

# Глава 1

## СОЦИАЛЬНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА В ЗЕРКАЛЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ\*

Исследование экономических процессов с помощью математических методов имеет давнюю историю. К настоящему моменту существует огромное количество разнообразных экономико-математических моделей. Однако в последнее время исследователи все чаще говорят о кризисных явлениях в экономической науке. Действительно, несмотря на существование большого количества математических моделей, мировой финансовый кризис 2008 года не был ими предсказан.

В этом отношении характерно высказывание Э. Райнерта: «В экономической науке идеология и методология сегодня переплелись вокруг несчастливого обстоятельства, что «математизация» неоклассической парадигмы требует предпосылок, изображающих рыночную экономику как некую утопию гармонии и равенства. То, что экономику стали рассматривать сквозь призму математики, имело серьезные идеологические последствия. Экономической науке позволили стать нерелевантной» (Райнерт, 2011. С. 184). Э. Райнерт противопоставляет «стандартный канон» в экономической науке, восходящий к А. Смиту, Д. Рикардо, Л. Вальрасу, А. Маршаллу,

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-06-00245).

П. Самуэльсону и другим теоретикам, чьи положения легли в основание математических моделей современного экономического мейнстрима, «другому канону», представленному именами Ф. Листа, А. Гамильтона, Й. Шумпетера, В. Зомбарта и других экономистов, нацеленных на практическую экономику, решение конкретных прикладных вопросов. Основные отличия «стандартного» и «другого» канонов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Различие взглядов на экономику у представителей «стандартного» и «другого» канонов

Стандартный канон	Другой канон
Интерес к <b>статике</b> , равновесным процессам	Интерес к <b>изменениям</b> , к неравновесным процессам
Идеальная ситуация — <b>совершенная конкуренция</b>	Реальная ситуация — <b>конкуренция, движимая инновациями</b>
Движущая сила экономики — <b>капитал</b> как таковой	Движущая сила экономики — <b>инновации</b> , создающие спрос на создание капитала
Ключевой фактор экономической динамики — <b>убывающая</b> отдача от масштаба	Ключевой фактор экономической динамики — <b>возрастающая</b> отдача от масштаба
Экономика — <b>саморегулирующаяся</b> система, стремящаяся к равновесию и гармонии	Экономике свойственна <b>нестабильность</b> , стабильность достигается при помощи стратегических мер
Статический оптимум, совершенная рациональность и информированность	Динамическая оптимизация в условиях нестабильности и неопределенности, ограниченная рациональность
Реальная и финансовая экономика не различаются	Конфликты между реальной и финансовой экономикой (требуется регулирование)
Воздержанье от потребления приводит к накоплениям, которые считаются причиной роста	Накопления как таковые не способствуют росту и не являются для него желательными

Составлено по: (Райнерт, 2011).

В математических моделях мейнстрима считается, что рыночная экономика обладает чудесным свойством быстро приходить к состоянию равновесия. Соответственно, экономическое развитие понимается как переход от одного равновесного состояния к другому; при этом считается, что причи-

ной нарушения равновесия являются внешние шоки. Жизнь показывает, что это – упрощенное понимание, облегчающее математическое описание экономических процессов, но на самом деле далекое от действительности.

Сконца прошлого века под влиянием бурно развивавшейся синергетики (Катица, Курдюмов, Малинецкий, 1997; Эбелинг, Энгель, Файстель, 2001) стали появляться работы, в которых социально-экономические системы стали рассматриваться как динамические развивающиеся, с присущей им внутренней неустойчивостью, возникли такие научные направления, как синергетическая экономика, эволюционная экономика, экономическая физика (Занг, 1999; Риш, 1989; Маевский, 1994; Нельсон, Уинтер, 2000; Евстигнеева, Евстигнеев, 2010; Чернавский, Старков, Щербаков, 2002а,б; Романовский М., Романовский Ю., 2012). К настоящему времени проведено много исследований, позволивших понять общие свойства подобных систем и, несмотря на частные различия, прогнозировать особенности их поведения в различных условиях. К этим особенностям, в частности, согласно (Малков, 2005, 2009б), относятся следующие.

1. Специфические особенности социальных систем (СС):

(i) многоэлементность СС, уязвимость элементов СС к внешним дестабилизирующим воздействиям. Для того чтобы выжить, элементам необходимо проявлять активность, затрачивать имеющуюся у них энергию, что требует постоянного пополнения имеющейся у них ресурсной базы;

(ii) стремление элементов максимизировать собственную «функцию полезности», создать запасы ресурсов для обеспечения гарантий выживания;

(iii) ограниченность доступной к использованию ресурсной базы;

(iv) как следствие, антагонистичность (противоречивость) интересов элементов систем, обусловленная необходимостью борьбы за ограниченный ресурс. Возможность создания коалиций в борьбе за ресурс. Формирование отношений «свой–свой», «свой–чужой», «чужой–чужой» и институтов, закрепляющих эти отношения;

(v) нелинейный характер взаимодействия элементов системы, характеризующийся *положительной обратной связью*: в конкурентной борьбе побеждает сильнейший (имеющий больше преимуществ), в результате чего становится еще сильнее (власть рождает власть, деньги делают деньги и т.п.). Нелинейный процесс увеличения преимуществ ограничен либо общим количеством ресурса, либо индивидуальными возможностями субъекта освоить и обработать приобретенный ресурс, а также способностью сохранить свои преимущества в условиях борьбы с конкурентами;

(vi) пороговый характер процессов: реальная отдача от усилий, приложенных для достижения какой-либо цели, возникает лишь тогда, когда усилия превысят определенное пороговое значение. До этого отдача от прилагаемых усилий практически отсутствует;

(vii) инерционность поведения субъектов, наличие некоторого временного запаздывания – реакции субъектов на изменение внешних условий;

(viii) способность элементов СС к осознанному целеполаганию и к рефлексии по поводу своих действий и действий других субъектов.

2. Нелинейный характер взаимодействия субъектов и ограниченность ресурсов (свойства (v) и (iii)) определяют специфику динамических процессов в СС: диалектику развития отражает не формула «тезис – антитезис – синтез», а формула «тезис – антитезис – временный компромисс». Противоречия перманентны. Они не «снимаются» в процессе развития СС, а существуют всегда, обеспечивая хаос на микроуровне. На макроуровне реализуется временный компромисс, обусловленный внешними условиями и имеющимися ресурсными ограничениями. Когда они меняются, динамическое равновесие нарушается, начинается новая борьба субъектов с выходом на новый компромиссный уровень.

В СС противоречия – активное начало. Не будет противоречий – не будет и развития.

3. Общая тенденция социальной динамики: усугубление неравенства при появлении избыточного ресурса. При недостатке ресурса – объединение ради выживания и уменьшение неравенства (упрощение системы).

4. Общий принцип социальной динамики: хаос на микроуровне – порядок на макроуровне; пробуются все, что возможно (не запрещено какими-либо объективными законами), но закрепляется в виде социальных структур только то, что устойчиво к внешним и внутренним дестабилизирующим процессам и воздействиям.

5. Обеспечение устойчивости СС (необходимое для «выживания» системы) в условиях наличия перманентных противоречий между ее элементами (свойство (iv)) является нетривиальной задачей. СС путем проб и ошибок вырабатывают механизмы сдержек и противовесов, компенсации внутренних напряжений, позволяющие достичь устойчивости системы в целом. К таким механизмам относятся:

- прямое властное регулирование отношений между элементами, осуществляемое органами управления СС (управление хаосом);
- ограничение произвола действий элементов СС с помощью законов, нормативных установлений, требующих исполнения и направленных на сглаживание имеющихся противоречий (ограничение хаоса);
- идеологические и социально-психологические средства сдерживания агрессивных интенций: религиозные императивы, нормы нравственности и морали и т.п. (сдерживание хаоса).

Те СС, которым удается выработать эффективную систему компенсации внутренних напряжений, выживают. Те СС, которым это не удается, в конечном счете распадаются или гибнут в конкурентной борьбе с другими системами.

6. На разных стадиях своей эволюции СС обладает различной чувствительностью и уязвимостью к внешним воздействиям. Наиболее опасны преднамеренные внешние воздействия в кризисные периоды, когда система в значитель-

ной степени хаотизирована. В этом случае даже не слишком интенсивное внешнее воздействие может задать направление развития системы и повлиять на характер ее дальнейшей самоорганизации.

7. Для СС характерна возможность многовариантного развития, обусловленная тем, что у них имеется, как правило, не одно, а несколько квазиустойчивых состояний (аттракторов) со своими областями притяжения. Система через какое-то время окажется в одном из аттракторов (это свойство называется эквифинальностью), однако в котором из них — зависит от многих факторов и в значительной степени — от целенаправленной деятельности органа управления СС.

Базовым экономическим процессом является производство, перераспределение и потребление ресурсов, необходимых для выживания.

Проецирование вышеупомянутых особенностей СС на *экономические* процессы позволяет сформулировать следующее:

1) в социально-экономических системах (СЭС) всегда существуют ограничения на доступные к использованию экономические ресурсы (к которым относятся сырьевые, энергетические, производственные, трудовые, платежеспособный спрос и т.п.);

2) производство — нелинейный процесс. Производственная функция (т.е. зависимость количества производимой продукции от затраченных усилий и/или вложений) имеет следующие свойства: а) насыщаемость при увеличении затрат при неизменных технологиях производства (что связано с неизбежной ограниченностью ресурсов); б) пороговый характер (что связано с наличием так называемых постоянных издержек производства). Вид типичных производственных функций  $F$  представлен на рис. 1.1 (форма  $F$  определяется особенностями производства, используемыми технологиями, спецификой производственных отношений (Клейнер, 1986; Малков, 2009b; Малков, Давыдова, Билюга, 2016);

При этом производственный сектор СЭС состоит из разнородных подсистем, отличающихся по отраслевому при-

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{N}_i = N_i \cdot D_i(x_i) + \sum_{j=1}^k D'_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - \sum_{j=1}^k D''_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) \\ \dot{X}_i = F_i(\bar{X}, \bar{N}, \bar{I}) - N_i \cdot Q_i(x_i) + \sum_{j=1}^k G_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - \\ \quad - \sum_{i=1}^k C_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - I_i(x_i, N_i) \end{array} \right.$$

$$D'_{ij} = -D'_{ji}, \quad D''_{ij} \geq 0, \quad G_{ij} = -G_{ji}, \quad F_i \geq 0, \quad Q_i \geq 0, \quad C_{ij} \geq 0, \quad I_i \geq 0; \quad i, j = \overline{1, k}$$

Рис. 1.1. Типовая зависимость количества производимой продукции от затраченных усилий (вложений в производство) у охотников-собирателей (1) и для аграрного (2) и индустриального (3) производства

знаку, возрасту основного капитала и другим характеристикам. Отношения между подсистемами могут быть как кооперационными, так и конкурентными;

3) потребление — нелинейный процесс, характеризующийся: а) насыщенностью спроса на товары и услуги, предназначенные для удовлетворения повседневных, физиологических потребностей; б) ненасыщенностью спроса на элитные (престижные) товары и товары длительного пользования, предназначенные для удовлетворения социальных потребностей;

4) перераспределение — нелинейный процесс с *обратной положительной связью*: чем больше экономическая или политическая (военная) сила, тем больше возможностей для неэквивалентного перераспределения произведенного продукта посредством налогов, принудительных изъятий, монопольных цен и т. п.

Максимизация индивидуальных *функций полезности* в этих условиях сталкивается со следующими проблемами:

1) перманентная нехватка ресурса на всех, что приводит к постоянной борьбе за него (внутри социума и между социумами);

2) неравномерность распределения ресурса между индивидами и социальными группами, что приводит к социальной напряженности (показателем неравномерности является ЭСО – экономическая структура общества, т.е. плотность распределения членов общества по имеющимся у них накоплениям (Чернавский и др., 1996, 2002a,b) (см. рис. 1.2).

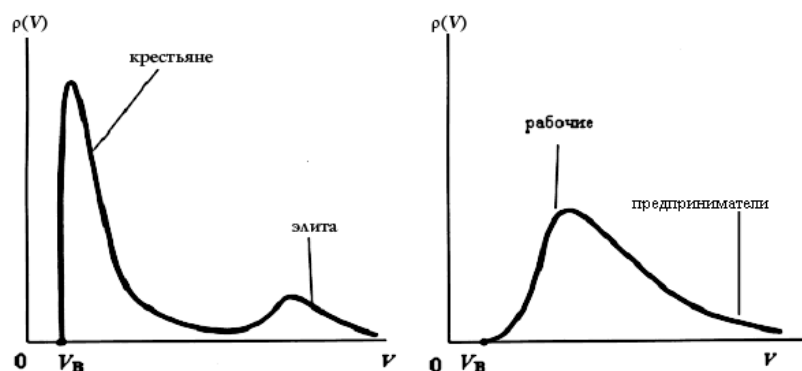


Рис. 1.2. Виды распределения членов общества по накоплениям  $\rho(V)$ : а) бимодальная структура (аграрное общество); б) унимодальная структура (развитое индустриальное общество) ( $V$  – накопления;  $V_B$  – уровень физического выживания)

Наличие положительных обратных связей является причиной того, что для социальных систем характерна *внутренняя неустойчивость*. Как же, тем не менее, добиться устойчивости СЭС к внешним и внутренним дестабилизирующим воздействиям? Для этого надо решить три основные проблемы, связанные с обеспечением:

1) возможности *экономического выживания* (обеспечение материальных потребностей членов общества);



2) *социально-психологической стабильности* при наличии антагонистических интересов элементов СЭС (снижение конфликтности внутри СЭС);

3) *эффективного управления*. Поскольку СЭС – распределенная система, задачей управления является обеспечение согласованного функционирования всех ее подсистем. Условия эффективности:

- со стороны управляющих – умение управлять и наличие необходимых для осуществления управления средств;
- со стороны управляемых – согласие (желание) быть управляемыми в условиях социального расслоения.

В условиях внутренней неустойчивости СЭС основной функцией управления является *координация* взаимодействующих социально-экономических подсистем, своевременное снятие возникающих противоречий и диспропорций (Маевский, Малков, 2013; Маевский, Малков, Рубинштейн, 2016).

В результате решения указанных проблем формируется структура общества, обладающая устойчивостью и имеющая шанс на выживание (о формировании устойчивых институциональных структур см.: (Кирдина, 2001, 2004; Малков, 2009b)). Если эти проблемы не удастся решить, общество *погибает* (распадается).

Способы решения проблем устойчивости существенно зависят от заданных внешних условий (важнейшими из которых являются характеристики имеющегося ресурса) и от характеристик ресурсопользования (формы и параметров производственной функции, принципов и способов управления социально-экономическими процессами).

Исследование возможностей достижения устойчивости СЭС проводится на основе анализа и моделирования взаимодействий между различными социальными группами в рассматриваемом обществе. Для описания этих взаимодействий на макроэкономическом уровне может быть исполь-

зован, например, следующий алгоритм (см.: Чернавский и др., 2002a,b; Малков, 2005, 2009b). В социальной системе выделяются главные подсистемы (социальные группы или институты), которые определяют особенности ее функционирования. В качестве основных характеристик для описания каждой из подсистем используются следующие: численность  $N_i$  рассматриваемой социальной группы и суммарные материальные накопления  $X_i$  членов группы. На основе решения дифференциальных уравнений, описывающих динамику данных величин, определяются зависимости  $N_i = N_i(t)$ ,  $X_i = X_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, k$  для выделенных подсистем. Эти зависимости являются результатом следующих внутри- и межгрупповых экономико-демографических процессов. Система уравнений, учитывающая эти процессы, может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \dot{N}_i = N_i \cdot D_i(x_i) + \sum_{j=1}^k D'_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - \sum_{j=1}^k D''_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) \\ \dot{X}_i = F_i(\bar{X}, \bar{N}, \bar{I}) - N_i \cdot Q_i(x_i) + \sum_{j=1}^k G_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - \\ - \sum_{i=1}^k C_{ij}(N_i, x_i, N_j, x_j) - I_i(x_i, N_i) \end{cases} \quad (1)$$

$$D'_{ij} = -D'_{ji}, \quad D''_{ij} \geq 0, \quad G_{ij} = -G_{ji}, \quad F_i \geq 0, \quad Q_i \geq 0, \quad C_{ij} \geq 0, \quad I_i \geq 0; \quad i, j = \overline{1, k},$$

где точка над символом означает дифференцирование по времени;  $x_i = X_i/N_i$  – средние удельные накопления представителей  $i$ -й группы;  $D_i$  – демографический коэффициент, представляющий собой разность между рождаемостью и смертностью;  $D'_{ij}$  – скорость перехода из группы  $j$  в группу  $i$ ;  $D''_{ij}$  – смертность в группе  $i$ , обусловленная антагонистическим взаимодействием с группой  $j$ ;  $F_i$  – функция производства, понимаемая как количество продукта, производимого членами социальной группы в единицу времени;  $Q_i$  – функция индивидуального потребления;  $G_{ij}$  – количество материальных благ, изымаемых тем или иным образом группой  $i$

у группы  $j$  или передаваемых из группы  $i$  в группу  $j$  (например, налоги, субсидии и т.п.);  $C_{ij}$  – затраты группы  $i$  на управление группой  $j$ ;  $I_i$  – затраты на производство материальных благ (инвестиции в производство).

В модели (1) используются усредненные величины. Усреднение проводится внутри каждой социальной группы для всех ее членов. При необходимости в модели можно учитывать разброс индивидуальных характеристик внутри социальных групп. Правила разбиения общества на группы зависят от решаемых в исследовании задач.

В зависимости от соотношений параметров система уравнений (1) может иметь один или несколько либо ни одного устойчивого состояния (аттрактора). Характеристики аттракторов позволяют судить о свойствах социальной системы и анализировать способы обеспечения ее устойчивости (в том числе способы координации взаимодействия социально-экономических подсистем).

Несмотря на то, что описанный алгоритм ориентирован в основном на исследование экономико-демографических процессов, он реально позволяет изучать вопросы социально-психологической стабильности общества и эффективности систем управления, поскольку от этих факторов существенным образом зависят параметры системы (1) и ее устойчивость к дестабилизации (Малков, 2002).

Исследование устойчивости СЭС к *внешним* дестабилизирующим воздействиям (со стороны других СЭС) проводится на основе анализа и моделирования конкурентной борьбы СЭС друг с другом, включающей в себя как экономическую, так и политическую (в том числе с использованием военной силы). Базовая модель конкурентной борьбы изложена в работах (Чернавский и др., 2005; Малков, Кирилук, 2013). Модель сформирована на основе формализации общих закономерностей, характеризующих взаимодействие политических, социально-экономических, социокультурных, информационных, биологических систем. В обобщенном виде она

представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих изменение соотношения сил различных акторов (от *англ.* *act* – действовать) в результате конкурентной борьбы:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = G_i(u_i, x, y) - A_i(u_i, x, y) - \sum_{j \neq i} B_{ij}(u_i, x, y) + D_i(u_i, x, y) - \quad (2)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, N,$$

где  $t$  – время;  $x, y$  – пространственные координаты;  $u_i$  – показатель, характеризующий «силу» (степень влияния, доминирования) (*Винокуров и др.*, 2013)  $i$ -го актора в момент времени  $t$  в точке пространства  $(x, y)$ , член  $G_i(u_i, x, y)$  описывает воспроизводство (возобновление) «силы»  $i$ -го актора, член  $A_i(u_i, x, y)$  – снижение «силы»  $i$ -го актора вследствие естественных процессов (отрицательные обратные связи в социальной системе, ресурсные ограничения и т.п.) и внутривидовой борьбы (конкуренция подсистем  $i$ -го актора между собой), член  $B_{ij}(u_i, u_j)$  – конкурентную борьбу между акторами. Этот член отрицателен, поскольку в конкурентной борьбе акторы стремятся подавить друг друга, член  $D_i(u_i, x, y)$  – распространение «силы» акторов в пространстве.

В зависимости от целей исследования система (2) может моделировать различные аспекты конкурентной борьбы социальных систем: экономические, военно-политические, идеологические и др.

Совокупность конкурирующих СЭС одного типа может составлять мегасистему (цивилизацию), противостоящую другой мегасистеме (примерами могут служить противостояние земледельческих и кочевых народов, христианских и мусульманских стран на протяжении длительных исторических периодов и т. п.). В то же время социальные слои одной СЭС представляют собой подсистемы, находящиеся в конкурентных (вплоть до антагонистических) отношениях друг с другом. Таким образом, социальные системы при моделировании могут быть представлены в виде сложных структур,

каждый уровень которых описывается базовыми динамическими уравнениями типа (1) или (2).

Проведенный в работе (Малков, 2009b) математический анализ динамики подобных систем показывает, что, как правило, в них достаточно быстро (по историческим меркам) устанавливается локальное динамическое равновесие между отдельными социальными компонентами, поддерживаемое механизмами самоорганизации и координации, обеспечивающими устойчивость этих равновесных состояний. Если сформированные механизмы самоорганизации и координации становятся неэффективными в силу изменения внешних природных или внутренних социально-политических факторов, то устойчивость исчезает, система дестабилизируется, переходит в кризисное состояние и может погибнуть.

Динамические модели описанного типа представлены, например, в работах (Чернавский и др., 2002a,b; Маевский, Малков, 2013; Маевский, Малков, Рубинштейн, 2016; Малков, 2009b). Представляется, что модели, разрабатываемые в рамках «синергетической экономики», эволюционной экономики, экономифизики, могут стать основой методического аппарата, который позволит моделировать:

- нестационарные и несинхронные режимы функционирования экономических систем;
- взаимодействие товарных и денежных потоков в нестационарных условиях;
- влияние обратных положительных связей (эффектов положительной отдачи) в экономических системах;
- бифуркации в экономических системах и определять критические значения экономических параметров, определяющих переход от одного режима функционирования к другому, а также решать другие актуальные практические задачи.

