир жестко связан причинно-следственными отношениями.
- Следствие соизмеримо с причиной.
- Развитие предсказуемо и «ретросказуемо»: настоящее определяется прошлым, а будущее — настоящим и прошлым.
- Случайность является второстепенным фактором, не оставляющим следа в общем течении событий.
- Единичное усилие не может иметь видимого влияния на ход истории.
- Неравновесность, неустойчивость воспринимается как нечто негативное, разрушительное, сбивающее с правильной траектории.
- Развитие мыслится как безальтернативное.

Синергетическое представление о социальном развитии требует нелинейной интуиции и альтернативного мышления. Возможно, нелинейная динамика могла бы вооружить исследователей-обществоведов новыми подходами. Можно ожидать, что мощным инструментом нелинейного мышления в недалекой перспективе станут компьютеры, как в свое время они стали «соавторами» открытий в естественных науках. Они будут «просчитывать» гипотетические варианты развития при различных ключевых событиях. И, что очень важно, исследование будет осуществляться путем эксперимента с моделью, а не с реальной системой.

Точки бифуркации иногда называют «динамическими ключами» управления [142]. Однако искусство обращения с этими ключами пока, к сожалению, познается в России на горьком опыте. Опыт последнего десятилетия показал, что в условиях нестабильности даже небольшие флуктуации могут «запустить» процесс с непредсказуемыми для всей системы последствиями. Так, в условиях, когда общество находилось в ситуации, далекой от равновесия, М.С. Горбачевым была предпринята попытка осуществления контролируемой реформы, которая превратилась в неконтролируемую флуктуацию. Последняя, в свою очередь, ввергла общество в состояние бифуркации. Оказалось, что бифуркация и самоорганизация отнюдь не всегда ведут к положительным результатам. Бифуркация может привести как к более высокой организации, так и к полной дезинтеграции системы (общества). И чем стремительнее и концентрированнее макропреобразования (например, «шоковая терапия»), тем они менее управляемы и более непредсказуемы. Государство прошло (иногда не очень задумываясь о последствиях) многие точки бифуркации во внутренней (налоговая политика, борьба с преступностью, коррупция власти, приватизация, развитие образования, война в Чечне и пр.) и внешней (стратегия развития взаимоотношений с Западом, Востоком, в частности расширение НАТО, и пр.) политике. Выводом из горького опыта России может стать понимание того, что эксперименты с обществом — это рискованное и дорогостоящее дело. Смена аттракторов — очень сложная и, главное, ответствен-

ная задача. Для того чтобы подойти к ее решению, нужно научиться управлять хаосом. Подобная задача уже поставлена в области естественных наук, но в социальной сфере она имеет свои специфические особенности [146].

Самоорганизация происходит не в пустоте, а под сильным воздействием сопряженных систем. Если в физике — это магнитные, гравитационные, электромагнитные поля, то в обществе — это культурное наследие, ценности общества, менталитет и т.д. «Насущной проблемой для нашего поколения является создание *нового образа мышления, новых оценок и нового образа жизни*, способных регулировать глобальную социоэкономическую и экологическую систему до того, как напряжение в ней станет критическим. В отличие от природных регуляторных механизмов, закодированных генетически и автоматически приводимых в действие всякий раз, когда оказываются превзойденными некоторые пороги устойчивости, регуляторные механизмы человеческого общества зависимы от ценностей и взглядов живущих поколений. Культурно закодированные механизмы развиваются быстрее, чем генетически закодированные, но и устаревают они также быстрее. Технологическая революция последних десятилетий намного опередила сложившиеся взгляды и убеждения: в 90-е годы XX столетия архаичность ценностей и практики взаимодействия современных обществ между собой и с окружающей средой стала подлинной угрозой для благоденствия и выживания человечества» [43, с. 10].

4.2.3. Социальная природа современных катастроф

Современные катастрофы представляют чрезвычайно сложные феномены. Особое место занимают социальные катастрофы. Они имеют комплексную природу и вызываются конкретными экономическими, политическими, социальными, духовными причинами. Этот тип катастроф проявляется в войнах, конфронтационных противостояниях, бунтах, революциях, переворотах и ведет к огромным человеческим потерям, разрушению духовных основ общества, деградации. Своеобразие современного этапа заключа-

ется в том, что действия по созданию кризисных, конфликтных, катастрофических ситуаций стали носить управляемый характер.

Следует подчеркнуть, что характерной чертой современных катастроф самой разной природы является их социальность, или общественная обусловленность. Непродуманные действия человека (уничтожение лесов, источников воды, загрязнение среды обитания и т.п.) резко усиливают количество и масштабы природных катастроф. Растущее давление человека на природу подрывает восстановительную способность биосферы, что сегодня вызывает локальные экологические катастрофы и готовит почву для глобальной катастрофы в будущем.

В основе технологических (техногенных) катастроф также лежат социальные причины. Энергетические, ядерные, транспортные аварии и катастрофы вызываются рассогласованием взаимодействия человека и машины. В этом типе катастроф по мере развития техники огромную роль начинает играть человеческий фактор. Кроме того, происходят катастрофы, вероятность которых ничтожно мала (например, вероятность возможной аварии на атомной станции равна 10^{-7} в год, т.е. одна авария за 10 млн лет). Как правило, о таких катастрофах говорят, что «это результат практически невероятного сочетания большого числа неблагоприятных обстоятельств». Тем не менее, они случаются все чаще и чаще. Специалисты по нелинейной динамике установили, что причинами запроектных катастроф являются не ошибки операторов или ненадежность отдельных элементов. Они объясняются сложностью технологий, включающих множество взаимосвязанных элементов. Малое отклонение или мелкая поломка в сложной системе может привести к непредвиденному изменению динамики системы. Другими словами, возможность таких катастроф — это не свойство отдельных частей системы, а свойство целого.

Возрастание размеров и мощи технических систем ведет к увеличению масштабов людских, материальных и экологических потерь. Только за последние 20 лет от стихийных бедствий и промышленных аварий пострадали более 1 млрд человек, в том числе 5 млн погибли или были ранены. За это же время свои родные ме-

ста из-за региональных конфликтов покинули 13 млн человек, а из-за экологических проблем — более 10 млн. Таким образом, социальные последствия современных катастроф слишком велики, чтобы быть объектом исследования только узких профессионалов. По существу, речь идет о необходимости научно управляемого обеспечения социальной безопасности. Главное, что может человек противопоставить бедствиям и катастрофам, — это технологию социальной организации, учитывающую риски современности. Для этого необходим мониторинг «параметров риска» в социальной сфере (который выходил бы за рамки мониторинга параметров экономической среды), необходимо объединение усилий самых разных специалистов — математиков, психологов, социологов, менеджеров и т.д., необходимо международное сотрудничество [55].

4.2.4. Устойчивое развитие

Подобная задача была поставлена научным сообществом на конференции ООН по проблемам развития в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Ключевым понятием на саммите стало «устойчивое развитие» (*sustainable development*). Комиссия ООН понимала под «устойчивым развитием» такой сценарий развития мира, при котором будущие поколения смогут иметь стартовые условия, сравнимые с теми, которые имеют нынешние. В обычном словоупотреблении словосочетание «устойчивое развитие» трактуется более просто: так принято называть любые усилия и любое поведение, не нарушающие происходящие в природе процессы, от которых зависит жизнь на Земле. «В сущности, концепция устойчивого развития стала качественно новым подходом к проблемам, которые раньше или не замечались, или не осознавались как важные, или считались не относящимися к сфере экономической науки. Доминирующая до сих пор в экономике парадигма базируется на некоторых предположениях о мире, которые, будучи очень полезными для эффективного распределения ресурсов в краткосрочном промежутке времени, менее точны и полезны в работе с более долгосрочными, широкими и сложными проблемами устойчивого развития» [19, с. 126].

История XX в. показала, что ни стихийный рынок, ни тоталитарное экономическое планирование не способны обеспечить устойчивое развитие как в социально-экономическом, так и в экологическом аспектах. Н.Н. Моисеев предложил в данном случае перейти от термина «управление» к термину «направление» [63]. Наши воздействия должны быть направлены не на жесткое управление с точно поставленными целями, а на поддержание желаемых тенденций или на отход системы от катастрофы. Речь идет о направлении естественных процессов самоорганизации в желаемое русло развития, которое приведет к сравнительно долговременной стабильности. Здесь мы подходим к главному — цели и ориентиры для общества всегда, а сейчас особенно, более важны, чем механизмы и системы управления. Стратегия имеет приоритет над тактикой. Поэтому анализ стратегических рисков, понимание системных кризисов не предопределяют, например, политический или социально-экономический выбор общества. Они показывают, каков коридор наших возможностей и какую цену придется заплатить за принимаемые решения [75].

4.3. Синергетический подход к управлению

Мы должны быть чувствительны и готовы
не к тому, что будет, а к тому, что должно быть.

Гроциан

На первый взгляд в стремительно меняющемся иррациональном мире человеческие усилия бессмысленны. Неустойчивость, непредсказуемость, сильная зависимость от начальных данных мира нелинейных структур ставит под сомнение целесообразность управления. Однако исследования в теории управления и принятия решений с точки зрения теории хаоса установили, что воздействие человека не только возможно, но и существенно. Вопрос только в том, как влиять и когда.

Наука управления, основанная на научной парадигме Ньютона, должна быть переосмыслена и переформулирована в рамках но-

вых научных представлений, рассматривающих изменяющиеся отношения между порядком и беспорядком в поведении природных и социальных систем. Согласно синергетическому видению мира, большинство существующих в природе систем — системы открытого типа. Самая важная особенность открытой диссипативной системы состоит в том, что она сочетает порядок с хаосом. Синтез порядка и хаоса в понятии диссипативной структуры имеет два аспекта. Во-первых, «порядок» в системе существует лишь «за счет» хаоса, вносимого в среду; существование ее поддерживается путем постоянного обмена со средой веществом, энергией и информацией. Во-вторых, благодаря своему «порядку» система приобретает способность адекватно реагировать на хаотические воздействия среды и вследствие этого сохранять свою устойчивость.

Таким образом, с синергетической точки зрения хаос обладает творческой способностью рождать новый порядок. При этом существенно, что рождение нового порядка из хаоса «не вынуждается» какой-то внешней силой, а имеет спонтанный характер. Происходящие в системе флуктуации вместо того, чтобы затухать, могут усиливаться, и система развивается в направлении «спонтанной» самоорганизации. В управлении, как и в жизни, должна существовать открытость хаосу, опасностям в той мере, в какой мы способны с ними справиться.

Одним из основных симптомов хаоса, как уже отмечалось ранее, является сильная чувствительность к начальным данным и связанная с этим непредсказуемость на длительный промежуток времени. Поэтому бессмысленно делать детальный прогноз на большой период времени, когда очень малые события могут привести к полному срыву даже тщательно разработанного плана. Кроме того, реформаторы, знакомые с теорией хаоса, хорошо понимают, что все случаи предсказать невозможно, и они не станут паниковать из-за того, что что-то идет не по плану. Они *выработают генеральную политику* и попытаются направить процесс в нужное русло, давая возможность *самоорганизации согласовать все мелкие детали* адаптирующейся в стремительно меняющемся мире системе.

Новый взгляд на управление состоит в том, чтобы увидеть в хаотической, неустойчивой с точки зрения деталей системе порядок и стабильность, если рассматривать ее с позиции глобальных перспектив. Тогда вывод о том, что *система должна быть неустойчивой с тем, чтобы породить глобальную устойчивость*, не будет выглядеть столь парадоксальным.

В отличие от ортодоксального подхода, суть которого заключается в поиске оптимального пути развития и строгом следовании выбранному направлению, синергетика видит мир постоянно меняющимся самым непредсказуемым образом, что требует почти непрерывной корректировки деятельности. Более того, синергетик осознает, что корректировки и приспособления, будь то частные или коллективные, вообще говоря, не приводят к хорошо предсказуемым результатам. В этом случае стратегический анализ, как и тактический, не следует трактовать с позиции оптимизации. Другими словами, стратегия задает направление и обеспечивает общее руководство. Тактическая же цель состоит не в том, чтобы найти оптимум, а в том, чтобы разумно определить следующие ходы в шахматной игре политического развития. Дизайн хорошей политики — дизайн организационной структуры, способной обучаться и корректировать свое поведение в соответствии с результатами обучения. Цели становятся средством решения проблем, а не проблемы решаются для достижения целей.

4.3.1. Управление сложными изменениями методом организационного развития

Синергетический подход к управлению хорошо согласуется с методом организационного развития (метод ОР), разработанным современным западным менеджментом для управления сложными изменениями [117]. Главными характеристиками метода ОР являются в нашем случае следующие:

1. Этот метод рассчитан на длительный срок. Он не концентрирует внимание на частных вопросах и не предполагает быстрое

получение результатов, поскольку является скорее философской концепцией, чем набором точных рекомендаций.

2. Метод использует результаты наук о поведении человека, таких как социология, психология, управление персоналом, менеджмент, политология и др.

3. Для метода ОР приоритетом является не цель, а процесс. Только в итоге правильно организованного процесса изменений возможен положительный результат. При этом цель изменений может со временем меняться.

4. Метод предполагает участие помощника (фасилитатора, от англ. *facilitate* — помогать, облегчать, способствовать), который организует, координирует и контролирует процесс изменений. Фасилитатором может быть руководитель предприятия, его консультант, специалист по управлению изменениями и т.п.

5. Метод предполагает участие в изменениях тех, кого эти изменения затрагивают.

Примеры

1. На рис. 4.1 приведена схема применения метода организационного развития для рынка труда специалистов [90; 91].

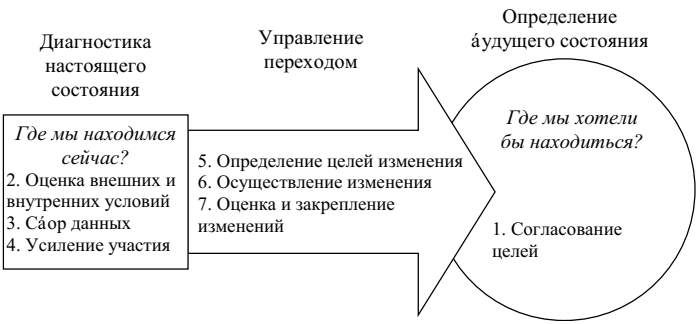


Рис. 4.1. Процесс организационного развития (числами от 1 до 7 обозначена последовательность действий)

2. Для реформирования высшей школы авторами был предложен подход, описанный в [107], ключевыми принципами которого стали открытость и самоорганизация.

4.3.2. Менеджмент в современном сильно изменяющемся мире

Предлагаемые модели управления близки по своей организации к предприятиям нового типа, жизнеспособным в сильно изменяющемся современном мире [144]. Отличительными особенностями последних является переход:

– от жестких структур к изменяющимся;

– от единственного способа организации к разным;

– от иерархии к сети;

– от централизованного контроля к полуавтономным структурам;

– от директивного стиля к управлению через советы и рекомендации;

– от поддержания линейного порядка к знанию того, когда более предпочтительными являются трансформации и перемены;

– от поддержания линейной устойчивости к функционированию на грани хаоса;

– от менеджмента изменений к изменяющейся организации;

– от повышения квалификации сотрудников к обучающейся организации;

– от отношений конкуренции или кооперации к их комбинации;

– от максимальной выгоды к социально обоснованной;

– от попытки достичь цели к созданию эволюционного видения будущего;

– от безразличия к коэволюции с социальной и природной средой;

– от экономической компетенции к эволюционной.

Коротко говоря, синергетический подход к управлению состоит в следующем: существует много путей развития системы, но необходимо выйти на желаемый аттрактор. Если есть алгоритм выхода на аттрактор, то сохраняется время и сокращаются материальные издержки. Надо суметь «уколоть» среду в нужное место, согласованное с ее собственной структурой. Надо не строить и перестраивать, а инициировать, выводить социальные системы

на собственные механизмы развития. Именно поэтому сейчас все большую значимость в работе предприятий приобретает даже не стратегическое управление, а миссия. Близкое к миссии понятие — ви́дение, которое Д. Ингвар охарактеризовал как «воспоминание о будущем» (см.: [31, с. 113]).

4.3.3. Принципы управления социально-экономическими системами

В области управления социально-экономическими системами синергетика исходит из следующих положений:

1. Вопрос, как должна функционировать экономика, неотделим от вопроса, как она устроена и функционирует на самом деле. Экономика — это самоорганизующаяся система, изменение состояния которой происходит в силу действия ее внутренних механизмов. Внешний мир, хотя и является причиной ее изменения, тем не менее, всецело ее не детерминирует. Следует отметить, «что самоорганизация в обществе оказывается гораздо более трудным делом, ибо возникает иллюзия сознательной организации общественных систем со стороны управляющих структур. На самом же деле управляющие воздействия могут вносить куда более существенный элемент дезорганизации (энтропии), вызывая кризисные явления экологического, военного, нравственного плана» [97, с. 410].

2. Управлять — значит переводить систему из одного состояния в другое, которое отвечает целям управления. Для этого нужно так воздействовать на компоненты системы, чтобы они эволюционировали в нужном темпе в желаемую сторону.

3. Управление по самой своей сути системно. С этим связано то обстоятельство, что управленческие решения, принимаемые в одних областях системы, оказывают влияние на решения, принимаемые в других областях. Управление современными социальными процессами сталкивается с рядом взаимосвязанных проблем. Во-первых, современная социальная реальность сложна, противоречива и динамична. Во-вторых, процессы, происходящие в со-

временном социуме, носят ускоренный характер. И наконец, возросла роль личности в социальных процессах, что усиливает напряженность, поскольку повышает ответственность не только тех, кто принимает управленческие решения, но и тех, кто воплощает эти решения в жизнь.

4. Господствующий в современной науке подход к управлению, согласно которому результат управляющего воздействия прямо пропорционален приложенным усилиям (что соответствует схеме «управляющее воздействие → желаемый результат»), имеет место только в случае, когда управляемая система находится в равновесном состоянии с окружающей средой и внутренними процессами. Однако когда та же система находится в сильно неравновесном состоянии, она начинает подчиняться законам нелинейного характера (отклик системы непропорционален силе воздействия на нее). И. Пригожин и И. Стенгерс писали: «Замечательная особенность рассматриваемых нами процессов заключается в том, что при переходе от равновесных условий к сильно неравновесным мы переходим от повторяющегося и общего к уникальному, особенному» (цит. по: [99, с. 130]).

5. В нелинейных системах возможно явление, получившее название резонансного возбуждения. Резонансное, хотя и слабое, воздействие приводит к большему эффекту, чем сильное, но несогласованное с системой.

6. Задача государственного управления в ситуации неопределенности — попытаться сохранить стабильность системы с одновременным развертыванием поиска новых альтернатив. В обстановке острого кризиса возможность резонансного управленческого воздействия на процессы самоорганизации особенно актуальна. Тем не менее, речь идет не только о том, чтобы новые решения входили в резонанс с отжившими традициями. Они должны быть нацелены на стимулирование активности новых социальных сил, на перспективные нормы и принципы организации, на ценности, которые могут обеспечить обществу развитие в изменившемся мире завтрашнего дня.

4.4. Социальное прогнозирование

Я интересуюсь будущим потому,
что собираюсь провести в нем всю
оставшуюся жизнь.

Ч. Кеттеринг

Лучший способ предсказать будущее —
создать его.

Р. Энтони

4.4.1. В чем состоит проблема прогноза?

Прогнозирование имеет давнюю историю. Начиная с древних времен предсказание считалось чудом и было уделом мудрецов. Затем, с развитием математики, выяснилось, что многие законы природы могут быть описаны дифференциальными уравнениями, решение которых позволяет определить состояние системы в любой момент времени. Единственным препятствием в этом случае являются чисто математические сложности, которые преодолеваются по мере развития самой математики. И действительно, на протяжении многих веков такое представление не подвергалось ни малейшему сомнению. С развитием науки возможность что-либо предсказывать расширялась, а точность предсказания повышалась. И это представление было непоколебимо до тех пор, пока не были сформулированы теоремы о невозможности.

Примером такой теоремы является закон квантовой механики о принципиальной невозможности (т.е. проблема состоит не в преодолении технических или математических сложностей) измерить с заранее заданной точностью одновременно координату и импульс элементарной частицы. Иначе говоря, мы не можем точно знать начальные данные. Как известно, в случае сильной чувствительности к начальным данным первоначальные отклонения с течением времени нарастают, а возможности прогноза сужаются. Вот какое рассуждение приводится в фейнмановских лекциях по физике: «…представьте теперь, что наша

точность ограниченна и что мы не знаем точно положение только одного из атомов; знаем, скажем, его с ошибкой в одну миллиардную. Тогда, если он столкнется с другим атомом, неопределенность в знании его координат после столкновения возрастет. А следующее столкновение еще сильнее увеличит ошибку. Так что если сначала ошибка и была еле заметной, то все равно вскоре она вырастает до огромнейшей неопределенности.

Правильнее будет сказать, что для данной точности (сколь угодно большой, но конечной) можно всегда указать такой большой промежуток времени, что для него становится невозможным сделать предсказания. И этот промежуток (в этом вся соль) не так уж велик… за очень и очень малое время вся наша информация теряется» (цит. по: [30, с. 25]). Таким образом, научным сообществом были осознаны принципиальные ограничения в проблеме прогноза или, иными словами, признано существование *горизонта предсказуемости*, за который нам не суждено заглянуть.

4.4.2. Причины сложности и простоты

Н. Винер при рассмотрении естественнонаучных проблем выделял две полярные с точки зрения сложности задач предсказания науки: астрономию и метеорологию. Существует парадоксальное на первый взгляд противоречие: приближение кометы, движущейся в миллиардах километров от Земли, прогнозируется точно, а вот погоду на завтра толком не знает никто! Винер считал, что астрономия — «идеально простая наука». Еще в отсутствие какой-либо теории в Древнем Вавилоне понимали, что затмения можно прогнозировать, потому что происходят они через правильные, предсказуемые промежутки времени. Предопределенность движения звезд по своим траекториям и позволяла измерять время, оценивая их положение на небосводе. Кроме того, книга астрономических событий читается одинаково в прямом и обратном направлениях. Метеорологические же процессы такой симметрией не обладают.

Так в чем же причина идеальной предсказуемости астрономических явлений и беспомощности попыток прогнозировать по-

году? Винер, называя астрономию идеально простой наукой, основывался в своем определении на том, что астрономия идеальна для моделирования: Солнечная система содержит сравнительно небольшое число элементов (звезды, планеты, их спутники) существенно различного размера, которые весьма слабо связаны между собой. Условия их движения благоприятны: пространство, в котором они движутся, свободно от вещества, препятствующего движению. Сами планеты и даже Солнце по сравнению с расстоянием между ними являются настоящими точками. Деформации планет столь малы, что их можно считать абсолютно твердыми телами, а при рассмотрении взаимного притяжения можно считать, что их массы сосредоточены в центрах и постоянны. Если к этому добавить, что положения, скорости и массы тел Солнечной системы известны в любой момент времени, то картина для моделирования становится полной и предсказуемость астрономических явлений оказывается более понятной.

Метеорология, в отличие от астрономии, имеет дело с огромным числом элементов примерно равного размера, сильно связанных между собой. Число элементов здесь настолько велико, что говорить об описании их по отдельности просто бессмысленно. Пользуясь системой законов Ньютона, мы можем прогнозировать на следующий момент лишь распределение вероятностей. Стохастика разрушает симметрию времени в модели, описание развития процессов становится необратимым. Как уже указывалось ранее, в 1960-х гг., основываясь на результатах метеоролога Э. Лоренца, была доказана принципиальная невозможность долгосрочного прогноза погоды. Известный математик В.И. Арнольд утверждает, что «для предсказания на 1-2 месяца вперед нужно знать начальные условия с погрешностью 10^{-5} от погрешности предсказания» [3]. В климатологии ученые даже отказались от слова «прогноз», все чаще используя слово «проекция». Они дают прогнозы на 50, на 100 лет вперед, отнюдь не рассчитывая каждую отдельную траекторию.

Социально-экономическая модель в общем случае подобна астрономической в том, что включает в себя элементы существенно различного размера (от семьи до национальной экономики), и похо-

жа на метеорологическую большим количеством элементов, серьезно влияющих друг на друга. Социально-экономическим системам присущи специфические сложности, связанные со способностью людей влиять на саму модель. В отличие от астрономических и метеорологических социально-экономические системы практически не поддаются формализации, особенно в период трансформаций.

4.4.3. Возможна ли социальная прогностика?

В настоящее время социальное прогнозирование одновременно относится к двум областям знания: социологии и научному прогнозированию как исследованию будущего. История научного прогнозирования в России открывается в 20-х гг. прошлого века работами В.А. Базарова (Руднева) [5–7], которому как сотруднику Госплана СССР было поручено разработать прогноз ожидаемого состояния страны к исходу первой пятилетки, т.е. к 1932 г. Уже тогда Базаров подошел к идее, позже ставшей известной как принцип Поппера, о «самореализующихся» и «самопарализующихся» прогнозах. В формулировке Базарова это звучало как принципиальная невозможность предсказания управляемых явлений, поскольку решение способно как бы перечеркнуть предсказание. Взамен он предложил анализ и оптимизацию трендов условно продолженных в будущее наблюдаемых тенденций, закономерности развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны. Цель — не предугадывание будущего, а выявление назревающих проблем и определение возможных путей их оптимального решения.

Работы Базарова оставались неизвестными мировой и даже советской научной общественности вплоть до 1980-х гг., тем более что автор вскоре был репрессирован и его научное наследие оказалось преданным забвению. А ровно 30 лет спустя, в 1958 г., сходная задача была поставлена перед американскими специалистами: сделать прогноз-предсказание ожидаемых результатов разрабатывавшейся тогда программы «Аполлон» (высадка человека на Луну). Они пришли к аналогичным выводам и предложили концепцию так называемого технологического прогнозирования, ос-

нованного на поисковом (анализ трендов с целью выявления назревающих проблем) и нормативном (оптимизация трендов для определения возможных путей решения проблем) подходах. Оба подхода с самого начала продемонстрировали столь высокую экономическую и политическую эффективность, что уже с начала 1960-х гг. на Западе развернулся «бум прогнозов» и возникли сотни исследовательских учреждений, которые прибыльно торговали технологическими прогнозами. Впоследствии в результате конкуренции число прогностических центров значительно сократилось. Вместе с тем обнаружились существенные ограничения возможностей самого технологического прогнозирования.

«Бум прогнозов» породил, по сути, новое направление междисциплинарных исследований — исследования будущего. Но социологическая проблематика в технологическом прогнозировании всегда занимала довольно скромное место по сравнению с преобладавшей технико-экономической и, отчасти, политической. Потребовались усилия американского социолога Д. Белла и знаменитой Комиссии по 2000 г. Американской академии искусств и наук, чтобы в 1965–1966 гг. преодолеть отчуждение между социологией и прогностикой. Комиссия пришла к выводу, что прогнозами, наряду с анализом и диагнозом, должна заниматься каждая наука, в том числе и социология.

Что касается России, то сталинские репрессии 30-х гг. превратили российскую «раннюю футурологию» (представленную многими именами, среди которых В.А. Базаров, К.Э. Циолковский, В.И. Вернадский, Б. Кузнецов, С.Г. Струмилин и др.), и, как известно, не только ее, в пустыню. В 60-х гг. на фоне возрождения отечественной социологии в рамках Советской социологической ассоциации была организована исследовательская секция социального прогнозирования (1967), а в первом Социологическом институте АН СССР в начале 1969 г. был создан первый и единственный по сию пору сектор социального прогнозирования (руководитель — И.В. Бестужев-Лада). Социальное прогнозирование, вырвавшееся именно под этим названием на поверхность из тайников интеллектуальной жизни, в сложившихся условиях оказалось изначально обреченным. Ему не мог-

ло быть места в рамках официальной идеологии социалистического строительства и движения к коммунизму, поскольку здесь господствовала не логика прогноза, а нормативно-идеологическая догматика. В такой атмосфере возник на первый взгляд загадочный, но вполне объяснимый феномен как бы имитации прогнозирования. В 1967–1991 гг. в СССР появились свыше 500 монографий и несколько тысяч статей, в которых детально описывалось, *как* прогнозировать, но не содержалось *никаких* конкретных прогнозов. В секретных документах для сугубо служебного пользования можно увидеть лишь более или менее грубую подделку под прогнозирование.

В настоящее время социальная прогностика становится повседневным занятием публицистов, политиков, специалистов самых разных областей знания, включая историков. Нетрудно заметить идеолого-политическую компоненту в сегодняшних прогнозах, нередко альтернативных.

Что касается будущего, то перед социальной прогностикой открываются нелегкие перспективы из-за указанных методологических проблем, которые дополняются (и усиливаются) остротой политической борьбы в государственных структурах, принимающих решения.

4.4.4. Социальное прогнозирование в условиях «динамического хаоса» социальной системы

На наших глазах в России произошли перемены исторического масштаба. Прогнозов распада государства, войн на его территории, утраты значительной части военно-промышленного потенциала страны и многих других радикальных изменений, которые произошли в течение всего пяти–семи лет, не существовало. Книга «Иного не дано», сыгравшая роль научного обоснования «перестройки», провозглашает будущее России как обновленного демократического социалистического государства («социализма с человеческим лицом»)[1]. В переходный период использование мно-

[1] Иного не дано / Под общ. ред. Ю.Н. Афанасьева. М., 1988.

гих испытанных методов прогнозирования стало приводить к большим погрешностям. Так, прогнозные данные Минэкономики России в 2–10 раз превышали физические показатели [18, с. 92]. В силу неустойчивости социальной системы, возможности «неожиданных» поворотов методы экстраполяции настоящих тенденций в будущее оказались ненадежными. Это то самое «сплетение» условий, при котором близкое будущее непредсказуемо из-за множества «случайных» факторов.

Идеи синергетики близки к философским взглядам Древнего Востока, в частности к утверждению, что жизнь человека протекает не только из настоящего в будущее, но и, в определенном смысле, в обратном направлении — из будущего в настоящее. Наше будущее в значительной степени зависит от того, каким мы его себе представляем. Иначе говоря, к людям с большей вероятностью приходит именно то, что заранее формируется в их сознании и подсознании.

В условиях социальной нестабильности задача прогнозирования должна быть переформулирована. В новой формулировке следует учитывать по крайней мере три важных момента [75]:

1. Бессмысленно требовать точный прогноз на какой-то достаточно большой промежуток времени. *Можно говорить только о прогнозах на короткий период*, о наличии или отсутствии устойчивых состояний, причем этих устойчивых состояний, как правило, бывает несколько. Стратегия прогнозирования должна быть следующей: надо выяснять, какие параметры и в каком сочетании необходимо менять для того, чтобы попасть в нужное нам предельное состояние.

2. Прогноз — это не предугадывание событий будущего, а выявление назревающих проблем и определение возможных путей их решения. В техносфере ученым известен парадокс планировщика. Допустим, есть очень хорошие модели, очень хорошая стратегия и очень хорошие решения, которые рассчитаны на 5 лет. Спрашивается, а что будет через 10 лет? Эти стратегии через 10 лет могут быть уже неэффективны, а через 20 — просто преступны. Поэтому в значительной степени все определяется тем,

что мы хотим получить. В зависимости от постановки задачи получаются разные уравнения, разные модели.

3. Несмотря на то что нелинейной динамикой был обнаружен горизонт прогнозирования, прогнозирование в условиях «динамического хаоса» не так безнадежно, если говорить о нем как о *процессе*. С одной стороны, прогноз — это однократный акт, а с другой — это технология, постоянная работа, которую надо совершенствовать. Допустим, разработан прогноз развития экономики. Есть верификация, модели, они обсуждаются, есть компетентные люди, способные заявить: да, наше научное сообщество понимает, что на данный момент у нас нет модели лучше, поэтому на нынешнем уровне развития технологии мы будем прогнозировать состояние экономики, исходя из этой модели. С течением времени посмотрим, насколько хорошо мы предсказали будущее, и будем корректировать наши модели.

По сути, речь идет о создании технологии прогнозирования как определенном итерационном процессе, на каждом шаге которого корректируется методика предсказания. Такая технология предполагает наличие достоверной информации и доступ к ней, построение адекватных моделей, подготовку специалистов по моделированию и прогнозированию социально-экономических процессов.

4.4.5. Сценарное прогнозирование

В развитии методологии прогнозирования социально-экономических процессов большую роль сыграли научные разработки отечественных и зарубежных ученых (А.Г. Аганбегяна, И.В. Бестужева-Лады, Л. Клейна, В. Гольдберга). В настоящее время в литературе насчитываются около 200 конкретных методов прогнозирования. За исключением самых экзотичных, крайне редко применяемых, их можно свести всего к трем методам, логически «дополняющим» друг друга:

– трендовое моделирование, или экстраполяция и интерполяция тенденций, закономерности развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны;

– аналитическое моделирование (чаще всего сценарное, матричное, сетевое, имитационное, игровое и т.д.);

– индивидуальный и коллективный, очный и заочный опросы экспертов.

Сценарное прогнозирование зародилось и развивалось в рамках такого направления, как кризисный менеджмент. Первое серьезное испытание сценариотехники как прикладной прогностической и управленческой методики относится ко временам «холодной войны» и связано с исследованиями, проводившимися американскими экспертами по проблемам ядерной безопасности. Пентагон, учитывая крайне низкую вероятность внезапного полномасштабного ядерного удара со стороны СССР, тем не менее, сделал ряд заказов на сценарную проработку такой ситуации. Подобная мера была продиктована тем, что сценарист, принимая во внимание не только вероятное, выступает как разрушитель привычных стереотипов и устоявшихся концептуальных схем, расширяет поле возможного и тем самым обеспечивает готовность действовать в незапланированных кризисных ситуациях, выполняя таким образом «функцию предостережения».

Позже сценарии стали активно использовать при аналитической проработке гипотетических и реальных дипломатических кризисов (например, специалисты американской стороны использовали сценарный инструментарий во время Карибского кризиса). Продемонстрировав свою эффективность, сценарный метод впоследствии вышел за рамки кризисной тематики (сохранив все свое значение для нее) и начал применяться в самых разных сферах, от прогнозирования состояния на рынках финансов до экспертизы решений на государственном уровне.

В научной литературе нет единого общепринятого определения понятия «сценарий». В прогностике термин «сценарий» имеет два основных значения. Во-первых, это метод, позволяющий использовать суждение как одного эксперта, так и группы экспертов. Во-вторых, это итоговый документ, полученный в результате применения сценарного метода (иногда, наоборот, сценарный метод определяют как метод, с помощью которого создается сцена-

рий как документ). Различия существуют и в трактовке содержания рассматриваемого понятия. Так, Е. Квэйд в своей классической работе по системному анализу определяет сценарий как «описание или предсказание условий, в которых совершается предполагаемое развитие данной анализируемой, оцениваемой или проектируемой системы. Он состоит из наброска последовательности гипотетических событий и, как правило, включает прогноз изменения внешней среды (*environment*) на некоторый определенный период времени»[2]. В «Рабочей книге по прогнозированию» сценарий рассматривается как «метод, с помощью которого устанавливается логическая последовательность событий с целью показать, как, исходя из существующей ситуации, может шаг за шагом развертываться будущее состояние объекта исследования»[3]. Таким образом, в общем виде сценарий можно определить как гипотетическое описание причинно обусловленной последовательности событий — этапов трансформации системы.

Одно из главных преимуществ сценарного метода по сравнению с другими прикладными методиками анализа заключается в том, что написание сценариев находится как бы «на стыке» области предсказания и области предуказания. Руководители самого разного уровня заинтересованы не только в получении общих представлений о возможных параметрах будущей ситуации, но и в генерации альтернативных путей изменения этой ситуации в желаемом направлении. При решении такой двуединой задачи написание сценариев может быть весьма эффективно, так как этот метод представляет собой не только средство оперативного и детального анализа будущего, но и средство выявления возможностей его изменения. К примеру, специалистами отмечаются следующие основные назначения сценарного метода:

– предвидение и предварительный анализ качественных изменений, скачков, которые могут возникать в результате тех или иных мероприятий в условиях неопределенности их проведения;

[2] Цит.по: Ахременко А.С.Сценариотехника в аналитическом обеспечении процедуры принятия политических решений.http:// pr.philos.msu.ru/ahr3

[3] Там же.

– определение условий достижения желаемой цели развития объекта экспертизы и установление набора проблем, которые могут возникнуть на пути достижения этой цели;

– определение генеральной цели развития объекта прогнозирования, выявление основных факторов фона (окружающей среды) и формулирование критериев для оценки верхних уровней дерева целей.

Среди важнейших достоинств сценарного метода следует отметить *наглядность* формы изложения материала. Кроме того, в генерации сценариев могут принять участие специалисты различных направлений и профилей часто с весьма различными взглядами на рассматриваемую проблему (*междисциплинарность*). Положительная особенность методики сценариев состоит в ее *простоте*, связанной, в том числе, с вербальным характером описания будущих событий, а не с количественной их оценкой. Сценарный метод является одним из самых *дешевых* и, соответственно, наиболее доступных для широкого круга лиц, принимающих решения при прогнозировании. К тому же сценарная экспертиза занимает, как правило, *значительно меньше времени*, чем другие методы качественного прогнозирования, не говоря уже о создании математических моделей. Последнее свойство, в частности, привело к широкому использованию сценариотехники при диагностике и прогнозировании кризисных политических ситуаций, требующих принятия решений в предельно сжатые сроки.

Каким образом должен выглядеть сценарий как «конечный продукт» аналитической работы? На этот вопрос не существует однозначного ответа. В некоторых случаях сценарий может иметь вид стандартной аналитической записки, содержащей в максимально сжатой форме основные результаты анализа с самыми необходимыми и незначительными по объему комментариями. В других случаях он может напоминать историческое эссе, богатое деталями и подробностями, имеющее целью передать не только реальные черты ситуации, но и ее эмоциональное содержание, так сказать, «преобладающий тон». Характер сценария — его язык, объем, стиль, степень детализации и пр. — не может быть задан априор-

но, он определяется применительно к конкретной задаче исследования. Так, один из американских авторов, С. Браун, рассматривавший сценариотехнику в контексте системной аналитики, писал: «Функция, форма и содержание сценария определяются спецификой задания. Разные уровни анализа должны иметь различные степени детализации и сценарной проработки... Иногда сценарий может иметь "сырую" форму, из которой системные аналитики берут "вводные" данные для своих моделей. В других случаях, когда имеет место тесное сотрудничество между сценаристом и системным аналитиком либо они составляют одно и то же лицо, сценарий сам по себе может быть высоко формализованным. Но в любом случае конечную форму сценария определяет форма аналитической модели, в которую "встраивается" сценарий»[4].

Специфика исследовательской задачи и особенности конкретной ситуации обусловливают не только вид итогового документа — сценария, но и существенным образом влияют на выбор методики его создания. В условиях отсутствия универсальной предустановленной доктрины по написанию сценариев эксперт имеет в своем распоряжении определенный «веер» технологических возможностей. Прежде всего, сценарная экспертиза может носить индивидуальный либо групповой характер — в зависимости от масштаба и сложности проблемной ситуации. Если принимаемое решение имеет «локальный», тактический характер (т.е. речь идет о сопоставлении тактических альтернатив в рамках жестко определенных приоритетов и целей), бывает, как правило, достаточно усилий одного квалифицированного эксперта, обладающего большим объемом знаний по данной проблематике. Если же готовится к принятию решение стратегического плана (как, например, большинство решений на высшем государственном уровне), возникает необходимость привлечения ряда специалистов, в том числе разного профиля. Групповая сценарная экспертиза может быть весьма полезна и при принятии тактических решений, так как она обеспечивает

[4] Цит.по: Ахременко А.С.Сценариотехника в аналитическом обеспечении процедуры принятия политических решений.

охват более широкого спектра альтернатив и возможностей и носит более объективный характер; при анализе же стратегических решений она необходима, поскольку их последствия почти всегда затрагивают не одну, а несколько сфер жизни общества.

Таким образом, будучи одной из наиболее доступных методик, написание сценариев способно на время освободить исследователя от привычных штампов и устоявшихся схем и обеспечить готовность действовать в незапланированных кризисных ситуациях. Оно позволяет представить результаты экспертизы в наиболее наглядной и убедительной форме, благодаря технологической гибкости дает возможность использовать при анализе самую разнородную информацию. Эти достоинства сценариотехники особенно значимы в контексте социально-экономической нестабильности в России.

Пример

Госкомстат России подготовил новый прогноз численности населения страны до 2016 г. Причем предложил сразу три возможных варианта развития событий в зависимости от того, что у нас будет происходить в социально-экономической сфере. В результате общая численность населения к 2016 г. в стране может составить в лучшем случае 138 млн 748 тыс. человек, в худшем — 128 млн 686 тыс., а по среднему варианту — 134 млн 837 тыс. человек.

Так называемый «высокий» вариант эволюции рождаемости исходит из того, что наметившийся в последнее время подъем рождаемости — явление долговременное. Согласно этому сценарию, уровень рождаемости (количество детей на одну женщину детородного возраста) будет плавно расти и в 2015 г. составит 1,57. Специалисты считают, что это возможно только в том случае, если по оптимистическому варианту пойдет социально-экономическое развитие страны, т.е. уровень и качество жизни будут повышаться. С другой стороны, они предупреждают, что повышение уровня жизни роста рождаемости не гарантирует.

«Низкий» вариант исходит из неблагополучной социально-экономической ситуации. При этом прогнозируется быстрое снижение рождаемости — до 1,09 после 2005 г., что является самым низким показателем в Европе.

Средний вариант, как и «высокий», предполагает, что увеличение рождаемости в последние два года — закономерное

явление. Однако темпы роста постепенно замедлятся и уровень рождаемости к 2016 г. стабилизируется на отметке 1,4.

В отношении смертности также имеются три сценария. В основе «высокого» (с точки зрения ожидаемой продолжительности жизни) сценария — прогресс в экономике и значительные вложения в социальную сферу, что может увеличить продолжительность жизни, как было в 1994–1998 гг. Однако демографы подчеркивают, что мы вряд ли сможем в борьбе с преждевременной смертностью достичь таких же успехов, как, например, Польша, Чехия или страны Балтии.

Средний сценарий тоже исходит из улучшения социально-экономической ситуации, но более медленными темпами. В этом случае мы можем получить ситуацию, которая была характерна для начала 1980-х гг., когда без видимых причин рост смертности прекратился. Впрочем, это сейчас говорят, что «без видимых причин», а прежде такую ситуацию объясняли проведением антиалкогольной кампании. Средний вариант предполагает, что после 2010–2012 гг. начнется устойчивый рост продолжительности жизни, хотя его темпы будут в 2 раза ниже, чем в странах Евросоюза. Например, по этому сценарию, мужчины, которые родятся в 2015 г., будут жить в среднем 60,4 года (примерно на один год больше, чем рожденные в 2002 г.), а женщины — 74,1 года (примерно на полтора года больше).

4.5. Человек в меняющемся мире

Жизнь есть упускаемая и упущенная возможность.

А. Платонов

Если принять во внимание вывод синергетиков о том, что наступил «век бифуркаций» [43], то представляется исключительно важным дать людям ориентиры того, как подготовиться к подобного рода испытаниям. Опыт России показал, что без серьезной работы в этом направлении стремительные социально-экономические изменения, или бифуркации, способны обернуться траге-

дией для многих тысяч людей, породив тем самым множество социальных проблем.

Сегодня социологическое образование может не только дать человеку необходимые знания об обществе, в котором он живет, но и научить его конструктивно относиться к своему будущему на основе представления о том, что оно в большей мере является результатом нашего выбора — и коллективного, и индивидуального. В экономическом анализе учитываются альтернативные издержки производства товаров и услуг. Так, экономист вычисляет экономическую прибыль фирмы как разность валового дохода фирмы и издержек упущенных возможностей (того, от чего приходится отказаться, чтобы получить желаемое). При этом, с точки зрения экономиста, прибыльным бизнес оказывается в тех случаях, когда валовой доход покрывает все издержки упущенных возможностей [67, с. 281]. В социальной же жизни человек редко мыслит категориями упущенных возможностей, а зачастую даже не может увидеть открывающиеся перед ним новые пути. Формирование социологического мышления должно стимулировать виде́ние диапазона выбора и принятие решений, основанных на собственной системе духовных ценностей.

4.5.1. Формирование нелинейного мышления

Линейное мышление обусловлено стремлением к простоте, к упрощениям. Так легче воспринять объект, все кажется понятным. Однако линейное мышление часто оказывается недостаточно глубоким. Движение мысли в режиме пошаговой ситуации отождествляет понятия «после» и «вследствие». Между тем в реальности причина и следствия могут быть разделены во времени. В таком случае линейный взгляд не позволяет оценивать дальние последствия принимаемых решений. Кроме того, как утверждает синергетика, мир построен на многофакторных и нелинейных связях. При этом взаимозависимость различных факторов, в том числе и линейных, зачастую сложна, что также порождает эффект нелинейности. Очень часто ошибочные решения базируются на обы-

денном здравом смысле, основу которого как раз и составляют поверхностные знания и линейное мышление.

Логика нелинейного мира нередко оспаривает некоторые прописные истины и демонстрирует ограниченность рационального мышления. В списке таких прописных истин могут быть следующие:

- Одна причина — одно следствие. Например, существует единственная причина кислотных дождей, рака, парникового эффекта и т.д.
- Любой рост — это хорошо. Нет пределов роста.
- Технология способна разрешить любую возникающую проблему. Прогресс связан с совершенствованием технологии, а не самого человека.
- Будущее должно предсказываться, а не выбираться или создаваться людьми. Оно приходит к нам, а не мы его создаем.
- Проблемы нет или она несущественна, если она не может быть измерена.
- Если что-либо «экономично», то оно не нуждается в дальнейшем оправдании. Экономист Е. Шумахер утверждал: «Назовите это аморальным, уродливым, разрушающим душу или разлагающим человека, опасным для мира и будущего человечества, но если Вы не доказали его “неэкономичность”, то у Вас нет веских причин отказать ему в существовании, росте и процветании».
- Результат прямо пропорционален приложенным усилиям. Например, чем больше денег затрачено на вооружение, тем выше безопасность страны.
- Одна часть системы может развиваться отдельно от других. Она может процветать, в то время как другие части страдают и гибнут.
- Выбор состоит в «или–или», а не в «и–и».
- Обладание вещами есть источник счастья.
- В человеке рациональное преобладает над интуитивным и духовным.
- Людям нельзя доверять. Хорошие люди и хорошие поступки — это редкие исключения.
- Мы знаем, что мы делаем [140].

В нелинейном мире нет прописных истин, нет ничего «правильного» или «неправильного». Есть лишь последствия. При оценке последствий важно учитывать не только достигнутый результат, но и тот коридор возможностей, который за ним открывается. Может оказаться, что при всех выгодах сегодняшнего достижения принимаемые решения имеют катастрофические последствия, так как закрывают пути для дальнейшего развития и ведут в тупик.

Так, в период перехода к рыночной экономике в России система ценностей, нравственные, моральные нормы оказались неконкурентоспособными и не принимались в расчет при выработке судьбоносных решений. В свое время Х. Ортега-и-Гассет писал, что трансформация социетальной системы подразумевает некое «абсурдное состояние духа», когда людей больше всего «заботит собственное благополучие и меньше всего — истоки этого благополучия. Не видя в благах цивилизации ни изощренного замысла, ни искусного воплощения, для сохранности которого нужны огромные и бережные усилия, средний человек и для себя не видит иной обязанности, кроме как убежденно домогаться этих благ единственно по праву рождения» [77, с. 74].

В стародавние времена об этом Платон говорил так: «Они... с бесчестием, как изгнанницу, вытолкнут вон стыдливость, обозвав ее глупостью, а рассудительность назовут недостатком мужества и выбросят ее, закидав грязью. В убеждении, что умеренность и порядок в расходовании средств — это деревенское невежество и черта низменная, они удалят их из своих пределов, опираясь на множество бесполезных прихотей... Опорожнив и очистив душу... они низведут туда наглость, разнузданность и распутство... Наглость они будут называть просвещенностью, бесстыдство — мужеством, разнузданность — свободою, распутство — великолепием» (цит. по: [76]).

Последствия не заставили себя долго ждать. Современные исследования ВЦИОМ фиксируют интерес к проблеме нравственности только у 10–14% населения страны. В то же время общество столкнулось с интенсивным развитием негативных процессов (криминал, коррупция, наркомания, демографический спад и

т.д.), многие из которых приобрели системный характер и представляют большую угрозу для судьбы страны. Угроза выражается прежде всего в непрекращающемся сокращении возможностей саморазвития государства.

Формирование нелинейного мышления призвано помочь отслеживать и учитывать не только близкие (например, «экономика → прибыль» или «деньги → товар → деньги′»), но и более отдаленные (например, «культура, нравственность, экология → экономический рост») связи между причиной и следствием.

Путь к нелинейному мышлению предполагает не узкопрофессиональную, а *фундаментальную подготовку*. Важным моментом при этом является формирование целостного мировоззрения. *Целостным* назовем *мировоззрение*, которое дает человеку душевное равновесие и возможность не терять это равновесие, познавая мир на протяжении жизни. Частное следствие целостности мировоззрения заключается в его непротиворечивости в главных, определяющих чертах. Целостное мировоззрение позволяет жить в гармонии с собой и находить гармонию во взаимоотношениях с внешним миром. Оно побуждает искать и выстраивать своими руками гармонию «внутри» себя и «вовне», выступая в качестве воли человека.

Единство мира требует и единства науки. Человек изучает мир не извне, а изнутри (как часть единой системы). Его представления о мире являются представлениями части о структуре целого. Именно отсюда и возникают сложности в формировании общественного сознания. Подобную ситуацию можно описать притчей о слоне, которого ощупывали шесть слепцов. Каждый из них объективно рассказывал о доступной ему части реальности (один — о хвосте, другой — о хоботе, третий — о ноге). Сегодня фрагментарность, обособленность знаний служит серьезным препятствием при решении многих жизненно важных проблем. Мы все являемся свидетелями того, как блестящие решения в одной области приводят к катастрофе в других сферах. На уровне логики, однако, трудно достичь понимания глубокого единства мира. Не менее существенно *эмоциональное развитие* человека. Оно позволяет

почувствовать то, что скрыто за сплетением сложных причинно-следственных связей. А.П. Чехов писал, что не нужно пространно описывать бедность просительницы, достаточно заметить, что она была в порыжелой тальме. Отсутствие эмоционального отклика — результат невосприимчивости к нелинейному. В то же время без восприимчивости к нелинейному, без развития нелинейной интуиции вряд ли возможно формирование нелинейного мышления.

4.5.2. Открытость

Модель поведения человека в открытой системе отличается от модели поведения его в закрытой системе. Закрытое общество недоступно для изменений, происходящих в мире. Оно консервативно и опасается проникновения инноваций в свой образ жизни. Жизненная стратегия человека в закрытом мире колоритно описана в рассказе А.П. Чехова «Человек в футляре». Учитель гимназии Беликов стремится изолироваться от действительности, защититься от «внешних влияний». Он носит теплое пальто на вате, темные очки, закладывает уши ватой. Он хвалит прошлое и «то, чего никогда не было». Он преподает мертвый древнегреческий язык. И мысль свою он старается запрятать в футляр: «как бы чего не вышло».

Закрытая система способна оградить себя от беспорядка и нестабильности. В ее пределах изменения постепенны и непрерывны, законы развития предсказуемы и контролируемы, жизнь упорядоченна и стабильна. Однако ее границы постоянно подвергаются внешним и внутренним воздействиям, или флуктуациям. Закрытая система стремится подавить такие воздействия, но для этого ей требуется все больше и больше усилий. Наступает момент, когда она не в состоянии с ними справиться. Далее следует период большого беспорядка, хаоса, откуда два пути — полная дезинтеграция или самоорганизация в новый порядок. Так случилось и с Беликовым: столкновение с действительностью в виде веселой девушки и ее брата оказалось роковым — Беликов умер.

Законом сегодняшнего дня является стремительное изменение окружающего нас мира, рост неопределенности и непредска-

зуемости. Страх перед неопределенностью и непредсказуемостью подталкивает к ужесточению правил, законов и норм поведения. Стремление найти гарантию безопасности от неопределенностей жизни выражается, например, в формулах: «Демократия = хаос + беззаконие» и «Диктатура = порядок + закон». По сути, речь идет о построении новой, более надежной закрытой системы. Однако закрытое общество в изменяющемся мире — это общество с «задержанным» развитием, как называл его К. Поппер. В истории человечества можно найти немало случаев, когда изоляция приводила к вырождению культур. Например, античная Спарта. Потенциалом развития в сторону более сложных структур обладают как раз открытые системы. В том же рассказе А.П. Чехова другой герой, врач Иван Иванович, говорит: «А разве то, что мы живем в городе в духоте, в тесноте, пишем ненужные бумаги, играем в винт — разве это не футляр?» Люди часто осознают, что лучше «оказаться... в настоящем, глубоком, страшном, непредсказуемом и неиссякаемом мире, где возможно все: и хорошее, и плохое, нежели жить в узком, закрытом, хотя бы и теплом помещении» [77, с. 120].

Открытость, однако, чревата проникновением хаоса. Характерными чертами открытой системы являются неравновесность, неустойчивость, необратимость. Если в закрытом обществе человек избавлен от бремени личной ответственности и находится под опекой государства, то в открытом обществе он должен быть постоянно готов противостоять грозящим ему рискам и опасностям, насколько позволят ему его разум и предусмотрительность. В открытом, необратимом мире, где будущее не может быть точно предопределено, а настоящее имеет несколько потенциальных линий развития, человек находится в ситуации постоянного выбора, поиска решения в соответствии с изменяющимися условиями.

Теория самоорганизации помогает понять, как в такой ситуации изменять модели поведения. Линейность, стабильность, равновесность оказываются моментами неравновесного, нестабильного мира. Иногда людей больше устраивает порядок, но для большинства человеческих целей *наиболее полезным является изменяющаяся степень беспорядка* [88]. Поэтому в жизни должна существовать

открытость хаосу, опасностям в той мере, в какой мы способны с ними справляться. Это предполагает радикальную переоценку ряда ценностей, что, в свою очередь, подразумевает недоверие к шаблонам, подозрительность к долгосрочному и крупномасштабному планированию жизни и опору на методологию относительности, локальности, случайности. От человека зависит то, как он использует открывающиеся перед ним возможности и использует ли их вообще.

Советский Союз был закрытым обществом. В течение многих десятилетий ценностно-нормативные стереотипы ориентировали наших граждан на стабильность и неизменность. Административная система стремилась лишить человека «избыточных степеней свободы». Стремительные социальные перемены 1990-х гг. застали людей врасплох. Внезапно был разрушен фундамент жизнеустройства, который давал людям чувство уверенности в будущем. Одно из проведенных в 1998 г. исследований показало, что 30% россиян испытывали чувство страха, а 88% — были не уверены в своем будущем [38]. Перед каждым человеком встали новые и трудные задачи самоопределения и конструирования своего жизненного пути, дающего ощущение стабильности, осмысленности и перспективы существования в хаосе социальных трансформаций.

Опросы общественного мнения в эпоху перемен показывали, что в России по-прежнему превалировали и имели тенденцию к росту ценности закрытого общества. Проиллюстрируем это результатами положительных ответов россиян на следующие вопросы [76]:

1. Предпочли áы Вы иметь неáольшой зараáоток и уверенность в завтрашнем дне?	
1989	45%
1994	54%
2. Предпочли áы Вы иметь соáственное дело и вести его на свой страх и риск?	
1989	9%
1994	6%
3. Человек несет ответственность за действия своего правительства.	
1989	43%
1994	39%

4. Человек несет ответственность за соáытия в стране. 1989 1994	 64% 44%
5. В неустроенности жизни виновата власть (1998).	83%
6. Моя жизнь во многом зависит от решения властей (1998).	86%
7. Для выхода из кризиса нужно в первую очередь (1997): – решить экономические проáлемы; – развивать оáразование и культуру.	 79% 11%
8. Успех в жизни зависит от самого человека. 1993 1997	 37% 30%
9. Успех в жизни зависит от жизненных оáстоятельств. 1993 1997	 28% 49%

Модель поведения открытого человека — это не разгул вседозволенности и анархии. Это определенная культура жизни в открытом обществе, которая не может быть навязана или привнесена в одночасье, она должна вызреть и передаваться в ходе процесса социализации. Нельзя одарить людей свободой. Когда-то об этом предупреждал А.И. Герцен. Уж более ста лет прошло, как он писал: «Нельзя людей освобождать в наружной жизни больше, чем внутри...»[5] Синергетическое образование могло бы предположить новые способы адаптации человека в эпоху нестабильного развития общества. Идеи синергетики очень созвучны с рекомендациями Р. Энтони из его книги «Учитесь мыслить по-новому» [135]:

- Ищите возможности, а не гарантии.
- Наше сегодня — результат наших вчерашних решений, а не обстоятельств. Итог жизни — сумма решений, принятых на протяжении жизни.
- Мы есть итог наших решений, принятых к настоящему моменту.
- Непостоянство — это единственное, что постоянно.

[5] Герцен А.Письма старому товарищу // Собр.соч.М., 1960.

• Как часто уроки жизни парадоксальны. Незначительное, на первый взгляд, решение вдруг оказывается решающим, а то, что кажется определяющим, — ничтожно.

• Пока вы не научитесь создавать свое будущее, вы не сможете предсказывать его.

• Не решать — тоже решение.

• Не сделаете выбор вы, за вас его сделают другие.

• Стоять перед выбором и не делать его означает, что выбор уже сделан.

• Когда покажется, что все в жизни рушится, скажите: «Чувствую аромат новых возможностей».

• Не так важно то, что вы получите, достигнув поставленной цели, как то, каким станете.

4.5.3. Проблема выбора

XX век предоставил человеку невиданные до этого времени возможности. Современная техника и технология, компьютеры преобразили мир. Однако цивилизация не только принесла свои дары, но и поставила перед человеком новые, гораздо более сложные задачи. Часто, приобщаясь к благам цивилизации, современный человек не успевает усвоить культуру нового времени. «Утверждение, что мир "обезумел"... интерес к галлюциногенным наркотикам, к астрологии и оккультизму, поиски истины в сенсации, экстазе... все это отражает повседневный опыт масс рядовых людей, которые видят, что они больше не могут разумно приспосабливаться к переменам. Миллионы людей ощущают вокруг себя патологию, но не понимают ее причин… Они коренятся в неконтролируемом и неизбирательном характере нашего стремительного движения в будущее» [118].

Многие сегодняшние задачи оказываются столь запутанными, что человек стремится устраниться от их решения, предоставив это право кому-нибудь другому. В результате он оказывается крайне уязвимым относительно всякого рода манипуляций. В быстро меняющемся, непостижимом мире люди часто готовы ве-

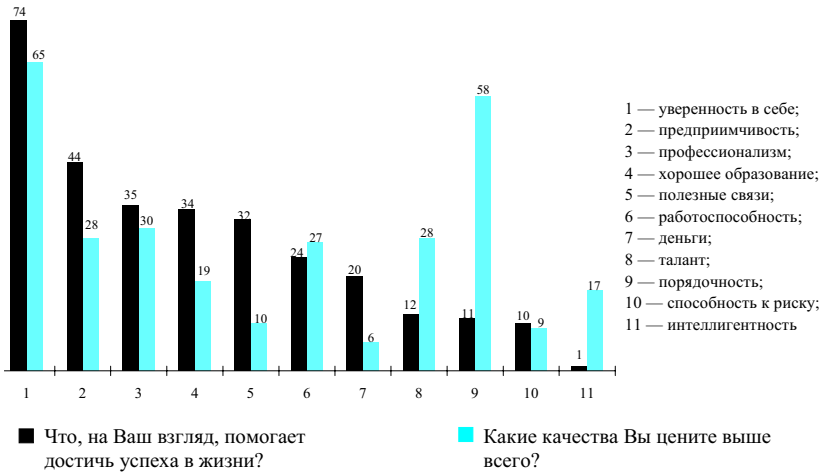
рить всему и не верить ничему. При всем богатстве выбора предпочтение отдается стандартному образу жизни со стандартными вкусами, привычками, взглядами, стереотипами мышления. При всей предоставленной временем свободе современный человек лишается индивидуальных качеств. В то же время общественный прогресс связан с развитием человека. Сейчас все больше исследователей отмечают, что если в XX в. и люди, и государства решали свои проблемы преимущественно с помощью развития техники, то проблемы в XXI в. придется решать за счет внутренних ресурсов человеческой личности.

В жизни отдельного человека немало бифуркационных моментов, которые могут круто изменить его судьбу. Готовых рецептов, как и оптимального решения, в таких ситуациях нет. Люди не могут знать пути из настоящего до незнакомого и отдаленного места в будущем. Но в любом случае лучший прогноз на завтра — это ответственный выбор сегодня. Человеку предстоит самому освоить решение сложной проблемы — проблемы выбора. Для этого нужно научиться видеть диапазон возможных вариантов, знать, хотя бы приблизительно, последствия выбора того или иного варианта и уметь оценивать поставленные на карту ценности.

Задания и упражнения

1. На основании своего жизненного опыта проанализируйте ситуации, когда незначительные события сильно меняли Вашу жизнь. Какие возможности открывались перед Вами в момент окончания школы? Как Вы решали проблему выбора будущей профессии? Что осталось нереализованным? Что, по Вашему мнению, можно расценить как упущенные возможности? Какие возможности открываются перед Вами сегодня? Проанализируйте перспективные сценарии Вашей будущей жизни.

2. В 2001 г. в Иркутской государственной экономической академии был проведен социологический опрос студентов [114]. В результате получили следующее распределение ответов:



Результаты социологического опроса студентов,%

Проанализируйте приведенные данные с синергетической точки зрения.

3. Прокомментируйте изречение Софокла: «Один в отдельности взятый афинянин — это хитрая лисица, но когда афиняне собираются на народные собрания, уже имеешь дело со стадом баранов!»

4. Французский социолог А. Моль лет 25 назад обнаружил, что средства массовой коммуникации стали тотально воздействовать на человека. Последствием этого массированного воздействия явилась *мозаичная* культура, в которой «...знания складываются из разрозненных обрывков, связанных простыми, чисто случайными отношениями близости по времени усвоения, по созвучию или ассоциации идей. Эти обрывки не образуют структуры, но они обладают силой сцепления, которая не хуже старых логических связей придает "экрану знаний" определенную плотность, компактность» [65, с. 45]. Возможна ли в мозаичной культуре постановка проблемы выбора?

5. Логично, что зарабатывать нужно прежде всего тем, кому денег недостает. Однако, согласно результатам социологических опросов, 22% подростков из семей с высоким материальным положением отметили, что они занимаются бизнесом, и лишь 12% их сверстников из бедных семей попробовали включиться в коммерческую деятельность. Полностью

отрицают для себя возможность вступить на этот путь только 23% подростков из обеспеченных семей, а из бедных гораздо больше — 34%. Проанализируйте приведенную ситуацию.

6. Как-то один американский ученый в разговоре с иркутским в середине 1990-х гг. отметил, что в Иркутске много достоинств по сравнению с США. Изумленный иркутянин попросил уточнить: каких же? Ответ: «У вас здесь прекрасная экология: чистая вода, чистый воздух». На что услышал: «Мне безразлично, каким воздухом я сегодня дышу, если завтра меня могут убить». Прокомментируйте этот диалог.

7. Приведите примеры процессов самоорганизации из студенческой жизни.

8. Какие процессы в социально-экономической жизни современного общества можно отнести к хаотическим?

9. В настоящее время эксперты выделяют три главных сценария развития России:

– «инерционный», согласно которому приоритетным направлением жизнедеятельности России является ориентация на использование имеющегося потенциала страны при пассивном воздействии на условия развития;

– «догоняющий», по которому государство и общество более активно пытаются воздействовать на условия развития. Разрабатывается концепция развития страны, определяются приоритеты, однако стратегия направлена на достижение тех же результатов (и теми же средствами), которые уже получены в экономически развитых странах мира;

– «творческий», который предполагает, что Россия не обязательно должна следовать универсальным путем, пройденным экономически развитыми странами. Стратегия развития сосредоточена на прорывных направлениях. В случае реализации этого сценария Россия станет одним из мировых лидеров.

Проанализируйте каждый из сценариев. Какой из них сегодня Вам кажется наиболее вероятным?

ИНТЕРВЬЮ С ПРОФЕССОРОМ Г. ХАКЕНОМ[1]

1. *Сегодня трудно назвать область знания, в которой не проводились бы исследования под рубрикой синергетики. Не пришло ли время для синергетического образования?*

Я думаю, что время для синергетического образования пришло. Я разделяю Вашу точку зрения, что сейчас трудно найти область знания, в которой не проводились бы исследования под рубрикой синергетики. Поэтому представляется разумным вводить синергетику на разные уровни образования — от колледжей до университетов.

2. *Что следует понимать под синергетическим образованием?*

Синергетика — это междисциплинарное направление, охватывающее самые разные области знания — от физики до психологии и философии, в которых математика играет очень важную, но не исключительную роль. Так, по моему мнению, синергетическое образование, несмотря на значительную специализацию научного знания, которая сегодня наблюдается, должно акцентировать свое внимание на общих принципах, разделяемых самыми разными науками. Таким образом, синергетика может помочь

1. Now it is difficult to name the area of knowledge, where the researches are not conducted under the heading of synergetics. Perhaps, it is a good time for synergetic education, isn't it?

I think time has become quite mature for synergetic education. I share your opinion that one can hardly find an area of knowledge where researches cannot be done under the heading of synergetics. Therefore it seems worth while to introduce this field at several levels of education ranging from high schools to universities.

2. What should we understand under synergetic education?

Synergetics is an interdisciplinary field of research that links quite different disciplines that range from physics to psychology and philosophy whereby mathematics plays an important but not exclusive role. Thus in my opinion synergetic education should stress the fact that in spite of all the specializations that we presently observe there are common principles shared by quite different disciplines. Thus synergetics helps us to understand important features of other

[1] Интервью было взято Е.Г.Пугачевой для журнала «Высшее образование в России» на конференции «International Nonlinear Sciences Conference» (Вена, 7–9 февр. 2003 г.).

нам понять важные стороны других наук, хотя синергетик может быть неспециалистом в этих областях.

3. *Что в отличие от традиционных подходов может предложить синергетика?*

Традиционное образование отражает сегодняшнюю специализацию науки, ее разделение на дисциплины, которые сами по себе становятся все уже и уже. При этом теряется целостность науки. Применяя специализированные знания, мы часто утрачиваем цели работы в большем масштабе.

4. *Синергетика — новое научное направление. Многое еще не оформилось и не определилось. Не рано ли вводить синергетику в образование?*

Хотя синергетика была инициирована мною почти 30 лет тому назад, она по-прежнему остается новым научным направлением. Синергетика — открытая область, и, безусловно, многие понятия еще не определены. Но именно открытость делает эту область чрезвычайно привлекательной для молодых ученых при поиске более фундаментальных и единых принципов в науке и человеческом бытии. Поэтому я не думаю, что время для синергетического образования еще не пришло. На мой взгляд, как раз наоборот. Есть разумное основание полагать, что такие единые принципы и подходы существуют. В то же время у молодых людей появляется шанс открывать и развивать новые

disciplines in spite of the fact that oneself is not a specialist in such a discipline.

3. What can synergetics offer in addition to traditional education?

Traditional education mirrors the present specialization of science into disciplines that by themselves become smaller and smaller. In this way the survey over science including the humanities is getting lost. When working in specialized disciplines, we also easily lose our insights into the purpose of the whole work in a larger context.

4. Synergetics is a new scientific direction. Many concepts haven't been yet determined. Maybe it is untimely to speak about synergetic education, isn't it?

Though synergetics was initiated some 30 years ago by me, it is surely still a new scientific direction. It is also an open field and surely many concepts have not been determined yet. But its openness makes this field highly attractive for young scientists to discover more fundamental and unifying principles in science and the humanities. Therefore I do not think that it is untimely to speak about synergetic education. In my opinion quite the contrary is true. There is already a sound basis that shows that such unifying principles and approaches exist. But at the same time it also shows that young people will have the chance to discover and to develop new

методы, пригодные одновременно и для теории, и для практики.

5. *Некоторые ученые выражают опасения относительно проникновения идей синергетики в гуманитарные науки (экономику, социологию и т.д.). Насколько такие опасения правомерны?*

Так как синергетика берет свое начало с изучения открытых нелинейных систем в физике, то некоторые ее основные базисные понятия могут быть проиллюстрированы примерами из лазерной динамики или динамики жидких сред. Ученые-гуманитарии (экономисты, психологи и т.д.) опасаются физического редукционизма. Это в корне неверно по следующим соображениям:

1. Синергетика — это ни в коей мере не физическая теория, а теория структурных взаимосвязей, которые могут быть строго описаны на математическом языке, а могут быть качественно объяснены на вербальном уровне.

2. Благодаря своему абстрактному подходу синергетика может обнаружить общие принципы, применимые к общественным наукам, таким как экономика, социология, психология. Стоит отметить, что с точки зрения развития самой синергетики представляется чрезвычайно важным участие в этой работе специалистов из других областей знания. В качестве примеров приведу опыт моего плодотворного сотрудничества с такими учеными, как Скотт Келсо (теория движе-

methods both in theory and experiment.

5. Some scientists express anxiety concerning introduction of synergetics to humanitarian sciences (economics, sociology, etc.). To what extend is it true?

Since synergetics originated from the study of open non-linear physical systems, a number of its basics concepts can be illustrated by such examples as laser dynamics or fluid dynamics. Scientists in the humanitarian sciences such as economics, psychology, etc. fear that synergetics propagates a physicalism. This is surely not true for several convincing reasons:

1. Synergetics is by no means a physical theory but a theory of structural relationships that can be rigorously based on mathematics which, however, can also be qualitatively explained in colloquial language.

2. By its abstract approach synergetics has been able to unearth general principles that are applicable to the humanitarian sciences, such as economics, sociology and psychology. It should be noted, however, that in the development of synergetics it has been proved to be of utmost importance that specialists in the corresponding disciplines have always been strongly involved. Examples are my own cooperation with Scott Kelso on movement

ния), Дж. Португали (самоорганизация городов), Гюнтер Шипек (психология) и др.

6. *Есть ли специфика в междисциплинарном общении? Стоит ли этому учить?*

Междисциплинарный диалог между учеными, по моему мнению, зависит от их подготовки. Фактически синергетика может применяться на разных уровнях. Некоторые из них я хотел бы упомянуть.

1. Математический уровень, который простирается от довольно простых алгебраических отношений до сложных методов дифференциальных уравнений специального вида.

2. Феноменологический уровень упрощенного математического анализа.

3. Качественный уровень, на котором обсуждение может осуществляться в терминах базисных принципов и понятий синергетики, таких как устойчивость и неустойчивость, контролирующие параметры, параметры порядка, параметры подчинения и т.д. Это может быть сделано на нематематическом уровне и даст, к примеру, возможность доступа к ряду приложений в области психологии.

7. *Синергетике следует обучать только узких специалистов или она может рассматриваться как учение, способствующее формированию мировоззрения в современном нестабильном и непредсказуемом мире?*

science, with Juval Portugali on self-organization of cities, with Gьnter Schiepek on psychology, etc.

6. Is there any specificity in multidisciplinary dialogue of scientists? And is it necessary to teach how to perform such a dialogue?

The multi-disciplinary dialogue between scientists depends in my opinion on their background. In fact, synergetics can be conveyed at several levels of which I want to mention the following ones:

1. A mathematical level that may range from rather simple algebraic relationships to advanced methods of dealing with differential equations of specific kinds.

2. Simplified mathematical analysis at a phenomenological level.

3. A qualitative discussion in terms of basic principles and concepts of synergetics, such as stability and instability, control parameters, order parameters, the slaving principle, etc. This can be done at an entirely non-mathematical level and gives for instance direct access to a number of psychological applications.

7. Only narrow specialists should study synergetics, shouldn't they? Can synergetics be considered as the forming outlook doctrine in the modern unstable and unpredictable world?

По моему мнению, синергетика одинаково полезна и для узких специалистов (в силу указанных причин), и как мировоззренческая дисциплина. Безусловно, нам необходимы принципы, ориентиры для жизни, для развития наших компаний, для научных исследований в нестабильном и непредсказуемом мире. В этом смысле синергетика, включающая теорию хаоса, может оказаться весьма полезной.

In my opinion synergetics is an object of study that is surely useful both for narrow specialists for reasons mentioned above but synergetics can also be considered as the forming outlook doctrine in our modern world. Indeed, what we need are principles navigating our lives, our companies and our scientific study through an unstable and unpredictable world. Here basic insights provided by synergetics including chaos theory will be an important guideline.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россия — страна, которая в XX в. не единожды меняла аттрактор своего социально-экономического развития. Основная идея реформирования в 1917 г. в конечном итоге может быть сформулирована следующим образом: «Нужно составить хороший план и обеспечить его выполнение». Однако со временем стало очевидно, что социалистические системы не выдерживают соревнования с рыночными. Впоследствии родилась формула столь же простая и почти столь же ошибочная: «Надо создать рыночные институты и обеспечить их эффективное функционирование». Вновь была поставлена задача смены социальной траектории. Сам переход от одной социальной траектории к другой представлялся как переход от одной области, темной, к другой, светлой, по единственному пути. Это нашло отражение в абсолютизации недостатков первой и достоинств второй систем, а также в безальтернативности перехода, выражаемого формулой «Другого пути нет». На самом деле оказалось, что нет хорошо вымощенной дороги из одной области в другую, а нужно преодолеть опасную зону, которая напоминает хорошо знакомую математикам картинку со сложным переплетением траекторий, аттракторов, зон притяжения, где каждый шаг в сторону может привести совсем к другому аттрактору, возможно, к ловушкам и т.д.

Кроме того, естественно, переход связан с издержками. Прогнозов цены трансформаций, а также вероятных выгод в момент перехода не было. В результате цена сложилась сама собой и общество понесло огромные потери. Мы заплатили высокую цену за то, чтобы весь мир осознал иллюзорность простых решений.

Синергетический подход к социально-экономическим процессам мог бы помочь приблизиться к научному обсуждению вопроса смены социально-экономического аттрактора. Возможен ли такой переход, и что под этим нужно понимать? Какова цена такого перехода? Как справиться с хаосом? Возможно ли им управ-

лять? Подобные вопросы сегодня актуальны не только для России. Но, разумеется, у них нет простых решений.

В настоящее время эффективность математического моделирования для анализа социально-экономических процессов общепризнанна. Даже в тех случаях, когда модели дают только качественное описание системы и не позволяют рассчитывать конкретные значения, они выступают как метод мышления, дающий возможность увидеть то, что нельзя заметить невооруженным глазом.

Важно отметить, что задача моделирования состоит из двух этапов. Первый — построение математической модели и ее компьютерное исследование. Здесь на сегодняшний день накоплен немалый опыт. Одна из последних международных конференций по нелинейным наукам, которая состоялась в Вене в феврале 2003 г., продемонстрировала, что аппарат современного нелинейного моделирования успешно применяется для анализа сложных систем в разных областях знания (физике, химии, биологии, психологии, медицине, экономике, социальных науках и др.) [146]. В результате исследования ученые получают интересные фазовые портреты, бифуркационные диаграммы и т.д. Однако, к сожалению, часто на этом исследовательский процесс и заканчивается. Не менее важным представляется и второй этап — переход от модели к реальности. Здесь усилий одних математиков недостаточно. Они могут хорошо справиться с задачей моделирования, но расшифровать полученные результаты, выработать на их основе практические рекомендации можно только совместными усилиями математиков, экономистов, социологов и других ученых. Для плодотворной работы в таком направлении нужен междисциплинарный диалог, которому также необходимо учить современных специалистов. Авторы настоящего пособия ставили перед собой цель не столько научить математическому моделированию (математики с этим справятся лучше), сколько подготовить экономистов и социологов к конструктивному диалогу.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоколебания *48*
Аттрактор *39, 50*
  странный *56, 67–74*

Б

Бифуркаций теория *51–55*
Бифуркация *52, 113, 139*
  удвоения периода *63*

Г

Горизонт
  предсказуемости *127*
  прогноза *13, 70, 133*
Грубые состояния равновесия *46*

Л

Лестница Ламерея *58*
Ляпуновский показатель *69*

М

Математическая модель *16, 27*
  динамическая *27*
  социальных систем *16–19*
Моделирование *23–27*
  мягкое *17, 31*
  социально-экономических систем *29–31*

О

Особая точка *42*
Отображение
  логистическое *58*
  первого возвращения *57*

П

Параметры *28*
  порядка *29*
Переменные *28*
  дискретные *28*
  непрерывные *28*
  фазовые *34*
Постоянная Фейгенбаума *66*
Предельный цикл *39, 48–50*
  неустойчивый *48*
  полуустойчивый *48*
  устойчивый *48*

Р

Размерность Хаусдорфа *73*

С

Сепаратриса *43*
Сечение Пуанкаре *49*
Синергетика *13, 29*
Система *22*
  грубая *50*
  детерминированная *29*
  динамическая *27–29, 42, 55–57*
  диссипативная *56*
  дифференциальных уравнений
    автономная *35*
    неавтономная *35*
  консервативная *56*
  стохастическая *29*
  хаотическая *56*

Т

Топологическая структура *42*

У

Узел *38*

Ф

Фазовая
- кривая *42, 50*
- особая кривая *42*
- плоскость *38, 41–44, 50*
- скорость *35*

Фазовое пространство *34*
- расширенное *35*

Фокус *38*
Фрактал *71*
Фрактальная
- размерность *70*
- структура *70*

Функция
- линейная *28–29*
- нелинейная *29*
- последования *49*

Х

Хаос *64*
Характеристическое уравнение *42*
Характеристические корни *43*

Ц

Целостное мировоззрение *143*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко В.С. Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 70–76.

2. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2000. 32 с.

3. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990.

4. Архив динамических систем. http://www.math.rsu.ru/mexmat/kvm/MME/dsarch/index.html

5. Базаров В.А. К вопросу о хозяйственном плане // Экономическое обозрение. 1924. № 6.

6. Базаров В.А. О перспективах хозяйственного и культурного развития // Экономическое обозрение. 1928. № 6.

7. Базаров В.А. Принципы построения перспективного плана // Плановое хозяйство. 1928. № 2.

8. Барсукова С.Ю. Болезни роста российской социологии. http://socnet.narod.ru/Rubez/13-14/barsukova/htm

9. Баутин Н.Н., Леонтович Е.А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1990. 488 с.

10. Белых В.Н. Элементарное введение в качественную теорию и теорию бифуркаций динамических систем // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 1. С. 115–121.

11. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. М.: Мир, 1991. 368 с.

12. Бибиков Ю.Н. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений: Учеб. пособие для ун-тов. М.: Высш. шк., 1991. 303 с.

13. Борисова Л.Г. Подросток в бизнесе: социализация или девиация? // Социс. 2001. № 9. С. 68–76.

14. Бородкин Л.И., Андреев А.Ю., Левандовский М.И. Синергетика в социальных науках: пути развития, опасности и надежды // Круг идей: макро- и микроподходы в исторической информатике. http://www.ab.ru/~kleio/aik/krug/5/4.shtml

15. Бранский В.П. Искусство и философия. Калининград: Янтар. сказ, 1999. 704 с.

16. Бранский В. П. Социальная синергетика как постмодернистская философия истории // Общественные науки и современность. 1999. № 6. С. 117–127.

17. Василькова В.В. Порядок и хаос в развитии социальных систем: (Синергетика и теория социальной самоорганизации). СПб.: Лань, 1999. 480 с.

18. Винокуров М.А., Токарский Б.Л., Пугачева Е.Г. Процессы самоорганизации рынка труда специалистов в условиях социально-экономических трансформаций. Иркутск: Изд-во Иркут. экон. акад., 2001. 165 с.

19. Гизатуллин Х.Н., Троицкий В.А. Концепция устойчивого развития: новая социально-экономическая парадигма // Общественные науки и современность. 1998. № 5. С. 124–131.

20. Глобализация и Россия: (Круглый стол) // Мировая экономика и международные отношения. 2002. № 9. С. 3–25.

21. Данилов Ю.А., Кадомцев Б.Б. Что такое синергетика? http://rusnauka.narod.ru/eib/phisic/synerget/what_is_it.htm

22. Делокаров К.Х. Системная парадигма современной науки и синергетика // Общественные науки и современность. 2000. № 6. С. 110–118.

23. Дульнев Г.Н. Введение в синергетику. СПб.: Проспект, 1998. 256 с.

24. Ерохина Е.А. Исследование систем: конструктивный подход. http://www.tomsk.ru/r/Scientific/Pat8/index.htm

25. Ерохина Е.А. Системный подход: критический анализ базовых принципов и понятий. http://www.tomsk.ru/r/Scientific/Pat6/index.htm

26. Ерохина Е.А. Теория экономического развития; системно-синергетический подход. http://ek_lit.agava.ru/eroh/3-2.html

27. Зобов Р.А., Келасьев В.Н. Методологические аспекты самоорганизационного подхода к изучению общества. http://hq.soc.pu.ru/persons/golovin/r_kelasjev.html

28. Зобов Р.А., Келасьев В.Н. Самоорганизационные процессы российского социума. http://hq.soc.pu.ru/publications/vestnik/1996/4/home.html

29. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Синергия, конкуренция, хаос в модели взаимодействия двух научных направлений. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 100 с.

30. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997. 285 с.

31. Карлоф Б., Седерберг С. Вызов лидеров. М.: Дело, 1996. 352 с.

32. Кастельс М. Глобальна ли глобальная экономика? // Экономические стратегии. 2000. Июль–авг.

33. Кейнс Дж.М. Общая теория занятости, процента и денег. Петрозаводск: Петроком, 1993. 308 с.

34. Келасьев В.Н. Некоторые аспекты самоорганизации российского социума. http://hq.soc.pu.ru/publications/conf97-1/art8.html

35. Кипнис М.М. Модели социальных явлений в коротком курсе математики. http://www.cdo.susu.ac.ru/journal/numero3/pedag/

36. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994. 236 с.

37. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировоззрение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. 1992. № 12. С. 3–20.

38. Колин К. Человек и будущее: динамический вызов // Alma Mater. 1999. № 10.

39. Коллонтай В. На стыке естественных и общественных наук: вклад И. Пригожина // Мировая экономика и международные отношения. 1998. № 4. С. 136–142.

40. Култыгин В.П. Специфика социологического знания: преемственность, традиции и новаторство // Социс. 2000. № 8. С. 3–11.

41. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика — теория самоорганизации: Идеи, методы, перспективы // Знание. 1983. № 2. 64 с.

42. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Синергетика — новые направления // Знание. 1989. № 11. 48 с.

43. Ласло Э. Век бифуркации: Постижение изменяющегося мира // Путь. 1995. № 7. С. 3–129.

44. Лебедев В.В. Компьютерное моделирование рыночных механизмов // Природа. 2001. № 12.

45. Лесков Л.В. Катаклизмы в России в свете теории катастроф // Общественные науки и современность. 1994. № 1. С. 150–161.

46. Лесков Л.В. Постижение непредсказуемого: бифуркационное пространство XXI века // Общественные науки и современность. 2001. № 6. С. 167–175.

47. Лесков Л.В. Футуросинергетика западной цивилизации // Общественные науки и современность. 1998. № 3. С. 149–160.

48. Локосов В.В. Стабильность общества и система предельно-критических показателей его развития // Социс. 1998. № 4. С. 86–94.

49. Локосов В.В. Трансформация российского общества: (социологические аспекты). М.: РИЦ ИСПИ РАН, 2002. 252 с.

50. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика — ключ к теоретической истории? // Общественные науки и современность. 1996. № 4. С. 98–112.

51. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика и историческая механика // Общественные науки и современность. 1997. № 2. С. 99–111.

52. Малинецкий Г.Г. Синергетика, информационное управление и будущее России // Труды III Международной конференции из серии «Нелинейный мир», г. Воронеж, 22–27 сент. 1997 г. Воронеж, 1997. С. 9–24.

53. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. М.: Наука, 1997. 255 с.

54. Малинецкий Г.Г. Хаос, тупики, парадоксы, надежды // Компьютерра. 1998. № 47. С. 21–26.

55. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Катастрофы и бедствия глазами нелинейной динамики // Знание — сила. 1995. № 3. С. 26–34.

56. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. 2-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 360 с. (Синергетика: от прошлого к будущему).

57. Маткин В. Обоснование ценностно-синергетического подхода к процессу подготовки специалиста-профессионала // Alma mater. 1999. № 6. С. 23–28.

58. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М.: Дело, 1992. 702 с.

59. Милованов В.П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 264 с.

60. Моделирование и управление процессами регионального развития. М.: Физматлит, 2001. 431 с.

61. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития. М., 1987.

62. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.

63. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. М.: Аграф, 1998. 480 с.

64. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М.: Мол. гвардия, 1990. 352 с.

65. Моль А. Социодинамика культуры: Пер. с франц. М.: Прогресс, 1973. 406 с.

66. Московский международный синергетический форум. http://sky.kuban.ru/socio_etno/iphrRAS/~mifs/index.htm

67. Мэнкью Н.Г. Принципы экономикс. СПб: Питер Ком, 1999. 784 с.

68. Назаретян А.П. От прошлого к будущему // Общественные науки и современность. 2000. № 3. С. 142–150.

69. Назаретян А.П. Синергетика в гуманитарном знании: предварительные итоги // Общественные науки и современность. 1997. № 2. С. 91–98.

70. Назаретян А.П. «Столкновение цивилизаций» и «Конец истории» // Общественные науки и современность. 1994. № 6. С. 140–146.

71. Неймарк Ю.И. Простые математические модели и их роль в постижении мира. http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/292.html

72. Некласса А. Пакс экономикана, или Эпилог истории. Размышления у дверей третьего тысячелетия // Новый мир. 1999. № 9. С. 119.

73. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного: Введение: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 344 с.

74. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.

75. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. М.: Наука, 2002. 478 с. (Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения).

76. Овсянников А.А. Социология катастрофы: Какую Россию мы носим в себе? // Мир России. 2000. № 1. С. 69–114.

77. Ортега-и-Гассет Х. Восстание масс: Избр. тр.: Пер. с исп. М.: Весь мир, 2000. 704 с.

78. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат, 1996. 544 с.

79. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: Учеб. пособие для вузов. М.: Логос, 2001. 296 с.

80. Плотинский Ю.М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов: Учеб. пособие. М.: Логос, 1998. 279 с.

81. Пойзнер Б.Н. О «субъекте» самоорганизации // Прикладная нелинейная динамика. 1996. Т. 4 № 4–5. С. 149–158. (Изв. вузов).

82. Покровский Н.Е. Социология, социологическая культура и их место в современном российском обществе // Общественные науки и современность. 2002. № 2. С. 42–58.

83. Полтерович В.М. Кризис экономической науки: Докл. на науч. семинаре отд-ния экономики и ЦЭМИ РАН «Неизвестная экономика». http://is1.cemi.ru/rus/publicat/e-pubs/d9702t/d9702t.htm

84. Понемногу о многом: Модель образования XXI в. — устойчивое развитие и экологическая безопасность // Alma mater. 1998. № 3. С. 24.

85. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 328 с.

86. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432 с.

87. Пугачева Е.Г. Междисциплинарный подход в экономическом образовании // Человеческий капитал и конкуренция: Сб. тр. Иркутск, 2000. С. 70–79.

88. Пугачева Е.Г. Синергетический подход к системе высшего образования // Высшее образование в России. 1998. № 2. С. 41–45.

89. Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н. Высшая школа: некоторые проблемы самоорганизации // Социс. 1999. № 11. С. 99–101.

90. Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н. Высшая школа: стратегия выживания или стратегия развития? // Университетское управление: практика и анализ. 2002. № 2. С. 62–69.

91. Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н. Эволюционная модель рынка труда специалистов // Alma Mater. 2000. № 6. С. 34–38.

92. Самойленко А.М., Кривошея С.А., Перестюк Н.А. Дифференциальные уравнения: Примеры и задачи. Киев: Выща школа, 1984. 408 с.

93. Сапецкий А.О. Социосинергетика // Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты: Тр. семинара. М., 1999. С. 194–212.

94. Седов Е.А. Информационно-энтропийные свойства социальных систем // Общественные науки и современность. 1993. № 5. С. 92–100.

95. Сидоренко В.Н. Системная динамика. М.: ТЕИС, 1998. 205 с.

96. Синергетика // Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты: Тр. семинара. М., 1999. 232 с.

97. Синергетика и методы науки. СПб.: Наука, 1998. 439 с.

98. Синергетика и образование. М.: Гнозис, 1997. 360 с.

99. Синергетика и социальное управление. М.: РАГС, 1998. 352 с.

100. Синергетика и учебный процесс. М.: РАГС, 1999. 406 с.

101. Соловьенко К.Н. В поисках синтеза // Высшее образование в России. 1998. № 1. С. 52–64.

102. Соловьенко К.Н. Деловые игры в обучении менеджменту. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1995. 44 с.

103. Соловьенко К.Н. Культура безвластия // Управление компанией. 2002. № 8. С. 71–75.

104. Соловьенко К.Н. Менеджмент, маркетинг и математика в культуре идеального экономиста // Высшее образование в России. 2001. № 2. С. 46–50.

105. Соловьенко К.Н. Синтез радикального и либерального подходов к образованию: Переход от Т-систем к Ладоням // Alma mater. 1997. № 10. С. 19–25.

106. Соловьенко К.Н. Я изучаю рынок: Учеб.-метод. пособие начинающего маркетолога. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000. 19 с.

107. Соловьенко К.Н., Пугачева Е.Г. Открытость и самоорганизация в реформе высшей школы // Alma Mater. 1998. № 5. С. 3–7.

108. Сорокин П.А. Кризис нашего времени //Американская социологическая мысль. М., 1996. С. 356–371.

109. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Путь в науку XXI века: Руководство к действию. М., 2000. 88 с. (Информатизация России на пороге XXI века).

110. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Рабочая книга по социальному конструированию: (Междисциплинарный проект). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. Ч. 2. 132 с.

111. Социология в России / Под ред. В.А. Ядова. 2-е изд. М.: Изд-во Ин-та социологии РАН, 1998. 695 с.

112. Теория решения изобретательских задач. http://www.trizland.ru/

113. Токарская Н.М., Токарский Б.Л., Пугачева Е.Г. Синергетический подход к социологии: некоторые итоги и перспективы // Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук высшей школы России. 2002. № 1. С. 69–79.

114. Токарский Б.Л., Пугачева Е.Г. Проблема выбора, или кто предскажет будущее? // Байкальская альтернатива. 2002. Пилот. номер. С. 50–53.

115. Токарский Б.Л., Соловьенко К.Н. Стратегия маркетинга в системе высшего образования: Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. экон. акад., 2000. 108 с.

116. Толстова Ю.Н. Преподавание математики студентам-социологам: проблема и подходы к ее решению // Социс. 2002. № 2. С. 111–119.

117. Томсон Р., Бэтслеер Д., Стенли М. Стратегии управления сложным изменением. Кембридж: Берлингтон Пресс Лтд., 1994. 352 с.

118. Тоффлер Э. Футуршок. М.: Прогресс, 1973. 281 с.

119. Трубецков Д.И. Турбулентность и детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 1. С. 77–83.

120. Урсул А.Д. Перспективы эволюции государства в модели устойчивого развития // Общественные науки и современность. 1996. № 2. С. 134–145.

121. Хайек Ф.А. Дорога к рабству: Пер. с англ. М.: Экономика, 1992. 176 с.

122. Хайтун С.Д. Социальная эволюция, энтропия и рынок // Общественные науки и современность. 2000. № 6. С. 94–109.

123. Хакен Г. Информация и самоорганизация. М.: Мир, 1991. 240 с.

124. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.

125. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 423 с.

126. Хаос и фракталы на финансовых рынках. http://investo.ru/digest/chaos.html

127. Хевеши М.А. Массовое общество в XX веке // Социс. 2001. № 7. С. 3–12.

128. Часто задаваемые вопросы (sci.nonlinear FAQ). http://www.enm.bris.ac.uk/research/nonlinear/faq-Contents.html

129. Человеческий капитал и конкуренция. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000. 170 с.

130. Чернозуб С.П. Реформа высшей школы: наследие и диктат традиций // Общественные науки и современность. 1998. № 2. С. 41–51.

131. Чешков М.А. Синергетика: за и против хаоса // Общественные науки и современность. 1999. № 6. С. 128–140.

132. Шевелева С.С. К становлению синергетической модели образования // Общественные науки и современность. 1997. № 1. С. 125–133.

133. Шевелева С.С. Открытая модель образования: (синергетический подход). М.: ИЧП «Магистр», 1997. 48 с.

134. Шкуркин А.М. Феномен труда: синергетический взгляд // Общественные науки и современность. 1998. № 1. С. 122–131.

135. Энтони Р. Учитесь мыслить по-новому: Идеи и наблюдения, способные преобразить Вашу жизнь. СПб: Некоммер. партнерство изд. Санкт-Петербурга, 1999. 160 с.

136. Яковлев И.П. О «точках роста» в социологии // Социс. 1999. № 1. С. 14–21.

137. Burns T., Stalker G. M. The Management of Innovation. Tavistock, 1968. 438 p.

138. Chaos and Time-Series Analysis. http://sprott.physics.wisc.edu/ /phys505

139. Day R. H. Complex Economic Dynamics. Cambridge: MIT Press, 1994. Vol. 1. 309 p.

140. Donella H. M. System Dynamics Meets the Press // The Global Citizen. Washington, 1991. P. 1–2.

141. Hallinan M. The Sociological Study of Social Change // American Sociological Review. 1997. Vol. 62, № 1.

142. Hubler A. Modelling and Control of Complex Systems: Paradigms and Applications. Modelling Complex Phenomena. N.Y.: Springer, 1992.

143. Italian Society for Chaos and Complexity. http:// www.stat.unipd.it/sicc/

144. Merry U. Coping With Uncertainty: Insights From the New Sciences of Chaos, Self-Organization and Complexity. http:// pw2.netcom.com./~nmerry/coping.htm

145. Nonaka I. Creating Organizational Order Out of Chaos: Self-Renewal in Japanese Firms // California Management Review. 1988. Vol. 30. Iss. 3. P. 57–73.

146. Pugacheva E. Coping with Chaos: The Experience of Russian Economy // International Nonlinear Sciences Conference, Vienna, Febr. 7–9. Vienna, 2003. P. 45.

147. Pugacheva E. Evolutionary Model of the Labour Market of Specialists in Russia // Galileu: Revista de Economia e Direit. 2001. Vol. 6, № 2. P. 43–56.

148. Society for Chaos Theory in Psychology and Life Sciences. http://www.societyforchaostheory.org/

149. Thietart R. A., Forgues B. Chaos Theory and Organization // Organization Science. 1995. Vol. 6, № 1. P. 19–31.

150. Young T.R. Chaos and the Drama of Social Change: A Metaphysic For Postmodern Science. http://www.tryoug.com/chaos/chang.htm

Учебное издание

Пугачева Елена Геннадиевна
Соловьенко Константин Николаевич

Самоорганизация социально-экономических систем

Учебное пособие

Редактор *Л.П. Назарова*

Подготовка оригинал-макета *Т.А. Артамоновой*

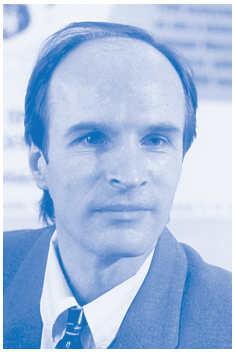
ИД № 06318 от 26.11.01.
Подписано в печать 25.12.02. Формат 60 х 90 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 9,6. Тираж 500 экз. Заказ 44 .

Издательство Байкальского государственного университета экономики и права.
664015, Иркутск, ул. Ленина, 11.
Глазковская типография.
664039, Иркутск, ул. Гоголя, 53.

ПУГАЧЕВА
Елена Геннадиевна

Родилась в 1962 году. По образованию – математик.
Кандидат экономических наук, доцент Байкальского государственного университета экономики и права.

Автор и соавтор более 40 работ, 4 патентов, 3 монографий.
Область научных интересов: эволюционная экономика, синергетика, моделирование и прогнозирование социально-экономических
процессов.



СОЛОВЬЕНКО
Константин Николаевич

Родился в 1961 году. По первому образованию – математик.
В Школе Бизнеса Открытого Университета Великобритании закончил курсы по менеджменту, маркетингу и финансам, получив Профессиональный Сертификат Менеджера. В 1999 году стал кандидатом экономических наук, защитив диссертацию по маркетингу
высшей школы.

Декан экономического факультета
Восточно-Сибирского института экономики и права.

Область научных и производственных интересов:
управленческое консультирование, маркетинг, управление изменениями в организациях, культура организаций,
синергетика.