

УДК 519.8:332:53 (571.621)

ДИНАМИКА ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА В ЭКОНОМИКЕ РЕГИОНА: ЭКОНОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД

М.Ю. Хавинсон

Хавинсон Михаил Юрьевич — кандидат экономических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Шолом-Алейхема, 4, Биробиджан, Россия, 679016. E-mail: havinson@list.ru.

В статье обсуждаются возможности применения базовых математических моделей к описанию экономической динамики. Базовые модели используются в эконофизике, как правило, для анализа макроэкономической динамики. В статье предлагается пополнить список базовых моделей эконофизики, состоящий из логистической модели, модели борьбы условных информаций, модели скрытого банкротства и модели фазовых переходов, экспоненциальной моделью. Экспоненциальная модель концептуально подходит для моделирования региональной динамики на среднесрочном временном интервале. В качестве иллюстрации ее применения приведена модель динамики факторов производства: численности занятых и стоимости основных фондов. Проведена верификация модели на соответствующих статистических данных Еврейской автономной области.

Базовая модель, эконофизика, феноменологический подход, экспоненциальная модель, уравнение теплоотдачи, закон радиоактивного распада, факторы производства, Еврейская автономная область.

ВВЕДЕНИЕ

В современных исследованиях экономики выделяется отдельное направление — эконофизика. Эконофизика (физическая экономика или экономическая физика) изучает социально-экономические процессы с помощью математических моделей, применяющихся в области естественно-научных знаний (главным образом, в физике, химии, биологии) [18; 20; 21; 22]. Сложившийся научный инструментарий физической экономики основывается на представлении экономической системы как сложноорганизованного объекта, поведение которого неочевидно для исследователя [1; 2; 11].

Следует признать, что при всех успехах традиционной экономической

теории исчерпывающего объяснения механизмов экономической динамики нет, а ведущие экономисты открыто говорят о кризисе экономической теории [8; 10]. Эконофизика предлагает изящный способ взглянуть на экономику по-новому, что, вероятно, может указать путь выхода из этого кризиса. Если полагать, что экономика — сложная система, поведение которой, структура и внутренние связи не до конца изучены и понятны, то вполне можно воспользоваться весьма давним, но эффективным подходом в изучении таких систем — феноменологическим. Феноменологический подход широко применяется в естественных науках, изучающих открытые неравновесные системы, каковой является и экономика. Суть феноменологических исследований сводится к диагностике, измерению характеристик объекта или явления без жесткой привязки к какой-либо фундаментальной теории. Разумеется, любые эксперименты ориентируются на подтверждение или опровержение сформулированной гипотезы, однако гипотезы в этом случае базируются на некоторой общей феноменологической теории, описывающей характер явления, но не претендующей на исчерпывающее объяснение его механизмов.

Феноменологический подход активно используется эконофизиками в анализе финансовых временных рядов. Например, крахи на фондовых рынках весьма напоминают поведение лавины [12], а последствия этих крахов могут быть описаны законом Омори, характеризующим сейсмическую активность после землетрясения [19]. Следует отметить, что анализ биржевых рядов базируется на весьма объемных массивах данных порядка тысяч и миллионов точек. В настоящее время такая длина рядов данных во всех показателях экономического развития недостижима. Кроме того, статистический учет хозяйственной деятельности периодически меняется (например, с 2004 г. показатели экономики стали предоставляться в разрезе видов экономической деятельности, а не отраслей, как это было ранее), и после этого ряды данных расчленяются на весьма сложно сопоставимые отрезки. В случае относительно коротких временных рядов методы статистической физики не работают, тем не менее для экономических данных (в том числе и регионального уровня) можно использовать сам феноменологический подход на основе базовых математических моделей, которые имеют широкое применение в естественных науках. В качестве примера такой базовой модели можно привести феноменологическую модель роста численности населения Земли, предложенную С.П. Капицей [4].

В эконофизике выделяют следующие базовые модели: логистическая модель, модель борьбы условных информаций, модель скрытого банкротства и модель фазовых переходов [16]. Каждая из этих моделей является «выходцем» из естественных наук и может применяться для описания экономических процессов в рамках феноменологического подхода. Например, логистическая модель описывает динамику численности популяции и развитие

фирмы, модель борьбы условных информаций подходит как для анализа численности популяций типа «хищник – жертва», так и для изучения конкуренции фирм и т. д.

В список базовых моделей эконофизики не вошла экспоненциальная модель, выражающая эмпирическую закономерность остывания (нагрева) тела в однородной среде или распада радиоактивного вещества. Эта модель также использовалась для описания эволюции во времени численности биологической популяции и численности населения мира [9]. Сфера применения экспоненциальной модели может быть расширена моделированием динамики факторов производства, что дает основания рассматривать эту модель как базовую модель эконофизики.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА

Иллюстрацию применения экспоненциального уравнения к моделированию динамики экономических показателей можно провести на модели динамики факторов производства (численности занятых и стоимости основных фондов), предложенной коллективом авторов под руководством Е.Я. Фрисмана [15]:

$$\begin{cases} dP / dt = b - aP \\ dV / dt = CP - EV, \end{cases} \quad (1)$$

где P – численность занятого населения отрасли, V – основные фонды отрасли, t – переменная времени, a, b, C, E – параметры модели.

Подробнее в содержательном плане систему (1) можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} dP / dt = (b_2 - b_1) - (a_2 - a_1)P \\ dV / dt = (C_2 - C_1)P - (E_2 - E_1)V, \end{cases} \quad (2)$$

где P – численность работников, V – стоимость основных фондов, t – переменная времени, b_2 – скорость увеличения численности работников вследствие миграции и притока из других отраслей, b_1 – скорость уменьшения численности работников вследствие миграции и притока из других отраслей, a_2 – скорость убыли численности работников вследствие смертности и перехода в категорию экономически неактивного населения (достижение пенсионного возраста, сокращение штата и др.), a_1 – скорость увеличения численности работников за счет притока из категории экономически неактивного населения, C_2 – коэффициент вложения инвестиций в прирост стоимости оборудования и транспорта, C_1 – коэффициент затрат на обеспечение охра-

ны труда, E_2 – коэффициент износа основных фондов, E_1 – коэффициент инвестиций в здания и сооружения.

Первое уравнение системы (1)

$$dP/dt = b - aP \quad (3)$$

можно записать в виде:

$$dP/dt = a(\bar{P} - P), \quad (4)$$

тогда $\bar{P} = b/a$ – равновесная численность занятых, a – скорость стремления численности занятых к равновесному значению.

Система (1) имеет единственное положение равновесия (стационарную точку):

$$\bar{P} = b/a, \bar{V} = bC/aE. \quad (5)$$

Решение уравнения (4) можно записать в виде: $P(t) = \bar{P} + P_0 \exp(-at)$.

Решение второго уравнения системы (1) при $a \neq E$ имеет вид: $V(t) = \bar{V} + P_0 C \cdot \exp(-at)/(E - a) + V_0 \exp(-Et)$; при $a = E$ $V(t) = \bar{V}E/a + P_0 C t \exp(-at) + V_0 \exp(-at)$.

P_0 связано с $P(0)$ соотношением $P_0 = P(0) - \bar{P}$, аналогично $V_0 = V(0) - \bar{V} - C(P(0) - \bar{P})/(E - a)$ при $a \neq E$, $V_0 = V(0) - \bar{V}$ при $a = E$.

Сочетания различных типов динамики факторов отображается на фазовых портретах модели (табл. 1).

Таблица 1

Фазовые портреты системы (1)		
Значения параметров системы		Фазовый портрет
$a \neq E$	$a > 0, E > 0$	Устойчивый узел
	$a < 0, E < 0$	Неустойчивый узел
	$a < 0 < E$ $E < 0 < a$	Седло
$a = E$		Вырожденный узел

Источник: здесь и далее – расчеты автора.

Устойчивый узел означает, что к стационарному состоянию стремятся обе фазовые переменные, в случае седла одна переменная стремится к равновесию, другая – неограниченно растет, неустойчивый узел демонстрирует бесконечный рост обеих переменных. Наличие седла или неустойчивого узла показывает удаление траектории от равновесия, а значит в целом нелинейное развитие системы.

Следует подчеркнуть, что параметры системы (1) агрегированы и не явля-

ются количественными «измерителями» динамики факторов производства (например, такими как коэффициент эластичности для линейной эконометрической модели). Для определения количественных показателей динамики факторов производства можно обратиться к опыту аналитического исследования физических моделей, поскольку в физике довольно распространены и успешно решаются задачи расчета количественных характеристик реального процесса посредством использования коэффициентов базовых моделей.

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА: АНАЛОГИИ В ФИЗИКЕ

Для системы (1) можно обнаружить аналогичные модели из ядерной физики [17] и термодинамики [5]. Система (1) является обобщенным (усложненным) законом цепочки радиоактивного распада двух веществ A_1 и A_2 :

$$\begin{cases} dN_1 / dt = -\lambda_1 N_1 \\ dN_2 / dt = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1, \end{cases} \quad (6)$$

где N_1 и N_2 — число радиоактивных ядер веществ A_1 и A_2 соответственно, λ_1 и λ_2 — постоянные распада ядер A_1 и A_2 соответственно. Система (6) описывает превращение ядер вещества A_1 в ядра вещества A_2 с последующим его распадом в ядра третьего вещества. В экономическом смысле этот процесс может быть аналогом перехода части населения из категории занятых в категорию безработных, и наоборот.

Обращение к модели из ядерной физики дает возможность более тщательного исследования системы (1) через уже описанные в физической науке характеристики радиоактивного распада: средним временем жизни атомов τ и периодом полураспада $T_{1/2}$.

В системе (1) параметр a соответствует λ_1 и описывает скорость изменения численности занятых. По аналогии с характеристиками радиоактивного распада τ и $T_{1/2}$ можно определить среднее время уменьшения (увеличения) численности занятых на условную единицу τ_p и период двукратного уменьшения численности занятых $T_{[1/2]P}$.

Число занятых в момент времени t , прекративших трудовую деятельность в пределах интервала dt , равно $-dP$, их время пребывания в категории занятого населения составляет $-tdP$. Средний период времени уменьшения численности занятых на единицу получаем интегрированием по всему периоду: $\tau_p = 1/a$. Аналогично средний период увеличения численности занятых на единицу составляет $\tau_p = -1/a$.

Таким образом, при уменьшении численности работников параметр τ_p означает средний период времени, в течение которого численность занятых

уменьшится на единицу; при росте численности работников – усредненный период времени, за который численность занятых увеличится на условную единицу.

Следует отметить, что при бесконечном росте переменной P характеристика τ_p не определена, и имеет смысл говорить о неравновесных процессах в экономике, поскольку неограниченное увеличение величины производственных факторов в принципе невозможно.

По аналогии с периодом полураспада можно вычислить период двукратного уменьшения численности занятых: $T_{[1/2]P} = (\ln 2) / a$. В общем случае период n -кратного уменьшения численности занятых определяется:

$$T_{[1/n]P} = \frac{1}{a} \ln \frac{nP_0}{aP_0 + (1-n)b}. \quad (7)$$

Как видно, период двукратного уменьшения численности занятых зависит от начальных условий, поскольку константа вместе с нелинейным членом решения уравнения пропорционально времени не изменяется. При $a < 0$ $T_{1/2}$ будет означать период двукратного увеличения численности занятых.

Формула для расчета периода n -кратного увеличения численности занятых будет иметь следующий вид:

$$T_{[n]P} = \frac{1}{a} \ln \frac{aP_0}{nP_0 + (n-1)b}. \quad (8)$$

Поскольку функция $P(t) = b/a + P_0 \exp(-at)$ возрастающая при $P_0 a < 0$ и убывающая при $P_0 a > 0$, то при $S = P_0 a$ можно получить выражение для расчета периода n -кратного изменения численности занятых, обобщив выражения для $T_{[1/n]P}$ и $T_{[n]P}$:

$$T_{[n^{-|S|/S}]P} = \frac{1}{a} \ln \frac{n^{|S|/S} aP_0}{aP_0 + (1 - n^{|S|/S})b}. \quad (9)$$

Знак показателя $T_{[n^{-|S|/S}]P}$ не указывает на увеличение или уменьшение численности занятых, зависящих также и от начальных условий, поэтому в расчетах удобно рассматривать модуль величины $T_{[n^{-|S|/S}]P}$.

Второе уравнение в системе (1) также представляет собой закон радиоактивного распада. Коэффициент среднего времени уменьшения (увеличения) стоимости основных фондов на единицу при $a \neq E$ вычисляются по формуле:

$$\tau_v = \frac{CP_0 E + V_0 a(E - a)}{Ea(V_0(E - a) + CP_0)}, \quad (10)$$

при $a = E$

$$\tau_v = -\frac{CP_0 + aV_0}{a^2 V_0}. \quad (11)$$

В случае инверсии знаков во втором уравнении системы (1) показатель

τ_v не определен, и имеет смысл говорить о неравновесных процессах в экономике, поскольку бесконечный рост стоимости основных фондов невозможен.

Вычисление n -кратного уменьшения стоимости основных фондов при $a \neq E$ приводит к трансцендентному уравнению:

$$\frac{(E - a)(bc + V_0 a E \exp(-ET_{[1/n]V})) + P_0 a C E \exp(-T_{[1/n]V} a)}{(E - a)(bc + V_0 a E) + P_0 a C E} = 1/n. \quad (12)$$

Соответственно, для n -кратного увеличения стоимости основных фондов при $a \neq E$ уравнение имеет вид:

$$\frac{(E - a)(bc + V_0 a E \exp(-ET_{[n]V})) + P_0 a C E \exp(-T_{[n]V} a)}{(E - a)(bc + V_0 a E) + P_0 a C E} = n. \quad (13)$$

При $a = E$ для n -кратного уменьшения стоимости основных фондов справедливо уравнение

$$n \exp(-T_{[1/n]V} a) (V_0 + P_0 C T_{[1/n]V}) = V_0 + (1 - n) b C / a^2, \quad (14)$$

для n -кратного увеличения стоимости основных фондов

$$\exp(-T_{[n]V} a) (V_0 + P_0 C T_{[n]V}) = V_0 n + (n - 1) b C / a^2. \quad (15)$$

Поскольку функция $V(t)$ не является монотонной на всей области определения, то довольно затруднительно записать общее уравнение для периода n -кратного изменения стоимости основных фондов, и при расчетах показателя T_v следует использовать обе формулы. Полученные трансцендентные уравнения можно решить приближенными методами в любом математическом пакете.

Другой аналогией уравнений системы (1) в физике является закон Ньютона — Рихмана (закон конвекционного обмена), описывающий передачу тепла между телами [3]. Если внутри тела устанавливается однородная температура, то можно записать уравнение охлаждения тела:

$$dT / dt = k(T_{out} - T), \quad (16)$$

где T_{out} — температура среды, T_{in} — температура тела, коэффициент $k = \alpha S / C$, α — количество теплоты, отдаваемое с единицы поверхности за единицу времени, S — площадь тела, C — теплоемкость тела. Таким образом, температура тела приближается к температуре среды по закону: $T(t) = T_{out} + \exp(-kt)(T_0 - T_{out})$.

Процесс охлаждения тела в среде можно рассматривать как аналог процесса приближения экономической системы к состоянию равновесия спроса и предложения [6; 7] (в том числе спроса и предложения рабочей силы и капитала). Особенностью такого процесса является то, что чем больше раз-

ность температур, тем быстрее происходит стремление к термодинамическому равновесию (то есть выравниванию температур тела и среды).

Следует отметить, что для открытой системы, тем более экономической, «термодинамическое» равновесие в строгом смысле недостижимо и является абстракцией, демонстрирующей более значимую роль «внешней среды» относительно внутренних «двигателей» развития региональной экономики.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

Для верификации модели (1) использованы официальные статистические данные комитета статистики ЕАО за 2000–2009 гг. [13; 14]. Следует отметить, что в связи изменением методологии статистического учета коэффициенты модели рассчитаны по отдельным отраслям экономики в классификации ОКОНХ для периода 2000–2004 гг. и по видам экономической деятельности в классификации ОКВЭД для периода 2004–2009 гг. Изначально модель была верифицирована на данных ОКОНХ [15], при переходе статистической информации к системе ОКВЭД возникла задача проверки модели на новых данных.

Оценка параметров модели производилась методом наименьших квадратов, для проверки качества модели рассчитаны коэффициент корреляции R и средняя ошибка аппроксимации $Аср$. Как видно из таблицы 2, система (1) в целом хорошо описывает динамику факторов производства в ЕАО по отраслям экономики (в классификации ОКОНХ) [15].

Таблица 2

Оценки коэффициентов и качества модели по отраслям экономики для ЕАО

Совокупность предприятий	a	\bar{P}	R	$Аср$	C	E	R	$Аср$
Экономика в целом	0,044	137,2	0,98	1,0	0,219	0,340	0,995	1,9
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	–0,070	6,9	0,95	1,2	–0,013	–0,043	0,98	1,9
Промышленность	0,581	11,9	0,97	0,8	0,260	0,944	0,78	10,3
Строительство	0,150	5,9	0,83	4,9	–0,097	–0,08	0,95	7,9
Торговля	–0,208	8,5	0,99	2,1	0,003	0,073	0,96	11,4
Транспорт	0,499	8,2	0,86	3,8	1,043	0,254	0,997	4,2

Источник: [15].

Расчет параметров модели показывает, что в 2004–2009 гг. численность занятых в экономике ЕАО в целом относительно стабильна (табл. 3). Фактиче-

ская и модельная динамика численности занятых представлена на рисунке 1. Из таблицы 3 и рисунка 1 видно, что модельные кривые относительно хорошо аппроксимируют реальную динамику.

Таблица 3

Оценки коэффициентов и качества модели по видам экономической деятельности для ЕАО

Совокупность предприятий	a	\bar{P}	R	Asp	C	E	R	Asp
Экономика в целом	1,115	80,9	0,56	1,8	0,057	-0,091	0,987	5,4
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	0,187	12,1	0,96	0,3	0,004	0,122	0,596	6,4
Промышленность	0,583	13,8	0,39	3,1	0,197	0,988	0,538	3,9
Строительство	0,918	5,9	0,99	0,6	0,662	6,582	0,857	2,0
Торговля	0,066	12,2	0,50	0,4	0,019	1,013	0,935	2,9
Транспорт	0,644	7,5	0,65	2,6	0,173	-0,096	0,995	2,3

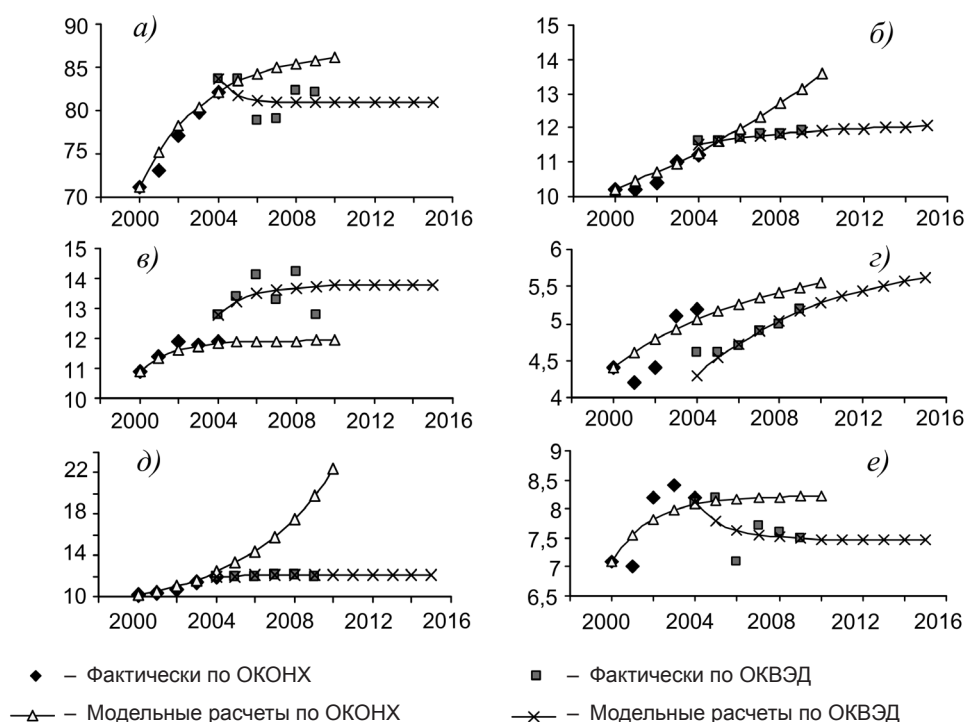


Рис. 1. Фактическая и модельная динамика численности занятых в экономике ЕАО, тыс. чел.:

а) экономика в целом, б) сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство, в) промышленность, г) строительство, д) торговля, е) транспорт

В отличие от численности занятых стоимость основных фондов в экономике в целом и на транспорте растет, что объясняется реализацией крупного инвестиционного проекта в регионе — строительством Кимкано-Сутарского горно-обогатительного комбината.

Фактическая и модельная динамика стоимости основных фондов в ЕАО представлена на рисунке 2. Относительно большие колебания показателя в промышленности объясняются спецификой развития отрасли в регионе: стоимость основных фондов промышленности может значительно изменяться вследствие ввода в эксплуатацию (или вывода из эксплуатации) крупных предприятий с дорогостоящим оборудованием.

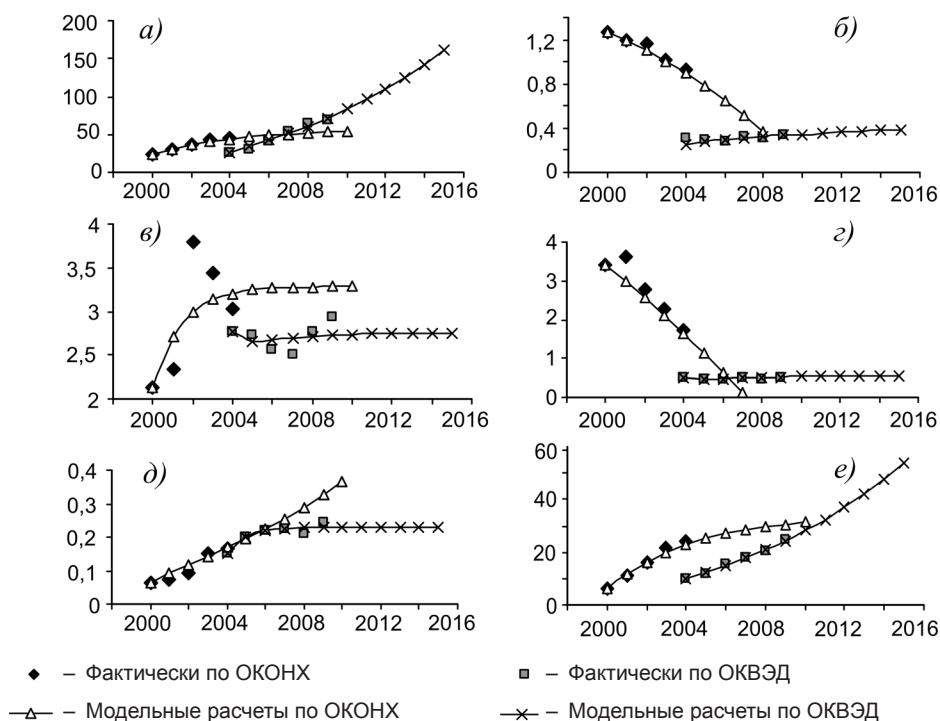


Рис. 2. Фактическая и модельная динамика стоимости основных фондов в экономике ЕАО, млрд руб.:

а) экономика в целом, б) сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство, в) промышленность, г) строительство, д) торговля, е) транспорт

Достаточно удобным средством анализа динамики основных факторов производства являются фазовые портреты. На фазовых портретах отображается семейство всевозможных траекторий динамики численности занятых и стоимости основных фондов при различных начальных значениях фазовых

переменных. Такое графическое представление модельных решений иллюстрирует наличие или отсутствие положения равновесия в модели.

Ниже приведены фазовые портреты модели (рис. 3–8) для отраслей (под литерой «а») и видов экономической деятельности (под литерой «б»). На рисунках 3–8 кроме традиционной иллюстрации траекторий (траектория с фактическими начальными значениями выделена жирной линией) отмечены отдельные точки. Точка *A* соответствует положению равновесия, точка *B* – начальным данным (для отраслей экономики – 2000 г., для видов экономической деятельности – 2004 г.), точка *C* – расчетному значению переменных (для отраслей экономики – 2010 г., для видов экономической деятельности – 2015 г.).

В таблице 4 указаны тип и координаты особой точки системы (1) для параметров, рассчитанных по соответствующим статистическим данным. Кроме этого, указано время достижения равновесия. Отметим, что эта характеристика приводится не для прогноза (фактический ряд данных недостаточен для разработки долгосрочных прогнозов), а для оценки скорости стремления к положению равновесия моделируемых факторов производства.

Таблица 4

Характеристика особых точек системы для динамики факторов производства в ЕАО

Совокупность пред-приятый	По отраслям экономики (2000–2004 гг.)			По видам экономической деятельности (2004–2009 гг.)		
	Тип особой точки	Особая точка	Время достижения равновесия, год	Тип особой точки	Особая точка	Время достижения равновесия, год
Экономика в целом	Устойчивый узел	(137,2; 88,3)	2140	Седло	(80,9; –50,4)	–
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	Неустойчивый узел	(6,9; 2,1)	–	Устойчивый узел	(12,1; 0,4)	2055
Промышленность	Устойчивый узел	(11,9; 3,3)	2015	Устойчивый узел	(13,8; 2,7)	2017
Строительство	Седло	(5,9; 68,8)	–	Устойчивый узел	(5,9; 0,6)	2050
Торговля	Седло	(8,5; 0,4)	–	Устойчивый узел	(12,6; 0,2)	2300
Транспорт	Устойчивый узел	(8,2; 33,8)	2030	Седло	(7,5; –13,5)	–

Фазовый портрет динамики факторов производства в экономике ЕАО в целом в 2000–2004 гг. имел вид устойчивого узла, в 2004–2009 гг. – вид седла с относительно быстрым ростом стоимости основных фондов и почти постоянной численностью занятых (рис. 3).

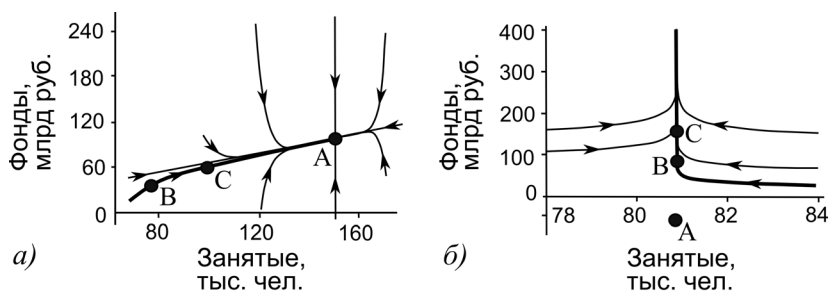


Рис. 3. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства ЕАО

Фазовый портрет для сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства ЕАО в 2000–2004 гг. имел вид седла с траекторией снижения стоимости основных фондов почти до нуля и небольшого увеличения численности занятых. Для 2004–2009 гг. фазовый портрет – устойчивый узел, означающий, что при сохранении сложившихся тенденций существенного увеличения численности занятых и стоимости основных фондов не ожидается, равновесные значения переменных, согласно расчетам, достигаются к 2055 г. (рис. 4).

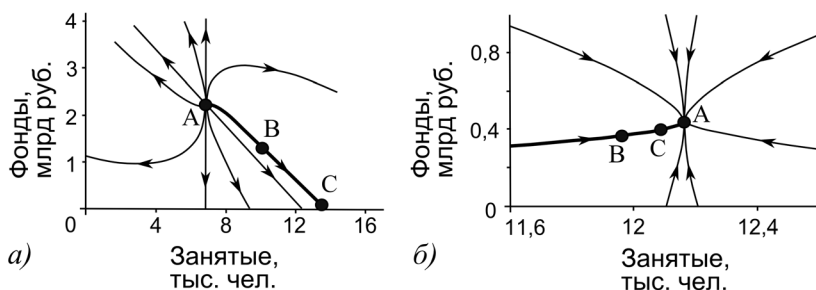


Рис. 4. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве ЕАО

Фазовый портрет для промышленности ЕАО на обоих рассматриваемых временных интервалах – устойчивый узел. В 2004–2009 гг. факторы производства достигают положения равновесия, т. е. их величины почти не изменяются (рис. 5).

Фазовый портрет для строительства ЕАО в 2000–2004 гг. имел вид седла с траекторией снижения стоимости основных фондов почти до нуля и небольшого увеличения численности занятых. Для 2004–2009 гг. фазовый портрет модели – устойчивый узел с тенденциями относительно небольшого роста величины факторов производства с достижением положения равновесия, согласно расчетам, к 2050 г. (рис. 6).

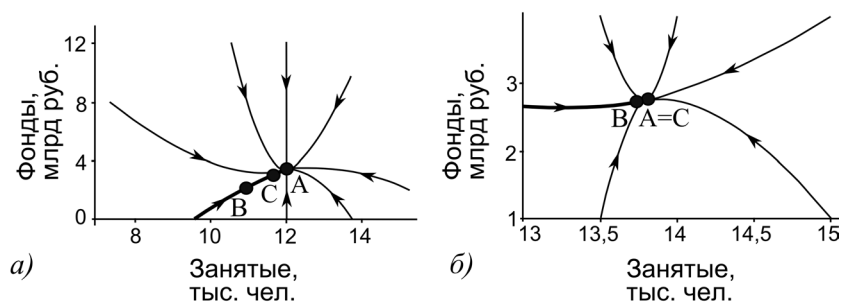


Рис. 5. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства в промышленности ЕАО

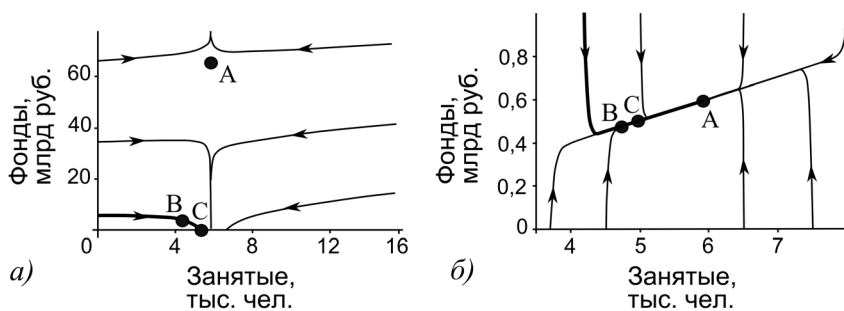


Рис. 6. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства в строительстве ЕАО

Фазовый портрет для торговли ЕАО по данным 2000–2004 гг. имеет вид седла с траекторией интенсивного роста величины факторов производства в «обход» состояния равновесия. Для данных 2004–2009 гг. фазовый портрет сменился на устойчивый узел с траекторией относительно слабого роста численности занятых и стоимости основных фондов (рис. 7).

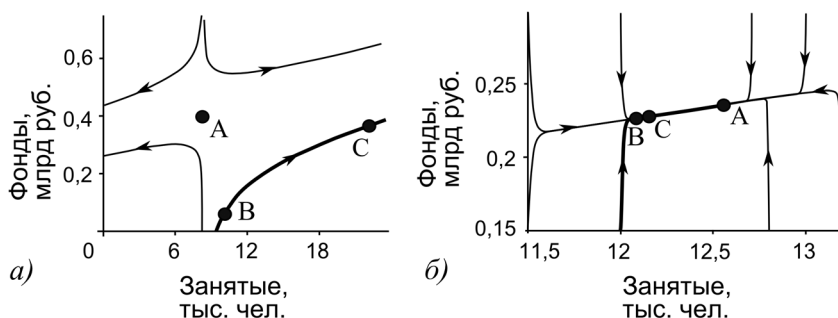


Рис. 7. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства в торговле ЕАО

Для транспорта и связи ЕАО устойчивый узел в 2000–2004 гг. сменился на седло. В 2004–2009 гг. наблюдается стремление к равновесному значению численности занятых и интенсивный рост стоимости основных фондов (рис. 8).

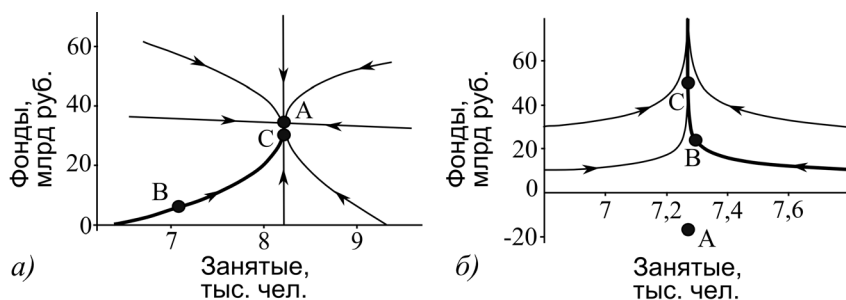


Рис. 8. Фазовый портрет системы и траектории динамики факторов производства в транспорте и связи ЕАО

Из значений дополнительных показателей динамики основных факторов производства в ЕАО (табл. 5) видно, что среднее время увеличения численности занятых на 1000 чел. τ_p по тенденциям 2000–2004 гг. составляла 22,7 лет. С 2004 г. началось уменьшение численности занятых в среднем на 1000 чел. в год ($\tau_p = 0,9$) при приближении к значению 80,9 тыс. чел. (табл. 3). Показатель τ_p остался практически неизменным в течение всего временного интервала для промышленности и строительства. Среди видов экономической деятельности наибольшее по модулю значение показателя $\tau_p = -15,1$ наблюдается в торговле в 2004–2009 гг.

Таблица 5
Дополнительные показатели динамики факторов производства в экономике ЕАО

Совокупность предприятий	По отраслям экономики (2000–2004 гг.)				По видам экономической деятельности (2004–2009 гг.)			
	τ_p	$T_{[5/4]P}$	τ_v	$T_{[2]V}$	τ_p	$T_{[5/4]P}$	τ_v	$T_{[2]V}$
Экономика в целом	-22,7	7,1	-17,8	5,1	0,9	—	—	3,25
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	—	8,1	—	6,2	-5,3	—	-8,9	—
Промышленность	-1,7	—	-1,5	—	-1,7	—	-27,7	—
Строительство	-6,7	9,3	—	3,9	-6,4	7,1	-9,7	—
Торговля	—	4,5	—	2,4	-15,1	—	-8,5	—
Транспорт	-2,0	—	-4,3	1,1	1,6	—	—	3,6

Среднее время прироста стоимости основных фондов в экономике ЕАО по данным 2000–2004 гг. на 1 млрд руб. составляла 17,8 лет, по тенденциям

2004–2009 гг. для сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства и торговли приблизительно одинаков: –8,9 и –8,5 соответственно, для промышленности и строительства –27,7 и –9,7 соответственно.

Из таблицы 4 также видно, что прирост численности занятых с 2000 г. на 25% происходит на протяжении 4,5–9,3 лет, в промышленности и транспорте численность занятых существенно не увеличивается. С 2004 г. увеличение численности занятых на четверть наблюдается, по расчетам, лишь в строительстве в 2011 г.

Двукратное увеличение стоимости основных фондов с 2000 г. происходит во всех рассматриваемых отраслях, кроме промышленности, в течение 6 лет. С 2004 г. удвоение стоимости основных фондов может наблюдаться в экономике в целом и на транспорте к 2007–2008 гг., в остальных видах экономической деятельности таких тенденций не отмечается.

Таким образом, значительное увеличение стоимости основных фондов в «обход» положения равновесия позволяет полагать наличие неравновесного состояния экономики ЕАО, что, вероятнее всего, связано с реализацией инвестиционных проектов и стремлением выйти на качественно новую траекторию развития.

Поскольку параметры модели оценены на данных 2004–2009 гг., представляет интерес сравнение расчетных значений и уже доступных фактических данных 2010 г. (численность занятых в ЕАО по видам экономической деятельности в 2010 г.).

Модуль отклонения расчетных данных от статистических не превышает 1,4 тыс. чел. (табл. 6). Прогноз оказался полностью адекватен сведениям по численности работников в экономике ЕАО в целом, в торговле и на транспорте. Относительно большие отклонения расчетных данных от фактических в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве и промышленности могут быть в целом объяснены перетоками занятых между видами экономической деятельности.

Таблица 6

**Отклонение прогнозных значений численности занятых
в экономике ЕАО от фактических в 2010 г., тыс. чел.**

Совокупность предприятий	Фактически	Прогноз	Модуль отклонения	Ошибка аппроксимации, %
Экономика в целом	81,3	80,1	1,2	0,5
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	10,6	11,9	1,3	12,5
Промышленность	12,3	13,7	1,4	11,8
Строительство	6,7	5,3	1,4	21,3
Торговля	12	12,1	0,1	0,5
Транспорт	7,3	7,5	0,2	2,4

Для среднесрочного периода (3–5 лет) модель (1) вполне адекватно описывает динамику основных факторов производства в ЕАО и может достаточно эффективно применяться в условиях дефицита статистических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональная экономическая динамика имеет существенные отличия от макроэкономических процессов. Если глобальная экономическая динамика в рамках феноменологического подхода хорошо описывается логистической моделью с интервалами накопления, интенсивного роста и насыщения, то в ряде случаев в региональной динамике отсутствует стадия накопления: процессы развиваются интенсивно с момента принятия управленческого решения и привлечения необходимых ресурсов. Любое внешнее влияние в экономику региона (миграция, инвестиции и т. д.) в итоге приводит к выходу на новый устойчивый уровень регионального развития, при котором замедляется экономический рост. Такой характер региональной динамики может объяснить возможности применения экспоненциальной модели к описанию некоторых экономических процессов в регионе.

Безусловно, экспоненциальная модель в некоторых случаях является удачной аппроксимацией лишь отрезка циклической региональной динамики, которую необходимо исследовать более сложными моделями, обеспеченными длинными временными рядами данных. Тем не менее применение базовых моделей в рамках феноменологического подхода для описания региональной динамики представляется довольно перспективным в изучении закономерностей открытых социально-экономических процессов региона при наличии коротких временных рядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и моделирование глобальной динамики / Отв. ред. А.В. Коротаев, С.Ю. Малков, Л.Е. Гринин. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 352 с.
2. Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: Исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 320 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 415 с.
4. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Едиториал УРСС, 2003. 288 с.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
6. Маневич В.Е. Кейнсианская теория и российская экономика. М.: Наука, 2008. 221 с.

7. Метелёв С.Е. Международная трудовая миграция и развитие российской экономики. Омск: Редакция журнала «Омский научный вестник», 2006. 336 с.
8. Минакир П.А., Демьяненко А.Н. Пространственная экономика: эволюция подходов и методология // Пространственная экономика. 2010. № 2. С. 6–32.
9. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов / под ред. И.В. Ильина, Д.И. Трубецкого. М.: Изд-во Московского ун-та, 2010. 412 с.
10. Полтерович В.М. Кризис экономической теории // Экономическая наука современной России. 1998. № 1. С. 46–66.
11. Системный мониторинг: Глобальное и региональное развитие / отв. ред. Д.А. Халтурина, А.В. Коротаев. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 296 с.
12. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах. М.: Интернет-Трейдинг, 2003. 394 с.
13. Статистический ежегодник Еврейской автономной области: стат. сб. В 2 ч., ч. 1 / Еврстат. Биробиджан, 2006. 210 с.
14. Статистический ежегодник Еврейской автономной области: стат. сб. / Еврстат. Биробиджан, 2011. 282 с.
15. Фрисман Е.Я., Хавинсон М.Ю., Аносова С.В., Фишман Б.Е., Петров Г.И. Системная динамика регионального развития: подходы к моделированию блока экономики (на примере Еврейской автономной области) // Пространственная экономика. 2007. № 3 (11). С.134–146.
16. Чернавский Д.С., Старков Н.И., Малков С.Ю., Косе Ю.В., Щербаков А.В. Об эконофизике и ее месте в современной теоретической экономике // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 7. С. 767–773. DOI: 10.3367/UFNe.0181.201107i.0767.
17. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. 729 с.
18. Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории / под ред. В.В. Харитоновой и А.Л. Ежова. М.: МИФИ, 2007. 624 с.
19. Bouchaud J.-P. Economics Needs a Scientific Revolution // Nature. 2008. V. 455. P. 1181.
20. Cockshott W.P., Cottrell A.F. Classical Econophysics. Routledge, 2009. 364 p.
21. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. Prediction of Foreign Labor Migration Dynamics at the Regional Level // Studies on Russian Economic Development. 2013. Vol. 24. No. 2. P. 170–178. DOI: 10.1134/S1075700713020068.
22. Mantenga R.N., Stanley H.E. Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance. Cambridge University Press, 2000. 147 p.

DYNAMICS OF PRODUCTION FACTORS IN REGIONAL ECONOMY: ECONOPHYSICAL APPROACH

M.Yu. Khavinson

Khavinson Mikhail Yuryevich — Ph.D. in Economics, Research Fellow, Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, 4 Sholom-Aleiheem Street, Birobidzhan, Russia, 679016. E-mail: havinson@list.ru.

The article discusses possibilities of applying basic mathematical models to describe economic dynamics. Basic models are generally used in Econophysics (scientific direction which was formed

at the intersection of Economics and Physics) for the analysis of macroeconomic dynamics. The author proposes to extend the list of basic Econophysics models with the help of exponential model. Now this list consists of a logistic model, a model of conventional information struggle, a hidden bankruptcy model and a model of phase transitions. The exponential model, which expresses the empirical regularities of cooling (heating) of a body in the homogeneous environment and radioactive decay and also describes the evolution in time of biological populations and the world population, is conceptually ideal for simulation of the medium-term regional dynamics. The author illustrates application of the exponential model to the description of regional economic dynamics with the help of the model of production factors dynamics (the number of employees and the value of capital assets). The researcher verifies the model on the basis of statistical data of the Jewish Autonomous region. The results show that the region's overall number of employees and the number by type of economic activity reaches stationary values in a similar way with dynamics of temperature of a heated body in a homogeneous environment. The value of capital assets of the region sometimes varies according to the law of radioactive decay.

Keywords: basic model, Econophysics, phenomenological approach, exponential model, equation of heat transfer, law of radioactive decay, production factors, Jewish Autonomous Region.

REFERENCES

1. *Analysis and Modeling of Global Dynamics*. Edited Korotaev A.V., Malkov S.Yu., Grinin L.E. Moscow, 2010, 352 p. (In Russian).
2. Belotelov N.V., Brodskiy Yu.I., Pavlovskiy Yu.N. *The Complexity. Mathematical Modeling. Humanitarian Analysis: a Study of the Historical, Military, Socio-Economic and Political Processes*. Moscow, 2009, 320 p. (In Russian).
3. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Heat Transfer*. Moscow, 1981, 415 p. (In Russian).
4. Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P., Malinetskiy G.G. *Synergetics and Forecasts of the Future*. Moscow, 2003, 288 p. (In Russian).
5. Kutateladze S.S. *Fundamentals of the Theory of Heat Transfer*. Moscow, 1979, 416 p. (In Russian).
6. Manevich V.E. *Keynesian Theory and the Russian Economy*. Moscow, 2008, 221 c. (In Russian).
7. Metelev S.E. *International Migration and Development of the Russian Economy*. Omsk, 2006, 336 p. (In Russian).
8. Minakir P.A., Demyanenko A.N. Spatial Economics: the Evolution of Approaches and Methodology. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2010, no. 2, pp. 6–32. (In Russian).
9. *Modeling of Nonlinear Dynamics of Global Processes*. Edited by I.V. Il'in, D.I. Trubetskov. Moscow, 2010, 412 p. (In Russian).
10. Polterovich V.M. Crisis of Economics. *Ekonomicheskaya Nauka Sovremennoy Rossii* [The Economic Science of Contemporary Russia], 1998, no. 1, pp. 46–66. (In Russian).
11. *System Monitoring: Global and Regional Development*. Edited by D.A. Khalturin. Moscow, 2010, 296 p. (In Russian).
12. Sornette D. *Why Stock Markets Crash (Critical Events in Complex Financial Systems)*. Moscow, 2003, 394 p. (In Russian).
13. *Statistical Yearbook of the Jewish Autonomous Region: Statistical Collection at 2 parts. Part 1*. Evrstat. Birobidzhan, 2006, 210 p. (In Russian).
14. *Statistical Yearbook of the Jewish Autonomous Region: Statistical Collection*. Evrstat. Birobidzhan, 2011, 282 p. (In Russian).
15. Frysman, E.Ya., Khavinson M.Yu., Anosova S.V., Fishman E.B., Petrov G.I. Sys-

tems Dynamics of Regional Growth: Approaches to Modeling of the Block of Economy (on an Example of the Jewish Autonomous Region). *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2007, no. 3 (11), pp. 134–146. (In Russian).

16. Chernavskii D.S., Starkov N.I., Malkov S.Yu., Kosse Yu.V., Shcherbakov A.V. On Econophysics and its Place in Modern Theoretical Economics. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk = Physics-Uspekhi*, 2011, vol. 181, no. 7, pp. 767–73. (In Russian). DOI: 10.3367/UFNe.0181.201107i.0767.

17. Shirokov Yu.M., Yudin N.P. *Nuclear Physics*. Moscow, 1980, 729 p. (In Russian).

18. *Econophysics. Modern Physics at Search of Economic Theory*. Edited by V.V. Kharitonov, A.L. Ezhov. Moscow, 2007, 624 p. (In Russian).

19. Bouchaud J.-P. Economics Needs a Scientific Revolution. *Nature*, 2008, vol. 455, pp. 1181.

20. Cockshott W.P., Cottrell A.F. *Classical Econophysics*. Routledge, 2009, 364 p.

21. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. Prediction of Foreign Labor Migration Dynamics at the Regional Level. *Studies on Russian Economic Development*, 2013, vol. 24, no. 2, pp. 170–178. DOI: 10.1134/S1075700713020068.

22. Mantenga R.N., Stanley H.E. *Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, 2000, 147 p.