

Экономическая политика и хозяйственная практика

Базовая модель механизма управления технологическим развитием*

© К.А. Багриновский, М.К. Исаева, 2002

В статье рассматриваются вопросы управления технологическим развитием при помощи комплекса экономико-математических моделей. Центральным в системе является блок моделей, формирующий инвестиции на различные цели (в том числе на НИОКР) со стороны как государства, так и частных производителей.

1. Постановка задачи и программа ее решения

Механизм управления технологическим развитием экономики основан на сочетании и взаимодействии государственного регулирования, инновационного бизнеса и его рыночной инфраструктуры, а также фундаментальных и прикладных научных исследований в области высоких современных технологий. Основная сложность создания такого механизма состоит в определении средств и способов, обеспечивающих эффективную реализацию научно-технических программ разработки и освоения наукоемких ресурсосберегающих технологий и

позволяющих промышленным предприятиям осуществлять экономичный производственный цикл в режиме расширенного воспроизводства (Багриновский, 2001).

Для решения этой проблемы была разработана программа, которая включает:

а) разработку экспериментальной имитационной модели взаимодействия органов государственного регулирования и рыночных сил для определения и отработки возможных вариантов более существенного включения рыночных элементов в общий процесс повышения научно-технологического уровня наукоемкого производства;

б) исследование макроэкономических и отраслевых данных с целью определения

* Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 02-02-00018а).

уровня взаимной дополняемости государственного регулирования, инновационного бизнеса и сферы научных исследований в российской экономике;

в) создание и использование имитационной модели взаимодействия и взаимного дополнения трех основных элементов механизма управления технологическим развитием;

г) разработку и сравнение возможных сочетаний указанных элементов с эффективной работой хозяйствующих субъектов на базе применения прогрессивных производственных технологий;

д) создание методов стимулирования участников механизма научно-технологического развития для повышения эффективности его работы.

Опишем составные части комплекса экономико-математических моделей, при помощи которого можно произвести исследование свойств механизма управления технологическим развитием.

1) **Динамическая многоотраслевая модель воспроизводства** состоит из n уравнений, каждое из которых отражает динамику изменения основных производственных фондов (капитала K_j) в отрасли j в годовом исчислении. В ней учитывается выбытие фондов и отражается процесс инвестирования средств, поступающих из различных источников для восполнения и модернизации основных фондов отраслей. Все расчеты по этой модели производятся в избранной системе неизменных цен.

2) **Модели формирования отраслевых доходов** определяют объемы валового внутреннего продукта (Y_j) в каждой отрасли. В качестве основного инструмента здесь используются отраслевые производственные функции (ОПФ). Далее с помо-

щью специальных моделей производится распределение доходов по следующим направлениям: доходы населения (оплата труда и участие в прибылях частного сектора, W), доходы государства (налоги и прибыли государственных предприятий, G), доходы частного сектора (прибыли частных предприятий E).

3) На основе данных о доходах населения строятся **модели формирования спроса населения** (D_j) на конечную продукцию каждой отрасли, в которые в качестве параметров входят в том числе цены (p_j). Таким образом, уравнения спроса населения имеют вид $D_j = D_j(W, p_j)$. Далее, исходя из величины доходов государства, по специальным моделям определяются объемы государственных заказов (GD_j) на продукцию каждой отрасли.

4) По **моделям рыночного взаимодействия** находят цены равновесия на рынках продуктов, которые пользуются спросом у населения. При этом предложение S_j на каждом конкретном рынке – это функция, зависящая от объема конечной продукции отрасли Y_j и ее цены p_j . Таким образом, основное уравнение для нахождения цен равновесия имеет вид:

$$D_j(W, p_j) = S_j(Y_j, p_j), \quad j = 1, \dots, n.$$

В некоторых модификациях модели применяется расчетная схема постепенного приближения к ценам равновесия, которая позволяет получить более плавную траекторию изменения цен во времени.

5) **Модель альтернатора** используется для описания процесса изменения предпочтений в среде частных инвесторов. Согласно известной теории экономического развития (Шумпетер, 1982), частные инвесторы делятся на две группы: экспансионисты

стов (сторонников расширения существующего производства, инвесторов *E*-типа) и рационализаторов (сторонников внедрения новшеств и других изменений, инвесторов *R*-типа), причем изменение численности каждой подгруппы может быть однократным связанным с внесением изменений в производимую продукцию или в технологию производства только у одного инвестора, а может быть и многократным.

Существенную роль в модели играет параметр, который описывает предпочтения инвестора. Положительные значения параметра говорят о предпочтении инвесторов переходу к инвестициям *E*-типа, а отрицательные – о переходе к инвестициям *R*-типа. Этот параметр (альтернатор) зависит от времени и имеет важное значение при формировании циклического поведения механизма научно-технического развития. В качестве выходной переменной используется величина индекса, равная отношению разности между объемами инвестиций *E*-типа и *R*-типа к их сумме.

Можно показать (Занг, 1999), что при выполнении некоторых разумных предположений динамика альтернатора и индекса достаточно точно описывается системой двух дифференциальных уравнений первого порядка, которая и является основной частью данной модели.

6) **Группа моделей формирования объемов инвестиций** по отраслям и направлениям использования состоит из:

– моделей распределения государственных инвестиционных ресурсов по отраслям и направлениям, позволяющих рассчитать объемы вложений в основные производственные фонды отраслей, представленных в многоотраслевой динамической модели, а также инвестиции в НИОКР; в результате

вычислений по моделям находятся величины государственных инвестиций в отрасли GI_j , а также вложения в НТП GR_j .

– моделей распределения инвестиционных ресурсов рыночного сектора, позволяющих определить объемы инвестиций в капиталы отраслей и на развитие и поддержку НТП; в результате будут получены величины вложений в отрасли EI_j , а также инвестиций в НИОКР ER_j .

Суммируя полученные данные, найдем совокупные объемы вложений в основные фонды отраслей I_j , а также объем инвестиций в НТП R_j , которые используются в многоотраслевой модели.

7) **Модели, отражающие влияние НТП** на выпуск продукции производственными отраслями, в большинстве случаев имеют вид степенных производственных функций, коэффициенты которых являются монотонно возрастающими функциями от уровня вложений в НТП. В этой части используются текущие значения производственных факторов по отраслям, а также выходные данные моделей формирования инвестиций, а именно величины R_j . В результате полностью готово описание центрального блока многоотраслевой динамической модели, по которому может быть произведен расчет валовой продукции отраслей комплекса.

8) **Модели адаптивного регулирования** уровней производства отраслей предназначены для непосредственного изменения параметров в ходе процесса, происходящего в условиях неопределенности. Для устранения неопределенности применяются специальные методы оценки параметров, основанные на сравнении фактических и планируемых (прогнозируемых) результатов работы объекта или расчетов по модели.

2. Алгоритмы базовой модели

Динамика изменения основных производственных фондов для каждого временного периода рассчитывается с учетом их выбытия и направления инвестиций из различных источников на их восполнение и модернизацию. Овеществление этих инвестиций производится с учетом временного лага:

$$K_{j,t} = (1 - m) K_{j,t-1} + l I_{j,t} + (1 - l) I_{j,t-1}, \\ j = 1, 2,$$

где m – коэффициент выбытия фондов; l – коэффициент временного лага. В расчетах участвуют две агрегированные отрасли, выпускающие продукты потребления ($j = 1$) и средства производства ($j = 2$).

Для вычисления объемов валового внутреннего продукта, производимого в каждой отрасли, использовались следующие производственные функции:

$$Y_{j,t} = f_{j,t} K_{j,t}, \quad j = 1, 2,$$

где $Y_{1,t}$ – выпуск продуктов потребления; $Y_{2,t}$ – выпуск средств производства; $f_{j,t}$ – коэффициент фондоотдачи; $K_{j,t}$ – фонды производства.

Коэффициент фондоотдачи определяется с учетом старения оборудования и направлений инвестиций на технологическое развитие производства.

$$f_{j,t} = f_{j,t-1} (1 - \chi) \left(1 + \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot I_{3,t}}{I_{1,t} + I_{2,t} + I_{3,t}} \right),$$

где χ – коэффициент старения оборудования; $I_{1,t}$ и $I_{2,t}$ – инвестиции, направляемые на восполнение фондов в производстве продуктов потребления и средств производства соответственно; $I_{3,t}$ – инвестиции, направляемые на технологическое развитие.

Формирование этих средств будет описано ниже. Предположим, что инвестиции, направленные на технологическое развитие, делятся в равных пропорциях между двумя отраслями производства. Теперь после вычисления общего объема валового внутреннего продукта

$$Y_t = \sum_{j=1}^2 Y_{j,t}$$

можно найти выражения для распределения доходов по следующим направлениям: доходы населения (оплата труда и участие в прибылях частного сектора) $W_t = w Y_t$; доходы государства (налоги и прибыли государственных предприятий) $G_t = g Y_t$; доходы частного сектора (прибыли частных предприятий) $E_t = e Y_t$, где $w + g + e = 1$, а также получить темп роста валового внутреннего продукта $r_t = Y_t / Y_{t-1}$.

Для моделей рыночного взаимодействия рассматриваются два варианта нахождения цен равновесия из условия равенства спроса и предложения на рынке и схема неравновесных цен, позволяющая приближаться к ценам равновесия.

На рынке предметов потребления ($j = 1$) считается, что все доходы населения W_t будут представлены в спросе:

$$D_{1,t} = \frac{a_1 W_t}{p_{1,t}},$$

а все произведенные товары потребления будут предложены на рынке:

$$S_{1,t} = p_{1,t} Y_{1,t}.$$

Из условия равновесия $D_{1,t} = S_{1,t}$ равновесная цена на товары потребления составит:

$$\tilde{p}_{1,t} = \sqrt{\frac{a_1 W_t}{Y_{1,t}}}.$$

Аналогично можно определить цену на рынке средств производства, за исключением того, что государство только часть своего дохода G тратит на этом рынке в форме государственного заказа:

$$GD_t = \delta G_t \quad (\delta < 1),$$

тогда $D_{2,t} = \frac{a_2 GD_t}{p_{2,t}}, \quad S_{2,t} = p_{2,t} Y_{2,t}$

и равновесная цена на средства производства составит

$$\tilde{p}_{2,t} = \sqrt{\frac{a_2 GD_t}{Y_{2,t}}}.$$

В схеме неравновесных цен текущие цены определяются из соотношения:

$$p_{j,t+1} = p_{j,t} + \tau_j (D_{j,t+1} - S_{j,t+1}), \quad \tau > 0,$$

что для нашего случая имеет вид:

$$p_{1,t+1} = p_{1,t} + \tau_1 \left(\frac{a_1 W_{t+1}}{p_{1,t}} - p_{1,t} Y_{1,t+1} \right),$$

$$p_{2,t+1} = p_{2,t} + \tau_2 \left(\frac{a_2 GD_{t+1}}{p_{2,t}} - p_{2,t} Y_{2,t+1} \right).$$

Центральным блоком системы является блок моделей, формирующих инвестиции на различные цели. Как уже указывалось выше, этот процесс происходит по нескольким направлениям. Государство, за вычетом уже потраченных денег на рынке средств производства GD_t , и частные инвесторы распределяют свои доходы на восполнение и модернизацию производственных фондов в сфере производства товаров потребления и в сфере производства средств производства ($i = 1, 2$), а также выделяют определенные инвести-

ции на технологическое развитие этих сфер ($i = 3$). Доходы государства и частного сектора делятся следующим образом:

$$G_t = GD_t + GI_{1,t} + GI_{2,t} + GI_{3,t},$$

$$E_t = EI_{1,t} + EI_{2,t} + EI_{3,t}.$$

Таким образом, определяются инвестиции по трем направлениям:

$$I_{i,t} = GI_{i,t} + EI_{i,t}, \quad i = 1, 2, 3, \quad \text{где}$$

$$GI_{i,t} = \alpha_i - G_t, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \delta = 1,$$

$$EI_{i,t} = \beta_i - E_t, \quad \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1.$$

Понятно, что пропорции такого распределения доходов (коэффициенты $\alpha_i, \beta_i, \delta$) влияют на величины инвестиций, направляемых на различные цели, что в конечном счете сказывается на величине валовых выпусков и получении доходов государством и частными производителями.

Предположим, что государство распределяет свои инвестиции фиксированными долями. Тогда, меняя соотношение между α_3 и δ , оно может играть регулируемую роль как на рынке средств производства, так и в направлении научно-технического развития страны. Проведенные расчеты подтверждают этот тезис.

Теперь постараемся понять, как происходит распределение прибыли частными производителями. Понятно, что им выгодно наращивать мощности производства товаров потребления или средств производства в зависимости от цен на рынке, что указывает производителю направление вложения будущих инвестиций (соотношение β_1 и β_2), тем самым увеличивая его прибыль. Согласно теории экономического развития (Шумпетер, 1982), такие производители относятся к группе экспансион-

стов (инвесторы E -типа). Но одновременно существуют и инвесторы-рационализаторы (инвесторы R -типа). В качестве характеристики предпочтений деятельности инвестора может служить отношение разности между объемами инвестиций E -типа и R -типа к их сумме.

$$\begin{cases} xN = \frac{E - R}{E + R}, \\ E + R = I. \end{cases}$$

Решив эту систему уравнений, получим:

$$E = \frac{(1 + xN)I}{2}, \quad R = \frac{(1 - xN)I}{2}.$$

В нашем случае решение имеет вид:

$$E = (\beta_1 + \beta_2) E_t, \quad R = \beta_3 E_t.$$

Как показано в (Занг, 1999), такое поведение инвестора (динамика альтернатора) может быть описано системой двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\omega |x_1|^\alpha \text{sign } x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} = \omega x_2, \quad \alpha > 0. \end{cases}$$

Задав конкретные значения α и начальные условия, получаем решения этой системы $x_1(t)$ и $x_2(t)$.

$$\text{Если } xN(t) = \frac{x_1(t)}{\sqrt{x_1^2(t) + x_2^2(t)}}, \text{ тогда}$$

$$\beta_3 = \frac{1 - xN(t)}{2}, \quad \beta_1 = \frac{(1 - \beta_3)p_1}{p_1 + p_2},$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1 - \beta_3,$$

β_1 и β_2 выбираются с учетом цен, сложившихся на рынке. При $\alpha = 1$ и начальных условиях $x_1(0) = 1$ и $x_2(0) = 0$ решение системы имеет вид:

$$x_1 = \cos \omega t, \quad x_2 = \sin \omega t.$$

В общем случае при решении этой системы была использована разностная схема:

$$\Delta x_1 = 0,5\tau \left\{ -\omega |x_2|^\alpha \text{sign } x_2 + \right. \\ \left. + \left[-\omega |x_2 + \omega\tau x_1|^\alpha \text{sign } (x_2 + \omega\tau x_1) \right] \right\}$$

$$\Delta x_2 = 0,5\tau \left\{ \omega x_1 + \omega \left(x_1 - \tau\omega |x_2|^\alpha \text{sign } x_2 \right) \right\}$$

Анализ результатов, полученных по приведенной разностной схеме с шагом $\tau = 0,01$ и различных значений α и ω , показал, что решение является устойчивым и может быть использовано в дальнейших расчетах β_3 . Решением данной системы на фазовой плоскости (x_1, x_2) является эллипс (с учетом ошибок вычислений), т.е. альтернатор при выборе своего предпочтения направления инвестиций выбирает точки, лежащие на границе этого эллипса (часы Шумпетера).

Таким образом, построенный комплекс моделей можно представить схемой на рис. 1.

3. Экспериментальные расчеты и их анализ

Контрольные расчеты проводились при следующих начальных условиях (в неизменных ценах): $K_{1,1} = 200$ млрд руб., $K_{2,1} = 300$ млрд руб., $m = 0,05$, $l = 0,4$, $I_{1,1} = 35$ млрд руб., $I_{2,1} = 30$ млрд руб., $f_{1,1} = 0,3$, $f_{2,1} = 0,4$, $\chi = 0,03$, $w = 0,4$, $g = 0,4$, $\varepsilon = 0,2$.

Анализ результатов с точки зрения прироста валовых выпусков показал, что направление инвестиций на технологическое развитие альтернативом с параметрами $\alpha = 1; 1,2; 1,5$ (при фиксированных $\delta = 0,5; \alpha_3 = 0,05; \alpha_1 = \alpha_2 = 0,225$) практически приводит к одинаковым результатам. Небольшие различия наблюдаются при $\alpha = 0,5$.

Увеличение роста валовых выпусков, а следовательно, и роста прибыли частных инвесторов прослеживалось в экспериментах, когда подключалось государственное регулирование, т.е. менялось соотношение δ и α_3 . Результаты такого эксперимента при $\alpha = 1,2$ представлены в таблице. Расчеты проводились в условиях

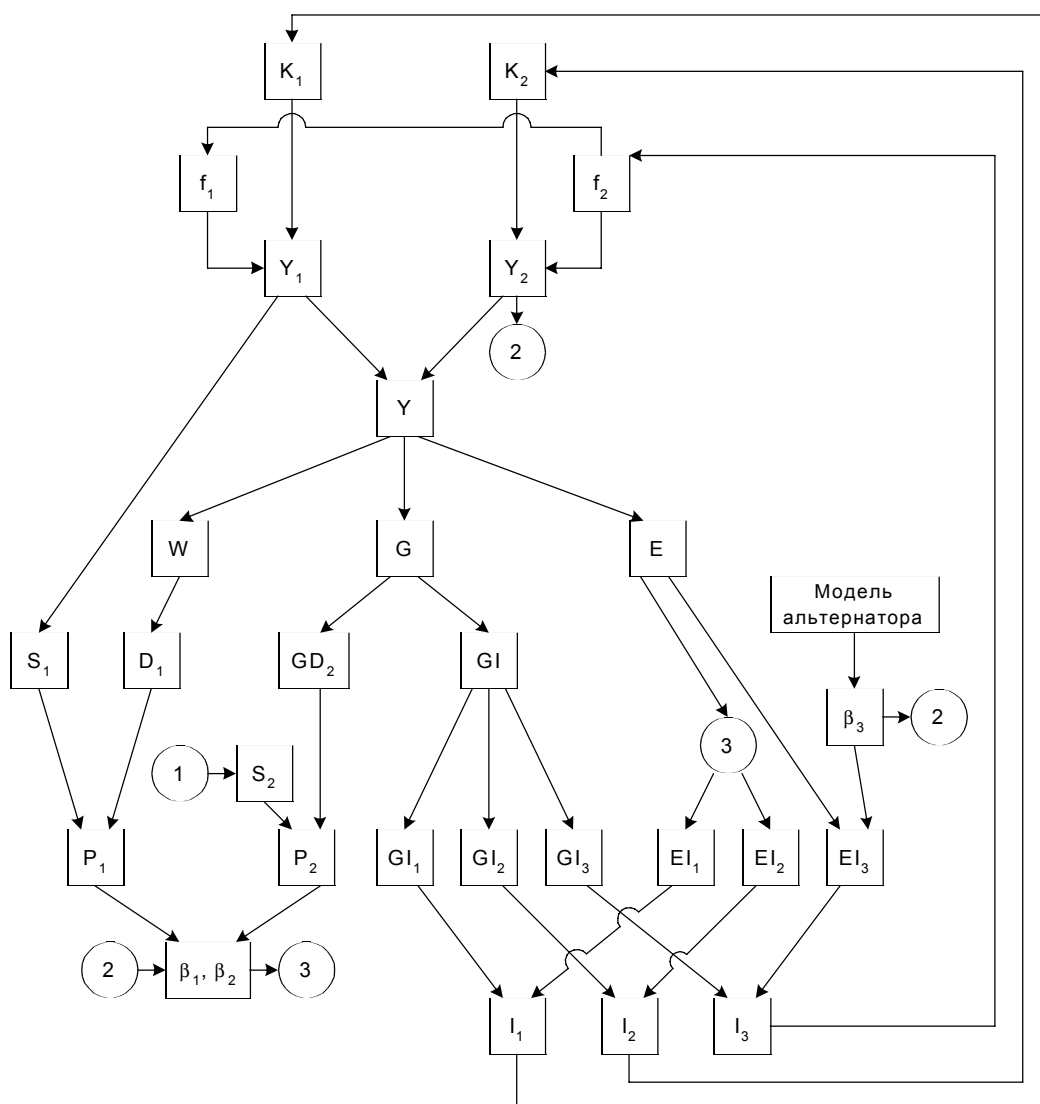


Рис. 1. Схема комплекса моделей

неравновесного рынка. Следует отметить, что модель уточнялась в процессе многочисленных экспериментов на ЭВМ и в процессе построения модели некоторые схемы отвергались и вместо них использовались более сложные алгоритмы. Так, например, вначале для численного решения системы дифференциальных уравнений была применена более простая разностная схема:

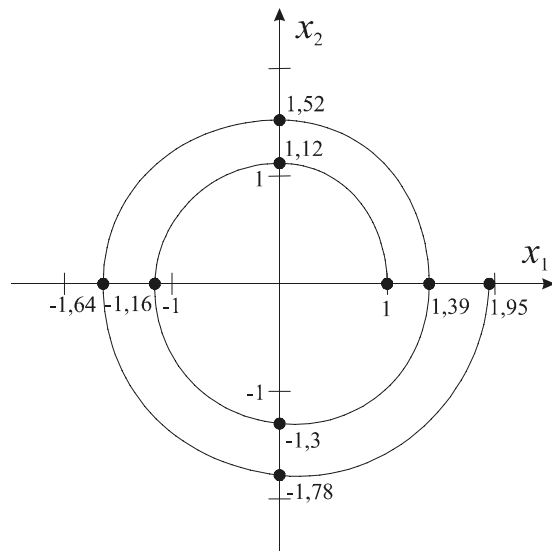


Рис. 2. Фазовая диаграмма решений уравнений альтернатора

$$\Delta x_1 = -\omega \tau |x_2|^\alpha \operatorname{sign} x_2, \quad \Delta x_2 = \omega \tau x_1.$$

Анализ полученных решений показал, что из-за накапливающихся ошибок вычислений решение системы становится неустойчивым и представляет собой раскручивающуюся спираль с увеличивающимся шагом (рис. 2).

В процессе отладки модели были проведены следующие варианты расчетов.

1. Распределение инвестиций выполняется только ЛПР с учетом анализа рынка.

2. Варианты, при которых на технологическое развитие:

а) вообще не выделялось никаких инвестиций ($\alpha_3 = \beta_3 = 0$);

б) инвестиции выделялись только государством ($\alpha_3 \neq 0, \beta_3 = 0$);

в) средства поступали только от частных инвесторов, причем это могла быть фиксированная доля (например, $\alpha_3 = 0, \beta_3 = 0,1$) или задавалось правило, которому следовал частный инвестор (например, $\alpha_3 = 0, \beta_3 = 0,1 + 0,05 \cos t$ – имитация часов Шумпетера).

г) средства выделялись как частными инвесторами, так и государством с учетом вариантов, описанных выше.

3. Варианты, описанные выше, рассчитывались в условиях равновесного и неравновесного рынков и с учетом их влияния на β_1 и β_2 .

4. Варианты, при которых предпочтение направления инвестиций определялось с помощью альтернатора (часы Шумпетера).

5. Варианты, в которых исследовалась возможность государственного регулирования на рынке средств производства и технологического развития (соотношение δ и α_3).

Таким образом, сконструированная имитационная базовая модель позволяет исследовать механизм управления технологическим развитием. Анализ проведенных экспериментальных расчетов показывает, что модель позволит определить наилучшие варианты управления технологическим развитием экономики.

Таблица

T	Рост Y					Часы Шумпетера β_3
	$\delta = 0,5$ $\alpha_3 = 0,05$	$\delta = 0,47$ $\alpha_3 = 0,08$	$\delta = 0,46$ $\alpha_3 = 0,09$	$\delta = 0,45$ $\alpha_3 = 0,1$	$\delta = 0,44$ $\alpha_3 = 0,11$	
1	1,056	1,059	1,060	1,060	1,061	0,22
2	1,058	1,060	1,060	1,061	1,061	0,70
3	1,046	1,048	1,049	1,049	1,050	0,99
4	1,033	1,035	1,036	1,036	1,037	0,85
5	1,031	1,034	1,035	1,036	1,036	0,39
6	1,042	1,045	1,047	1,047	1,049	0,003
7	1,054	1,058	1,059	1,060	1,061	0,009
8	1,059	1,062	1,063	1,064	1,065	0,52
9	1,051	1,054	1,054	1,055	1,066	0,93
10	1,037	1,040	1,040	1,041	1,042	0,95
11	1,030	1,033	1,034	1,035	1,036	0,58
12	1,036	1,041	1,042	1,043	1,045	0,13
13	1,049	1,054	1,056	1,058	1,059	0,002

Литература

1. Багриновский К.А. Проблемы самоорганизации механизма научно-технического развития // Вестник университета. Институциональная экономика. 2001. №1(2). С.129–141.
2. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982.
3. Занг В.Б. Синергетическая экономика. М.: Мир, 1999.

Статья поступила в редакцию 4.07.2002 г.