

При характерных для экономики целях максимизации капитализации, полезности, прибыли и т.п. функция Гамильтона получается выпуклой вниз по "импульсам" и выпуклой вверх по "координатам", а все её критические точки имеют характер седла. В результате экономически осмысленные движения системы оказываются близкими к устойчивым сепаратрисам седел. Эти решения неустойчивы по начальным значениям импульсов (которые, кроме того, ненаблюдаемы), но слабо зависят от начальных условий по координатам и возмущений в отдалённом будущем. Для гамильтоновой системы надо решать не задачу Коши, а *краевую задачу*. Вытекающие из этого результаты известны под названием *теорем о магистралах*. Они дают надежду на то, что модели типа моделей межвременного равновесия будут верны в среднесрочной перспективе независимо от точности предсказания далёкого будущего.

Нашим главным результатом, полученным за последние годы, стало обнаружение сильного магистрального свойства: *хотя в модели мы разрешаем агентам знать будущее, это знание оказывается им ненужным при выработке оптимального поведения*. Поскольку это свойство выполняется, оно снимает все возражения против применения принципа рациональных ожиданий — модель сводится к традиционной динамической системе. Но это свойство само нуждается в объяснении.

Ключом здесь служит то, что сильный магистральный эффект проявляется в модели не вообще, на уровне формул, а только при правильно идентифицированных значениях параметров [12]. Здесь надо вспомнить, что экономика как управляющая система должна не просто координировать действия миллиардов людей, но делать это так, чтобы люди в большинстве случаев могли осуществить разумный выбор без сложных расчётов. Поэтому даже известные всем экономические механизмы могут не работать из-за своей сложности и риска. Можно предположить, что в каждый момент в экономике отбирается и действует такой комплекс механизмов, который не требует детальных расчётов для разумных решений. Поэтому, описывая в модели механизмы "по жизни", а не по учебникам, мы получаем модель с сильным магистральным свойством.

Всё это несколько напоминает известный в физике *антропный принцип*: Вселенная представляется наблюдателю гармоничной и "приспособленной" к нему потому, что во Вселенной с иным устройством наблюдатель не возникнет.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 09-01-13534-офи_ц), программ фундаментальных исследований ОМН РАН № 3 и РАН № 14 и Finance Market Fund, Norway (проект "Stochastic Dynamics of Financial Markets").

Список литературы

1. Полтерович В М "Кризис экономической теории" *Экономическая наука современной России* (1) 46 (1998)
2. Поспелов И Г *Экология и жизнь* (3) 18 (2003)
3. Шкловский И С *Вселенная. Жизнь. Разум* (М.: Наука, 1980)
4. Макаров В Л, Препринт № WP/99/069/ (М.: ЦЭМИ РАН, 1999)
5. Леонтьев В В *Экономические эссе* (М.: Полит. литература, 1990)
6. Greene W H *Econometric Analysis* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003)
7. Meadows D H *The Limits to Growth* (New York: Universe Books, 1972)

8. Краснощеков П С, Петров А А *Принципы построения моделей* (М.: Фазис, 2000)
9. Петров А А, Поспелов И Г, Шананин А А *Опыт математического моделирования экономики* (М.: Энергоатомиздат, 1996)
10. Андреев М Ю и др. *Технология моделирования экономики и модель современной экономики России* (М.: МИФИ, 2007)
11. Hildenbrand W, Sonnenschein H (Eds) *Handbook of Mathematical Economics* Vol. 4 (Amsterdam: North-Holland, 1991)
12. Андреев М Ю, Пильник Н П, Поспелов И Г *Журн. новой экономической ассоциации* (3–4) 72 (2009)

PACS numbers: 89.65.Gh, **89.75. – k**
DOI: 10.3367/UFNr.0181.201107i.0767

Об эконофизике и её месте в современной теоретической экономике

Д.С. Чернавский, Н.И. Старков,
С.Ю. Малков, Ю.В. Косе, А.В. Щербаков

1. Введение

Задачи теоретической экономики — те же, что и других теоретических дисциплин.

1. Описание объекта (системы) на языке математических методов.

2. Описание откликов системы на внешние воздействия.

3. Прогноз поведения системы при неизменных внешних условиях.

Традиционно экономика считается наукой гуманитарной, но в теоретической экономике используются математические и физические понятия и методы. Таким образом, теоретическая экономика является междисциплинарным направлением. Как правило, междисциплинарные направления (такие, как биофизика, физическая химия и др.) не отрываются от своих прародителей и других естественных наук. Однако из этого правила имеются исключения

В настоящее время в теоретической экономике сложилась критическая ситуация [1]. Существует несколько различных направлений (по крайней мере, два), в которых используются разные основные положения (аксиомы) и разные математические методы и которые дают разные ответы на поставленные выше вопросы.

Тем не менее в современной (кризисной) ситуации от ответа на эти вопросы зависят судьбы людей, стран и, возможно, мира. В этом и заключается критичность ситуации.

Обсудим эти направления.

I. Наиболее представлен (особенно за рубежом) так называемый неоклассический подход, который считается "главным течением" (мейнстримом [2]). Основные положения мейнстрима следующие:

1) элементарным объектом общества является индивидуум. Он производит продукты с целью получения наибольшей прибыли. Индивидуум потребляет продукты с целью получить максимальную пользу для

Д.С. Чернавский, Н.И. Старков. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, РФ. E-mail: chernav@lpi.ru
С.Ю. Малков, Ю.В. Косе. Академия военных наук, Москва, РФ
А.В. Щербаков. Корпорация "Курс", Москва, РФ

себя. Основной функцией классической экономики является функция полезности. Предполагается, что индивидуум "рационален" и сам определяет наиболее полезную совокупность благ (в первую очередь, материальных). Различие обычаев ("менталитетов") в разных странах и социумах при этом не учитывается;

2) самоорганизация индивидуумов в обществе сводится к тому, что возникает стационарное (равновесное) состояние, в котором спрос (на товары, труд, деньги и т.п.) уравнивается предложением. Считается, что общество (государство) образуется как результат объединения индивидуумов и новые качества, не выводимые из свойств индивидуумов, при этом не возникают.

Создаётся впечатление, что цель мейнстрима — построить (хотя бы умозрительно) идеальное стабильное общество, в котором интересы всех были бы максимально удовлетворены, и это общество существовало бы вечно (наподобие утопического "Города Солнца").

В рамках мейнстрима часто используются догмы, например:

1) государство не должно вмешиваться в экономику. Это положение не доказано (потому и "догма") и не может быть доказано, поскольку полное невмешательство (так же, как и полное вмешательство) невозможно. Важна мера вмешательства, которая зависит от ситуации;

2) стационарное и равновесное состояние рыночной экономики единственно. Это положение тоже является недоказанной догмой и в последнее время подвергается сомнению. Тем не менее в рамках мейнстрима исследование динамики переходов между состояниями практически отсутствует.

Сильная сторона мейнстрима заключается в том, что в нём работают большие коллективы профессионалов высокого уровня. Заслугой мейнстрима является исследование оптимального стационарного состояния рыночной экономики.

Слабая сторона мейнстрима состоит в том, что он обособлен от других естественных наук и, по существу, превратился в "игру в бисер". Критерием качества решения задачи здесь считается внутренняя непротиворечивость и соответствие с аксиомами. Условие соответствия результата действительности обычно не обсуждается. Перечисленные выше актуальные задачи в рамках мейнстрима не решаются и не ставятся.

II. Сравнительно недавно возникло новое направление теоретической экономики — эконофизика (или физическая экономика). В неё входят разные задачи.

1. Эволюционная экономика возникла в начале прошлого века благодаря работам И. Шумпетера [3]. Далее она развивалась во многих работах (см. [4, 5] и приведённые там ссылки). Фактически именно Шумпетер обратил внимание на то, что экономика — не статическая, а развивающаяся система. Некоторое время это направление развивалось без использования математического аппарата. В настоящее время такой аппарат имеется — он тот же, что и в других развивающихся системах (и в синергетике).

2. Математическое моделирование (на основе теории динамических систем) как макроэкономических, так и микроэкономических процессов (это направление часто называют экономической синергетикой (Занг [6])).

3. Анализ биржевых рядов и исследование их свойств.

Последние три направления объединяет система основных положений, характер решаемых задач и методы их решения. Во всех трёх направлениях экономика рассматривается как развивающаяся система, и при их описании используется соответствующий аппарат — теория динамических диссипативных систем. Иными словами, теоретическая экономика здесь является не обособленной дисциплиной, а, напротив, входит в семью естественных наук. Вместе с тем в этой семье эконофизика представляет собой вполне оформившееся направление.

Особую роль при этом играет проблема дуализма развития: с одной стороны, общество должно сохранять накопленную информацию, с другой — создавать новую. Эти задачи комплементарны (в смысле комплементарности по Н. Бору). В физике они во многих случаях решены, в экономике их ещё предстоит решить.

Таким образом, ничего особенно нового (по сравнению с другими естественными науками) в эконофизике нет. Физика здесь выступает как наука, которая имеет дело как с природой, так и с современной математикой и поэтому обладает дисциплиной мысли и критичностью по отношению к догмам. В частности, возможность появления (и исчезновения) нескольких стационарных состояний здесь не только допускается, но и широко используется [7, 8].

С этой точки зрения, экономика — очень интересная и важная область приложения физики.

В действительности граница между неоклассической экономикой и эконофизикой несколько размыта. Многие экономисты в разных работах используют как тот, так и другой подходы.

Цель настоящего сообщения — обсудить примеры математических моделей в экономике и их результаты.

2. Основные понятия и модели. Функция спроса

В экономике важную роль играет спрос. Спрос зависит от потребностей человека, но не меньшую роль играет поведение окружающих (в том числе, средств массовой информации). Иными словами, спрос является коллективной поведенческой реакцией человеческого общества. Спрос описывается функцией спроса. Есть несколько вариантов этой функции.

1. Функция спроса на данный товар (или группу сходных товаров) представляет собой зависимость количества товара Q , потребляемого в единицу времени, от наличия у потребителя денег U или доходов D и цены товара p . В силу условности того и другого функция спроса зависит от отношения U/p (или D/p). Величина Q может выражаться в естественных единицах (штуках, килограммах), но чаще используют величину Qp , которая выражается в денежных единицах. В качестве примера на рис. 1 приведём эмпирическую функцию спроса [9], которая построена на основе данных статистических бюро разных стран. Важным свойством этой функции является немонотонность (наличие так называемого клюва). Ниже мы увидим, что клюв играет важную роль.

2. В макроэкономике используется единый агрегат, включающий в себя товары первой необходимости (пища, одежда, жилище), товары долговременного пользования (машины, телевизоры и т.д.) и элитные товары. В этом случае удобнее пользоваться функцией спроса $Q(U/p)$.

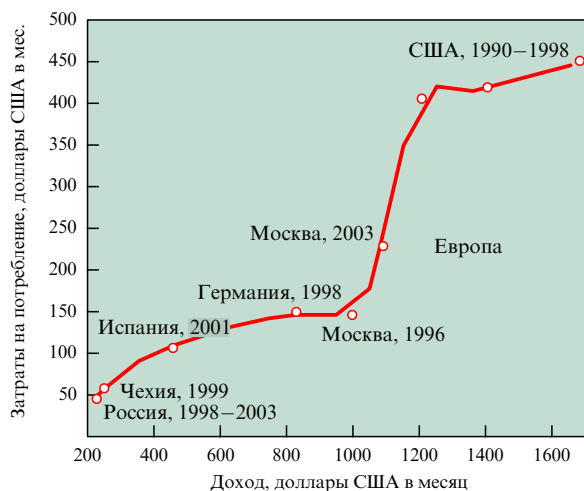


Рис. 1. Вид функции спроса (эмпирические данные) [9].

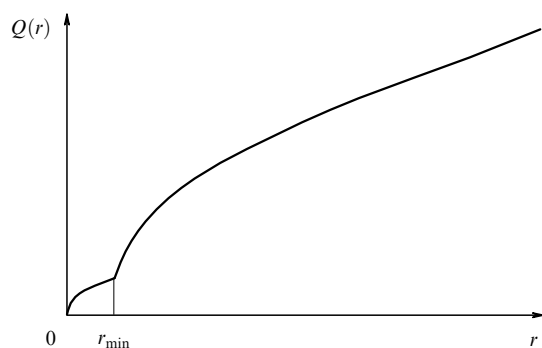


Рис. 2. Аналитическое представление функции спроса.

Функция спроса $Q(U/p)$ (рис. 2) может быть представлена в аналитическом виде [10]:

$$Q(r) = Q_1 \frac{r}{r + r_1} + \Theta(r - r_{\min}) \left[Q_2 \frac{r - r_{\min}}{r - r_{\min} + r_2} + \varepsilon(r - r_{\min}) \right], \quad (1)$$

где

$$\Theta(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0, \\ 1 & \text{при } x > 0. \end{cases}$$

Смысл параметров Q_1 , Q_2 , r_1 , r_2 , $r_{\min}$ и ε заключается в следующем.

Параметр Q_1 соответствует полному удовлетворению жизненно необходимых потребностей, r_1 — значение покупательной способности, при которой эти потребности удовлетворяются наполовину.

Величина $r_{\min}$ — критическое значение покупательной способности: при покупательной способности, меньшей, чем $r_{\min}$, потребитель не приобретает товаров долговременного пользования. Величина $r_{\min}$ зависит от психологии потребителя. Так, большая величина $r_{\min}$ означает, что человек склонен полнее удовлетворить потребности первой необходимости, т.е. жить проще. Малое $r_{\min}$ означает, что потребитель склонен жить "по-современному", даже в ущерб питанию.

Параметр Q_2 соответствует полному удовлетворению товарами долговременного пользования, т.е. приобретению всего "джентльменского набора" товаров: комплекта бытовой техники, автомобиля, дачи и т.д.

Параметр r_2 характеризует стремление человека выглядеть достойным звания джентльмена. При малом значении r_2 человек, едва накопивший средства в количестве $U \approx r_{\min}/p$, стремится тут же их потратить на приобретение "джентльменского набора". При большом значении r_2 , напротив, человек ведёт себя скромно и бережливо даже при накоплениях $U > r_{\min} p$.

Параметр ε отражает наличие "всевозрастающих потребностей человека", т.е. неспособность многих остановиться в своих тратах на приобретение предметов роскоши при наличии соответствующих средств.

Таким образом, параметры функции спроса отражают человеческий фактор, т.е. психологию потребителя.

В модели важно поведение коллектива потребителей, и в этом смысле параметры функции спроса имеют социально-психологический характер, т.е. учитывают обычаи и правила поведения, сложившиеся в данном обществе.

В разных странах эти параметры, вообще говоря, различны и функции спроса могут заметно различаться. Сигмоидальный характер функции спроса играет в модели очень важную роль. Его эффект зависит от параметров $r_{\min}$ и r_2 : при малых $r_{\min}$ и больших r_2 функция спроса практически становится плавной и всюду выпуклой. Сигмоидность (т.е. "клев" на рис. 2) исчезает. Параметры функции спроса могут изменяться со временем, но медленно, например при смене поколений (роль этих изменений мы обсудим позднее).

3. Производственная функция

Производственная функция $F(r)$ представляет собой количество произведённого продукта (в единицу времени) в зависимости от вложенных (оборотных) средств. Последние удобно выражать не в деньгах, а в отношении денег к средневзвешенной цене продукта p : $r = U/p$. При этом исключается роль инфляции. В оборотные средства входят: переменные издержки (пропорциональные объёму производства) и постоянные издержки (затраты на поддержание производства и модернизацию его, т.е. на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ). В производственной функции можно выделить три участка:

- 1) участок с постоянной отдачей — вложенные средства пропорциональны выручке;
- 2) участок с падающей отдачей — излишек произведённой продукции не востребован обществом;
- 3) участок с возрастающей отдачей — потребность в продукте (как правило, инновационном) возрастает и предприятие получает сверхприбыль.

На рисунке 3 представлена производственная функция и её участки.

4. Базовые модели

В каждой науке модели строятся в два этапа [11]: сначала формулируются так называемые базовые (простейшие) модели. Они содержат небольшое число переменных и уравнений, но при этом описывают суть явления (автоматизация, кризисы и т.д.). Применительно к конкретным условиям базовые модели усложняются, дополняются, комбинируются и превращаются в имитационные модели. В физической экономике имеется набор базовых моделей. Обсудим их кратко.

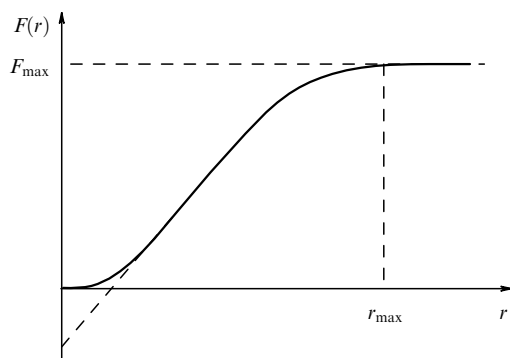


Рис. 3. Производственная функция.

1. Логистическая модель, которая содержит одно уравнение вида

$$\frac{dx}{dt} = a(x - x^2). \quad (2)$$

Эта модель используется для описания развития фирмы, развития вида (в биологии), демографических процессов и т.д. В ней имеется две стадии: первая — экспоненциальная (или ещё более сильный рост с обострением [12]) и вторая — стадия выхода на стационарный режим в связи с внешними ограничениями.

2. Базовая модель борьбы условных информаций, которая содержит два (или больше) уравнения вида [13, 14]:

$$\frac{du_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} u_i - \sum_{j \neq i}^n b_{i,j} u_j u_i - a_i u_i^2 + D_i \Delta u_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Здесь u_i — число носителей i -й информации, первый член в правой части — воспроизведение i -й информации, второй — взаимодействие носителей разных информаций, третий — внешние ограничения, последний член — миграция носителей в пространстве.

Принято, что взаимодействие антагонистично, т.е. каждый носитель стремится сохранить свою информацию, навязать её другому и создать новую (свою) информацию.

Модель (3) использовалась для описания возникновения единого генетического кода в биологии [13, 14]. В экономике она применялась для описания конкуренции фирм (в частности, новаторов и консерваторов) [15], роли рекламы [16], взаимодействия ведущих валют на внешнем торговом рынке [17]. Кроме того, эта же модель использовалась для описания исторических процессов (образования крупных государств) [18]: было продемонстрировано, что идеологические (информационные) факторы играют не меньшую роль, чем экономические.

3. Модель скрытого банкротства, которая имеет вид [19, 20]

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= -\frac{M}{\tau} + p_m Q_0 \frac{P}{P_0 + P} - \frac{P}{\tau_p} P - \kappa, \\ \frac{dP}{dt} &= -p Q_0 \frac{P}{P_0 + P} + \frac{M}{p\tau}. \end{aligned}$$

Здесь M — оборотные средства, P — количество товара на складе. Параметры: Q_0 — максимальная потребность в продукте, p_m — рыночная цена, p — себестоимость, τ —

время производственного цикла, τ_p — время хранения товара, κ — постоянные издержки.

Модель описывает как стабильное состояние фирмы, так и бифуркацию — переход в состояние банкротства. При этом банкротство вначале развивается медленно, но затем быстро переходит в критическую фазу. Эта модель использовалась при обсуждении эколого-экономических проблем в глобальном мире. Особенно важен тот момент, в который ресурсы близки к исчерпанию, а затраты на их регенерацию из отходов возрастают [20].

4. Базовая модель перехода из высокопроизводительного состояния (ВП) в низкопроизводительное (НП), т.е. фактически модель кризиса, которая сродни модели фазовых переходов. В экономистике эта модель стала возможной благодаря отказу от догмы об единственности рыночного состояния. На её основе была создана имитационная макроэкономическая модель современной России, которую мы более подробно обсудим в разделе 5.

5. Макроэкономическая модель современной России

Цель модели — описать, что произошло в результате либерализации цен и каковы возможные варианты дальнейшего развития.

Модель была построена в 1990-е годы и опубликована в УФН [7]. Кризис 1990-х годов в ней интерпретировался как фазовый переход из ВП-состояния в НП-состояние в результате либерализации цен.

В течение последних лет модель совершенствовалась и дополнялась [10]. При этом выяснилось, что результаты существенно зависят от внешней ситуации и от решений Правительства России. В настоящее время модель не преследует цели дать долговременный прогноз. Более того, с нашей точки зрения таковой и невозможен, поскольку экономика России (и всего мира) находится вблизи неустойчивого состояния. В связи с этим решения, принимаемые правительствами (всех стран), оказывают существенное влияние, но какое именно — не ясно ни тем, кто принимает решения, ни тем, кто пытается их выполнять.

Цель предлагаемой модели — служить инструментом поддержки принятия решений. Для этого модель должна давать ответы на вопросы: что будет если..?

Помимо этого модель должна давать кратковременные прогнозы (типа "что будет, если ничего не делать").

Мы не будем приводить модель полностью (поскольку она опубликована) и ограничимся только некоторыми последними результатами.

1. Наглядное представление о состоянии экономики даёт балансовая диаграмма (рис. 4). По оси ординат отложены функция спроса $Q(g)$ и $F(r)\mu$, где g — доля средств, выделяемая собственниками на собственные нужды, $F(r)$ — производственная функция, μ — уровень издержек [7]. Их пересечения — стационарные состояния. Их три: ВП, НП и коллапс производства. При изменении этих функций (их параметров) возможны переходы (типа фазовых).

Здесь уместно сделать следующие замечания:

— в действительности ситуация в России достаточно пёстрая. Производственные функции в разных регионах и разных фирмах различны, так что на диаграмме можно представить веер функций. Он охватывает как фирмы в ВП-состоянии (так называемые газели [21]), так и фирмы, близкие к банкротству;

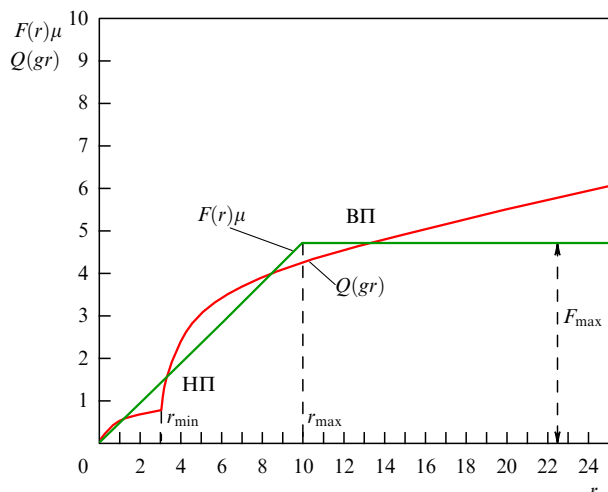


Рис. 4. Балансовая диаграмма (см. текст).

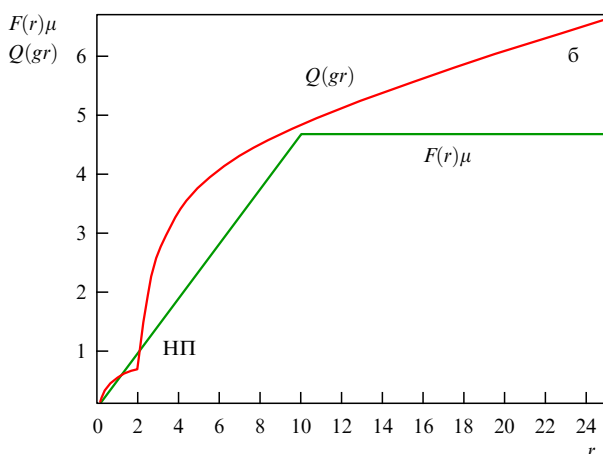
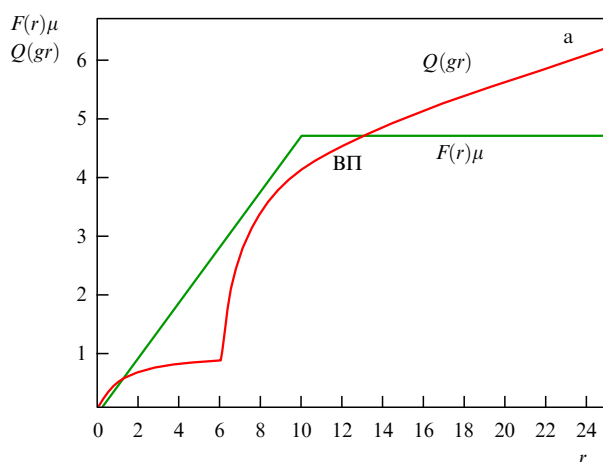


Рис. 5. "Фазовый переход" при изменении функции спроса в случае бережливого поколения (а) и поколения, выросшего в достатке (б).

— функция спроса, как правило, меняется со сменой поколений.

На рисунке 5а представлена функция спроса, соответствующая "бережливому" поколению, которое тратит деньги на товары долговременного спроса при их наличии. Видно, что при этом реализуется только ВП-состояние. Функция спроса на рис. 5б относится к поколению, выросшему в достатке, которое хочет иметь

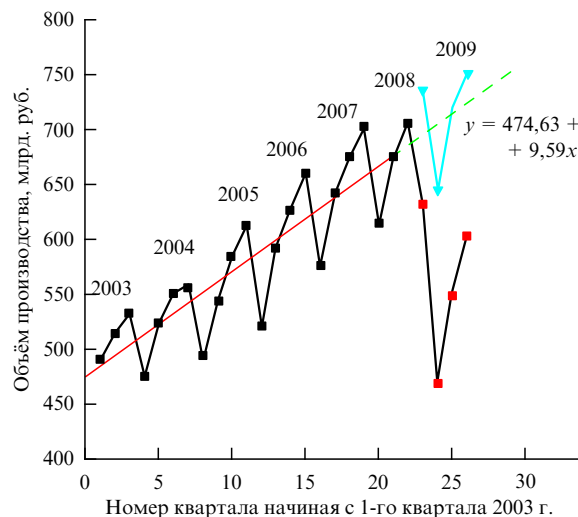


Рис. 6. Динамика ВВП в период 2003–2009 гг.: ● — статистические данные, — тренд на 2008 г. (IV квартал) и 2009 г. (I–III кварталы), прямая линия — тренд без учета сезонных изменений.

всё и сразу. Видно, что при этом экономика переходит в НП-состояние.

Долговременные (порядка 10–20 лет) периодические изменения в экономике получили название циклов Кондратьева. Возможно, что изложенное выше является одной из причин этих циклов. Правда, сам Кондратьев связывал циклы с инновационной активностью людей (не касаясь их психологии и функции спроса, хотя эти вещи связаны.)

6. Кризис 2008 года

Кризис произошёл во всём мире, но в США и в России он имел разные причины.

В России начиная с 2004 г. росли цены на сырьё и товары естественных монополий (ЕМ). Цены на товары отечественной обрабатывающей промышленности росли медленнее (в меру инфляции). Рентабельность падала и приближалась к критическому значению ("клову"). При этом в уравнении для цены устойчивость уменьшалась и возникала бифуркация типа Андронова–Хопфа (т.е. колебательный режим). При продолжении этой тенденции промышленный кризис в России был бы неизбежен (о чём неоднократно говорилось на конференциях [21] и писалось).

В США кризис имел финансовый характер (падение акций и кризис коммерческих банков). От этого пострадали, в первую очередь, российские финансисты: американские банки потребовали от них вернуть кредиты и не дали новых для погашения долгов. Российское руководство поддержало российских финансистов, но за счёт средств, изъятых из реального сектора. В результате российские промышленники в течение полугода (вторая половина 2008 г.) были лишены оборотных средств. В условиях низкой рентабельности это привело к промышленному кризису [22]. На рисунке 6 приведены официальные данные с 2003 по 2009 г. (поквартально в рублях).

Видно, что общий тренд валового внутреннего продукта (ВВП) до августа 2008 г. был положительным (на фоне сезонных колебаний). Это не противоречит утверждению о том, что рентабельность обрабатывающей промышленности за эти годы снижалась. Дело в том,

что в общий ВВП входят также услуги и добыча сырья (цены которого росли), что и обеспечивало общий положительный тренд (как видно из рис. 6). Штриховой линией показаны расчётные данные без учёта изъятия оборотных средств в 2009 г. Видно, что кризиса в России в этом случае не было бы (но он случился бы несколько позднее). В результате в конце 2008 г. "неожиданно" возник кризис и общий ВВП уменьшился почти вдвое. Затем ВВП увеличился, но не достиг прежнего уровня.

7. Посткризисные меры

После кризиса были предложены антикризисные меры (как правительством, так и другими организациями). Обсудим антикризисные меры в рамках нашей модели.

1. Частичное государственное регулирование цен сырья, товаров и услуг ЕМ. В нашу модель этот фактор входит как параметр рентабельности, зависящий от инфляции, мировых цен и государственной стабилизации цен на часть продукции. На рисунке 7 представлены результаты расчётов ВВП обрабатывающей промышленности при различных долях государственного регулирования цен. Параметр a означает долю продукции ЕМ, цены которой фиксированы на данном (текущем) уровне и не растут. Нижняя кривая соответствует отсутствию регулирования, верхняя кривая — полной фиксации цен. Начальная точка — август 2008 г.

Реально ВВП снизился примерно на 30 % и до сих пор сохраняется на этом уровне. В модели этому соответствует фиксация цен на уровне 75 %. Реально здесь сыграло роль и снижение мировых цен, так что фиксация цен могла быть и меньше.

На рисунке 8 представлены результаты модельных расчётов и статистические данные в посткризисное время. Видно, что страна не вышла из кризиса (находится в депрессии) и процесс носит колебательный характер, о чём упоминалось выше.

2. Сейчас снова встал вопрос об изменении системы налогообложения (снижение налогов на добавленную стоимость (НДС) и на прибыль). В нашу модель они входят как параметр κ , определяющий рентабельность. На рисунке 9 приведены результаты модельных расчётов роста ВВП при снижении налогов.

Из рисунка видно, что снижения налогов на 3–4 % уже достаточно для выхода из кризиса. Разветвление — время изменения налоговой системы.

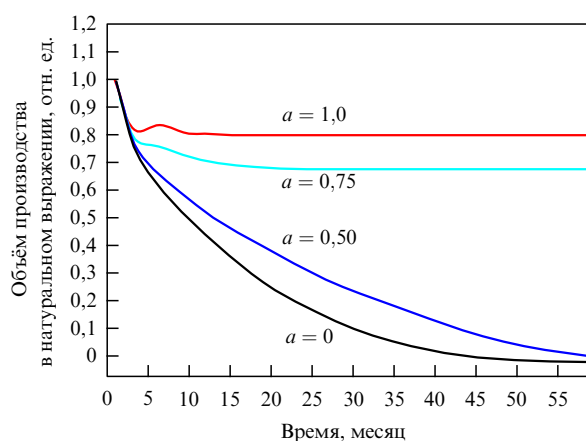


Рис. 7. Динамика ВВП при разной степени регулирования базовых цен a .

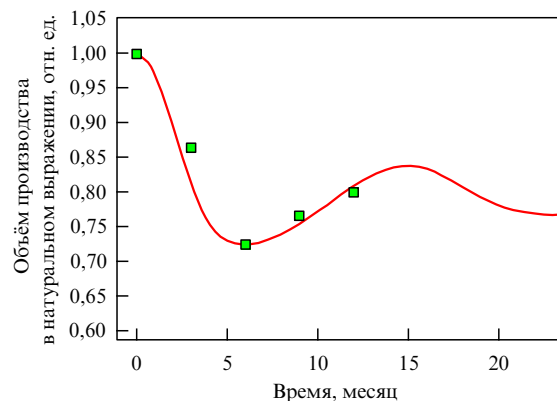


Рис. 8. Динамика ВВП (без учёта тренда): ■ — эмпирические данные, кривая — модельный расчёт с учётом регулирования цен при $a = 0,45$.

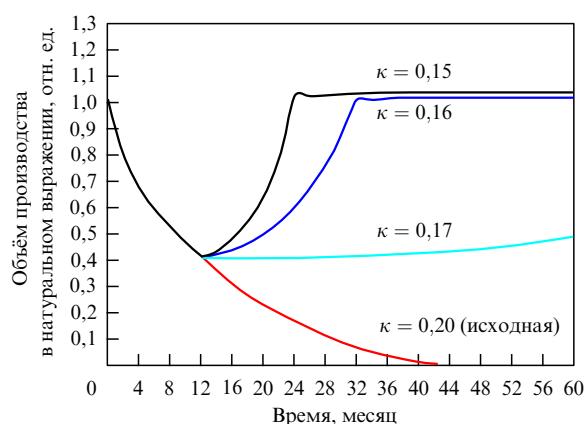


Рис. 9. Динамика ВВП в условиях развития кризиса при изменении налогов.

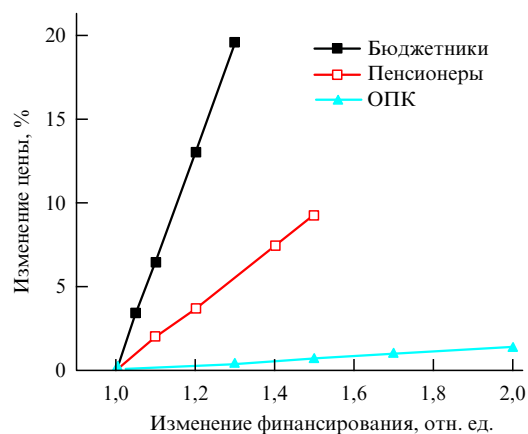


Рис. 10. Изменение ценовой инфляции при дополнительном финансировании: ■ — бюджетников, □ — пенсионеров, ▲ — предприятий ОПК.

3. Каковы последствия увеличения затрат на оборонно-промышленный комплекс (ОПК)? Большая часть продукции ОПК на внутренний рынок не поступает, и поэтому она не приносит прибыли. Тем не менее эти затраты необходимы по соображениям не экономического. Вопрос заключается в том, какой урон они нанесут экономике и какую инфляцию вызовут. На рисунке 10 приведены результаты расчётов инфляции в зависимости

от вложений в ОПК, увеличения пенсий и зарплат бюджетников.

Из рисунка 10 видно, что инфляция, вызванная затратами на ОПК, заметно меньше, чем можно было бы ожидать. Причина состоит в том, что не все вложения поступают на денежный рынок (в форме зарплаты), часть из них направляется в промышленный сектор как плата за комплектующие. Кроме того, объём затрат на ОПК составляет малую долю бюджета, по сравнению с долей, идущей на выплаты пенсий и зарплат бюджетников.

8. Заключение

Представленные в настоящей статье исследования лежат в рамках широкого направления, которое имеет несколько названий: "самоорганизация" (И.Р. Пригожин), "синергетика" (Г. Хакен) и "сложность". Базовые модели, упомянутые выше, в действительности исследованы и разработаны более подробно, чем это представлено в настоящей статье. Однако не все они доведены до состояния имитационных моделей, в которых решаются реальные актуальные задачи с учётом конкретных условий.

Тем не менее надобность в этом уже назрела и работа в этом направлении активно ведётся. Так, в работах [23, 24] представлены модели мировой динамики. Модель "борьбы валют" развивается и детализируется с учётом трёх и более участников. Это особенно актуально для планирования введения единой торговой валюты для взаимных расчётов между странами БРИК (Бразилия, Россия, Индия и Китай).

Из базовой модели следует, что ситуация здесь не проста и требует модельных расчётов.

Базовая модель скрытого банкротства имеет прямое отношение к ситуации в мире в целом. Дело в том, что в настоящий момент мы живём не за счёт производимого продукта, а используем природные запасы "на складе". Иными словами, мы уже находимся в состоянии скрытого банкротства, но пока не замечаем этого. Из базовой модели следует, что переход к открытому банкротству может быть "неожиданным" и очень резким. Предвидеть его необходимо заранее — для этого и нужна математическая модель.

Приведённые примеры отнюдь не исчерпывают всех проблем современной экономики. Однако упомянутые базовые модели (и их комбинации) создают основу для моделирования практически всех актуальных задач.

Модель макроэкономики современной России приведена здесь уже не как базовая, а как имитационная. Следовательно, она претендует на описание и прогноз реальных событий. Насколько удачно — судить читателю.

Важно, что модель описывает не столько прогноз, сколько отклик системы на те или иные внешние воздействия (события, которые ещё не произошли, но могут произойти). Иными словами, модель может служить инструментом поддержки принятия решений руководством экономикой страны.

Кроме того, модель является достаточно полной, т.е. даёт информацию о распределении населения по доходам и накоплениям (и то и другое в современной России очень поляризовано), о спросе на товары разных категорий и т.п. Иными словами, она позволяет представить экономический портрет современной России. Разумеется, модель ежегодно модернизируется (с учётом изменяющихся параметров). При этом особое внимание уделяется вопросу: насколько близко (или далеко) страна находится от точки бифуркации?

В статье приведены ответы не на все возможные вопросы: что будет, если...? Тем не менее математическая основа для ответа на любой из подобных вопросов в экономифизике имеется.

Мы не касались здесь вопросов поведения цен акций на биржах. Этому посвящены статьи [25, 26], публикуемые в данном номере УФН.

Работа выполнена при поддержке программы гранта РФФИ 08-06-00319.

Список литературы

1. Полтерович В М *Экономическая наука современной России* (1) 46 (1998)
2. Hodgson G M *Evol. Inst. Econ. Rev.* **4** (1) 7 (2007) [Пер. на русск. яз.: Ходжсон Дж *Экономический вестник Ростовского государственного университета* **6** (2) 8 (2008)]
3. Schumpeter J *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* (Leipzig: Duncker & Humblot, 1912) [*The Theory of Economic Development* (New Brunswick, NJ: Transaction Books, 1983); Шумпетер Й *Теория экономического развития* (М.: Прогресс, 1982)]
4. Маевский В И, в сб. 5-й *Международ. симп. по эволюционной экономике* (М.: Институт экономики РАН, 2004) с. 91
5. Маевский В И *Введение в эволюционную макроэкономику* (М.: Япония сегодня, 1997)
6. Zhang W-B *Synergetic Economics: Time and Change in Nonlinear Economics* (Berlin: Springer-Verlag, 1991) [Занг В-Б *Синергетическая экономика: Время и перемены в нелинейной экономической теории* (М.: Мир, 1999)]
7. Чернавский Д С, Старков Н И, Щербаков А В *УФН* **172** 1045 (2002) [Chernavskii D S, Starkov N I, Shcherbakov A V *Phys. Usp.* **45** 977 (2002)]
8. Robinson J *The Economics of Imperfect Competition* (London: Macmillan and Co., 1948) [Робинсон Дж *Экономическая теория несовершенной конкуренции* (М.: Прогресс, 1986) с. 101]
9. Качалов И, <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=781>
10. Чернавский Д С и др. *Стратегическая стабильность* (1) 37 (2004)
11. Чернавский Д С, Чернавская Н М *Биофизика* **54** 139 (2009) [Chernavskii D S, Chernavskaya N M *Biophysics* **54** 103 (2009)]
12. Капица С П, Курдюмов С П, Малинецкий Г Г *Синергетика и прогнозы будущего* (М.: Наука, 1997)
13. Chernavskii D S, Chernavskaya N M *J. Theor. Biol.* **50** 13 (1975)
14. Чернавский Д С *Синергетика и информация* (М.: УРСС, 2004)
15. Чернавский Д С, Щербаков А В, Зильпукаров М-Г М "Модель конкуренции", Препринт № 64 (М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, 2006)
16. Зильпукаров М-Г М, в сб. *Труды 7-го Международ. симп. по эволюционной экономике* (Под ред. В И Маевского) (М.: Изд-во Института экономики РАН, 2009)
17. Чернавский Д С, Старков Н И, в сб. *Труды 9-го Международ. симп. по эволюционной экономике* (Под ред. В И Маевского) (М.: Изд-во Института экономики РАН, 2010)
18. Чернавский Д С и др., в сб. *История и синергетика: Математические модели социальной, экономической и культурной динамики* (Отв. ред. С Ю Малков, А В Коротаев) 2-е изд. (М.: УРСС, 2010) с. 142
19. Чернавская Н М, Щепетов Д С, Васильева Л Ю, в сб. *Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических проблем* Вып. 7 (Под ред. Л А Уваровой) (М.: Янус-К, 2004) с. 263
20. Чернавская Н М и др. *Эколого-экономическая деятельность предприятий при техногенезе и чрезвычайных ситуациях* (М.: Янус-К, 2010)
21. Юданов А Ю *Опыт конкуренции в России. Причины успехов и неудач* (М.: Изд-во ИНТРАС–КНОРУС, 2007)
22. Щербаков А В *Кабели и провода* (5) 6 (2008)
23. Акаев А А *Докл. РАН* **434** 749 (2010) [Akaev A A *Dokl. Math.* **82** 824 (2010)]
24. Акаев А А, Садовничий В А *Докл. РАН* **435** 320 (2010) [Akaev A A, Sadovnichii V A *Dokl. Math.* **82** 978 (2010)]
25. Видов П В, Романовский М Ю *УФН* **181** 774 (2011) [Vidov P V, Romanovskii M Yu *Phys. Usp.* **54** (7) (2011)]
26. Дубовиков М М, Старченко Н В *УФН* **181** 779 (2011) [Dubovikov M M, Starchenko N V *Phys. Usp.* **54** (7) (2011)]