
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ЭФФЕКТ РЕЗОНАНСА В ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ –
УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

© 2011 г. А.Н. Скиба, В.А. Гарькавый

(Новороссийск)

Важнейшим проявлением неравновесности экономики является цикличность. Цикл жизни инноваций описывается S -образными логистическими функциями. Другим, не менее важным проявлением экономической динамики служит системность происходящих изменений и причинно-следственных связей. Системный эффект взаимодействия элементов производственной системы и технологических инноваций имеет синергетическую природу и возникает в результате совпадения восходящих фаз их жизненных циклов.

Ключевые слова: инновации, резонансный эффект, S -функция, синхронизация, экономическая система.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Постановка проблемы. Методологическая основа современной науки управления все в большей мере расширяется за счет подходов, до недавнего времени считавшихся нетрадиционными. Одним из них является переход от общей концепции равновесия к концепции неравновесности, учитывающей разнохарактерные процессы экономической динамики.

Руководитель Центра макроэкономической стратегии ИЭ РАН академик В.И. Маевский определил сложившуюся ситуацию следующим образом: “Существующие модели общего равновесия, как и теория стационарного экономического роста, не отражают свойства сильной неустойчивости, неравномерности, нелинейности поведения систем и отраслей. Нужны другие подходы, и нелинейные науки подсказывают их” (Маевский, 1995, с. 122–148). Такого же мнения придерживается и академик В.Л. Макаров, характеризуя наметившееся расхождение классической теории с реалиями современной экономики: “Теория общего экономического равновесия, которая в настоящее время доминирует как в науке, так и в экономическом образовании, не вполне согласуется с реальностью, по крайней мере, в ее классическом варианте...” (Макаров, 1995).

Поиск ответов на возникающие вопросы ведется в нескольких основных направлениях. Во-первых, разрабатываются теоретические основы экономики, построенные на массовом использовании новых знаний (концепция “третьей волны”, инновационной информационной, постиндустриальной, креативной и других экономик). Во-вторых, новое развитие получают институциональное и эволюционное направления экономической теории. В-третьих, переосмысливаются закономерности смены жизненных циклов новых продуктов и технологий. Наконец, становится понятным, что объективное представление экономических явлений и процессов должно строиться на основе базовых положений и принципов системного подхода. Симбиоз применяемых методов позволяет вывести проводимые исследования на новый теоретико-методологический уровень.

Действительно, классическая теория основывается на таких фундаментальных экономических явлениях, как ценовое и конкурентное равновесие, рациональное поведение и др., используя ряд упрощений и рассматривая экономические явления в основном выборочно, статично и вне связи друг с другом. В ней нет объяснений механизма системных эффектов, которые возникают в результате когерентного взаимодействия нескольких связанных между собой воздействий

и нелинейно (в частности циклично. – *Авт.*) протекающих процессов¹. В усилении неравновесности не учитывается влияния положительных обратных связей. Таким образом, понимание сути и причин нелинейности экономической динамики (и особенно инновационных процессов) вне системного подхода и концепции жизненных циклов, на наш взгляд, не может претендовать на полноту и объективность.

Основное отличие “новой системности” от версии системного подхода, наиболее развитой в трудах классиков – от Л. фон Берталанфи до М. Месаровича, состоит в переходе от эндогенной к экзогенной трактовке системы, объединяющей нормативные и дескриптивные подходы. В новой постановке под системой понимается не множество элементов, связанных между собой определенным образом (эндогенное определение), а относительно устойчивая в пространстве и во времени целостная часть окружающего мира, выделяемая по пространственным или функциональным признакам (экзогенное определение). Отсюда к числу экономических систем, наряду с предприятиями, организациями, рынками и т.д., могут быть отнесены институты и их совокупности, процессы, проекты и т.д. Именно такое понимание системы можно реконструировать из работ Я. Корнаи, Г.Б. Клейнера и других авторов (см. (Корнаи, 2002; Клейнер 2004, 2007; Ерохина, 2000)). Таким образом, “новая системность” связана с отказом от теоретико-множественной основы системы и признанием ее как некоторой части социально-экономического пространства. Рассматриваемое направление теории исследует законы поведения систем, т.е. целостностей, состоящих из элементов, объединенных связями и взаимодействиями. Это направление исходит из того, что существуют определенные особые закономерности, проявляющиеся только в результате взаимодействия связанных между собой элементов либо процессов, независимо от их физической природы.

В работах ряда известных авторов высказано предположение о возможности описания циклов жизни инноваций и моделирования процессов технологического развития с помощью S -образных функций – логистической Верхюльста, Гомпертца, модифицированной экспоненциальной и др. (Verhulst, 1838; Яблонский, 1986; Полтерович, 1998; Глазьев, 1993; Маевский, 1997; Московкин, 2002). Не приводя всей последовательности математических преобразований, укажем два источника, где вывод уравнения вида $Y = I/(1 + Ce^{-kt})$, описывающего поведение S -образной функции, выполнен в полном виде (Кондратьев, 2002, с. 503–504; Нижегородцев, 2002, с. 152). Данное уравнение позволяет достаточно точно описать динамику процессов насыщения в экономических, информационных, биологических и прочих системах, а также динамику жизненного цикла инноваций. Фактически уравнение описывает эволюцию объекта в условиях ограниченных ресурсов и конкуренции, ограничивающей рост. Заметим, что хотя приведенное уравнение позволяет лишь качественно (на концептуальном уровне) характеризовать исследуемые явления, тем не менее с его помощью можно выявлять различные нелинейные особенности изучаемых процессов, что невозможно сделать в рамках имитационных моделей. Другим его достоинством является универсальность, позволяющая оценить влияние различных эндогенных и экзогенных факторов на поведение изучаемой системы. Итак, сформулируем исходные предпосылки работы.

1. Экономика изначально неравновесна, статичные состояния ей не свойственны и возможны лишь в краткосрочном периоде. Одним из проявлений неравновесности экономики является цикличность.

2. Циклы жизни инноваций описываются S -образной функцией насыщения $Y = I/(1 + Ce^{-kt})$, позволяющей выделить фазы ускоренного роста, торможения и зрелости (логистическая функция Верхюльста).

3. Другим важнейшим свойством экономики является системность. Это означает, что свойство системы в целом (либо создаваемый ею эффект) превышает сумму свойств (либо эффектов), создаваемых элементами системы в отдельности.

¹ Впрочем, здесь есть определенная доля условности. Например, известная модель Самуэльсона–Хикса, представляющая собой линейную динамическую модель второго порядка, является синергетической при предельной склонности к сбережению $c \geq 0,75$ и коэффициенте акселерации $r \geq 1,0$. Двухсвязная линейная динамическая модель (например, линеаризованная упрощенная модель Дж. Кейнса) также при определенных значениях параметров является синергетической. См. (Колемаев, 2004, 2005).

4. Системный эффект взаимодействия нелинейных процессов, протекающих в инновационной среде, авторы связывают с одновременным нахождением всех элементов системы в фазе циклического роста. Системный эффект достигает своего максимума в результате одновременного достижения динамического максимума всеми элементами данной системы, т.е. в состоянии резонанса, условия возникновения которого пока не сформулированы.

1.2. Постановка задачи и основное определение. Исходя из выявленной проблемы и сложившихся предпосылок, сформулируем основную задачу: а) определить условия резонанса для S -образных логистических функций, описывающих циклы жизни элементов инновационной системы; б) дать экономическую интерпретацию переменных, входящих в уравнения этих процессов.

Для этого сформулируем определение резонанса для системных нелинейных процессов, описываемых S -образной функцией Верхюльста. Система находится в состоянии резонанса в момент одновременного достижения динамического максимума (первых производных) всеми элементами, входящими в ее состав. При этом считаем, что динамические свойства элементов инновационной системы характеризуются параметрами их жизненного цикла.

2. УСЛОВИЕ РЕЗОНАНСА S -ФУНКЦИЙ

Попытаемся сформулировать условие синхронизации S -функций исходя из условия одновременного достижения ими динамического максимума. Некоторое число n S -образных кривых находятся в резонансе, если максимумы их первых производных достигаются в одной точке.

Рассмотрим три произвольно взятых S -образных кривых, заданных в общем случае следующим аналитическим выражением:

$$Y_n(t) = I_n / (1 + C_n e^{-k_n t}), \quad (1)$$

где $n = 1, 2, 3$; I – параметр, определяющий предел стремления каждой из S -функций; k и C – параметры, характеризующие крутизну S -функции и ее сдвиг относительно оси абсцисс, соответственно. Параметры I , k и C , определяющие каждую из рассматриваемых S -функций, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры заданных S -функций

n	I_n	C_n	k_n
1	0,7	0,1	1
2	0,8	10	0,5
3	1	1000	1

На рис. 1 представлены графики исходных S -функций $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$ и их суммы $Y_S(t)$, а на рис. 2 – графики первых производных $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ заданных S -функций. Максимальные значения функций $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ соответствуют точкам максимальной скорости возрастания исходных S -образных кривых. Из графиков на рис. 2 видно, что своих максимумов функции $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ достигают при трех различных значениях аргумента t . Следовательно, для определения аналитического выражения, отвечающего условию резонанса нескольких произвольно взятых S -функций, необходимо найти значения аргументов t для каждой из функций, соответствующие максимумам их производных, и выразить их через параметры C и k .

Очевидно, что при этих значениях аргумента производные функций $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ (вторые производные исходных S -функций по t) будут равны нулю.

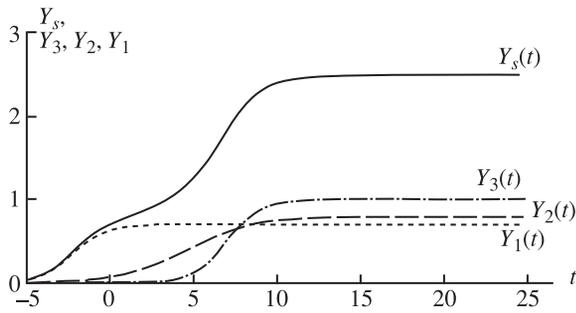


Рис. 1. Заданные S -функции $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$ и их сумма $Y_S(t)$

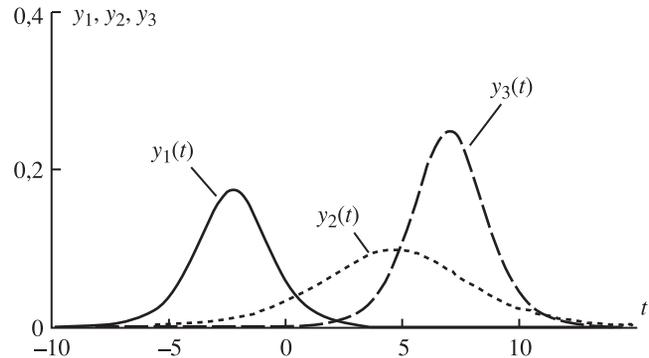


Рис. 2. Производные заданных S -функций $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$

Найдем общее решение поставленной задачи. Для этого приравняем вторую производную произвольной S -функции, заданной как $Y(t) = I_{\max} / (1 + C e^{-kt})$, к нулю и решим уравнение относительно t :

$$2 \frac{I_{\max}}{(1 + C \exp(-kt))^3} C^2 k^2 \exp(-kt)^2 - \frac{I_{\max}}{(1 + C \exp(-kt))^2} C k^2 \exp(-kt) = 0, \quad (2)$$

$$t = -\ln(1/C)/k.$$

Последнее выражение имеет ключевое значение в поиске условия резонанса нескольких S -функций, так как определяет момент t , когда скорость возрастания каждой из S -функций будет максимальной. Основываясь на приведенном ранее определении резонанса, можно утверждать, что резонанс существует при

$$\frac{-\ln(1/C_1)}{k_1} = \frac{-\ln(1/C_2)}{k_2} = \frac{-\ln(1/C_3)}{k_3} = t_0, \quad (3)$$

где t_0 – момент времени, когда скорость возрастания функции $Y_S(t)$ (сумма исходных S -функций) становится максимальной. Выражение (3) является искомым условием резонанса.

Приведение S -функций в резонанс. Из (2) видно, что значение аргумента t_0 определяется параметрами k и C , характеризующими, соответственно, крутизну S -функции и ее сдвиг относительно оси абсцисс. Следовательно, изменение одного или обоих параметров приведет к смещению точки t_0 по оси абсцисс. Таким образом, приведение нескольких S -функций в резонанс сводится к подбору таких значений k и C для каждой из них, чтобы выполнялось условие (3).

Определим, какими должны быть значения C_1 , C_2 и C_3 при неизменных k_1 , k_2 и k_3 , чтобы заданные S -функции находились в резонансе так, а максимальная скорость возрастания функций была в точке $t_0 = -3$. Для этого в (2) подставим числовые значения k и t_0 для каждой из исходных функций и решим его относительно C . Обозначим новые значения параметров C_i как C_i^1 и сведем их в табл. 2.

Таблица 2. Необходимые для резонанса значения параметров C_1^1 , C_2^1 и C_3^1

Функция	Исходный параметр C	Параметр C^1
$Y_1(t)$	0,1	0,05
$Y_2(t)$	10	0,223
$Y_3(t)$	1000	0,05

Подставим новые значения C_i^1 в исходные S -функции, обозначив последние как $Y_i^1(t)$. На рис. 3 представлены графики функций а) $Y_i^1(t)$ и их производных б) $y_i^1(t)$. Из графиков видно, что своих максимумов функции y_i^1 достигают в одной точке $t_0 = -3$, а значит, $Y_1^1(t)$, $Y_2^1(t)$ и $Y_3^1(t)$ находятся в резонансе.

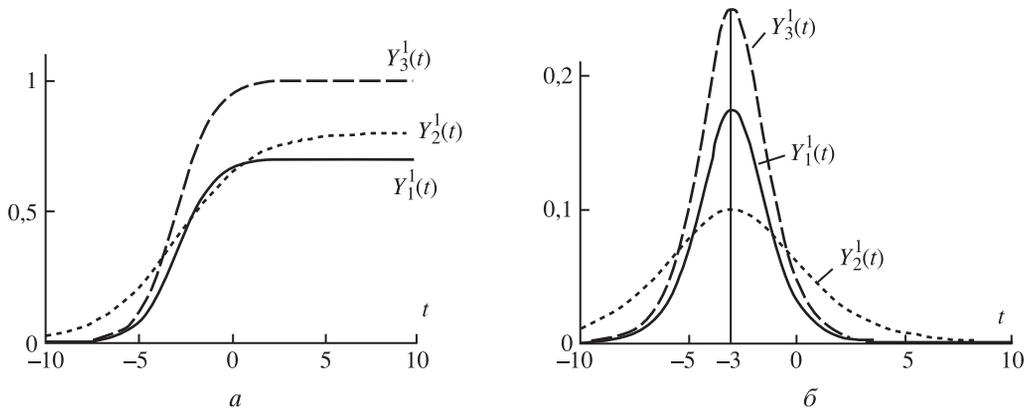


Рис. 3. Графики функций: а) $Y_1^1(t)$, $Y_2^1(t)$, $Y_3^1(t)$; б) их производных $y_1^1(t)$, $y_2^1(t)$, $y_3^1(t)$

Сравним графики функций $Y_S(t)$ и $Y_S^1(t)$ – суммы заданных S -функций до преобразования и после преобразования соответственно, представленные ниже на рис. 4. Очевидно, что обе функции стремятся к одному и тому же пределу, что объясняется тем, что исходные функции $Y_1(t)$, $Y_2(t)$ и $Y_3(t)$ непериодические и стремятся к своим пределам – 0,7; 0,8 и 1 соответственно. Однако скорость возрастания $Y_S^1(t)$ существенно больше, чем $Y_S(t)$, так как для нее соблюдено условие резонанса (3) составляющих ее компонент $Y_1^1(t)$, $Y_2^1(t)$ и $Y_3^1(t)$.

Важно отметить, что смещение S -функции по оси абсцисс нелинейно зависит от изменения параметра C так, что при произвольном значении S -функции – $Y(t)$ выражается через C :

$$t = -\ln[(Y_{\max} - Y)/YC]/k.$$

Данное выражение необходимо учитывать при преобразовании S -функций путем подбора параметра C для достижения резонанса S -функций.

Другим немаловажным свойством приведения нескольких S -функций в резонанс посредством изменения параметра C является то, что при его стремлении к бесконечности смещение функции по оси абсцисс неограниченно растет и не имеет предела. Иными словами, *всегда можно подобрать такие значения параметров C_1, \dots, C_{n-1}, C_n , при которых заданные S -функции будут находиться в резонансе.* Также следует отметить, что параметр C в выражении (2) находится под логарифмом и, следовательно, не может быть отрицательным числом.

Как отмечалось ранее, для любой пары S -функций условие резонанса может быть также удовлетворено путем подбора параметра k . Определим, какими должны быть значения k_1, k_2 и k_3 при неизменных C_1, C_2 и C_3 , чтобы заданные S -функции находились в резонансе так, а максимальная скорость нарастания функций была в точке $t_0 = 5$. Для этого в (2) подставим числовые значения C и t_0 для каждой исходной функции и решим его относительно k . Обозначим новые значения параметров k_i как k_i^1 и сведем их в таблицу (табл. 3).

Таблица 3. Необходимые для резонанса значения параметров k_1^1, k_2^1 и k_3^1 (параметр k^1 отвечает за резонанс исходных S -функций в точке $t_0 = 5$ при неизменном параметре C)

Функция	Исходный параметр k	Параметр k^1
$Y_1(t)$	1	-0,599
$Y_2(t)$	0,5	0,461
$Y_3(t)$	1	1,382

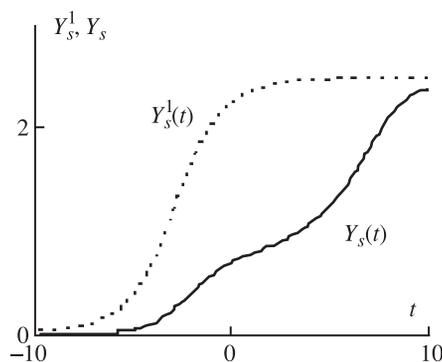


Рис. 4. Графики функций $Y_S(t)$ и $Y_S^1(t)$

Заметим, что для выполнения условия резонанса параметр k_1^1 должен иметь отрицательное значение. Как отмечалось ранее, данный параметр характеризует крутизну S -функции, т.е. скорость ее возрастания. Взятый с обратным знаком, он делает S -функцию убывающей, что в нашем случае не имеет физического смысла.

Таким образом, *существуют такие пары S -функций, для которых выполнение условия (3), достигаемого путем подбора параметра k , означает лишь совпадение по t их экстремумов и не приводит их в резонанс!* Это крайне важное замечание, которое требует дополнения к условию (3), касающегося области допустимых значений параметра k : $k \geq 0$.

Итак, проанализировав три произвольные S -функции, можно сделать следующие выводы.

1. Некоторое число n S -образных кривых находятся в резонансе, если максимумы их первых производных достигаются в одной точке.

2. Условием резонанса n произвольных S -функций является

$$\frac{-\ln(1/C_1)}{k_1} = \dots = \frac{-\ln(1/C_{n-1})}{k_{n-1}} = \frac{-\ln(1/C_n)}{k_n} = t_0.$$

3. Условие резонанса справедливо только при всех $k \geq 0$.

4. Всегда можно подобрать такие значения параметров C_1, \dots, C_n , при которых S -функции $Y_1(t), \dots, Y_n(t)$ будут находиться в резонансе.

5. Существуют такие пары S -функций, для которых выполнение условия резонанса, достигаемого путем подбора параметра k , означает лишь совпадение по t их экстремумов и не приводит их в резонанс. Иными словами, существуют такие пары S -функции, которые нельзя привести в резонанс путем подбора параметра k .

6. Ранее отмечалось, что проявление системного эффекта связано с когерентностью (однаправленностью, взаимоусилением) циклических процессов. В результате совпадение восходящих фаз жизненного цикла основных элементов системы вызывает эффект, аналогичный резонансу.

Замечание. Ранее решение данной задачи было выполнено исходя из предположения, что резонанс возникает при одновременном достижении несколькими функциями Y_1, \dots, Y_n выбранного максимума (Скиба, 2002). В обоих случаях полученные результаты полностью совпадают.

3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ I , C И k

Остается выяснить экономический смысл коэффициентов I , C и k . Для этого обратимся к данным об интенсивности распространения инноваций IV технологического уклада, полученным С.Ю. Глазьевым (Глазьев, 2007). Обобщенные статистические показатели, описывающие динамику каждого уклада, строились методом главных компонент из рядов, отобранных в качестве характерных для соответствующего уклада. Суть методики Глазьева состоит в выборке и группировке приблизительно 50 технико-технологических показателей ведущих отраслей для 10 стран за период 1951–1985 гг. Число укладов, их временная локализация и содержательная характеристика были взяты из литературы (в частности (Freeman, 1987)) и специально автором не проверялись. Следует отметить, что анализ 3, 4 и 5-го укладов, проведенный С.Ю. Глазьевым,

является по сути единственным описанным в литературе комплексным количественным исследованием технологической динамики².

Методом подбора коэффициентов I , C и k попытаемся построить графики функции $Y = I/(1 + Ce^{-kt})$, которые по внешним признакам соответствовали бы наиболее характерным из них – США и Японии. Основной целью в данном случае является не достижение их абсолютной идентичности, а оценка масштабов влияния коэффициентов I , k и C на характер изменения функции и последующее уяснение их экономического смысла. На рис. 5 представлены графики, построенные по данным табл. 4.

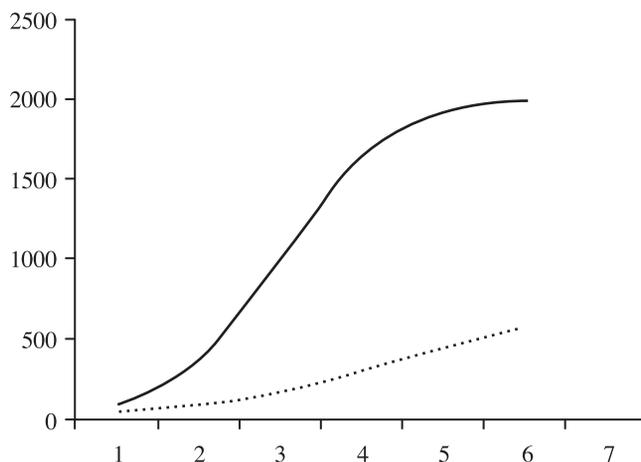


Рис. 5. Вид кривых $Y = I/(1 + Ce^{-kt})$ при различных значениях выбранных коэффициентов I , C и k

Таблица 4. Значения коэффициентов I , C и k , использованные при построении графиков на рис. 5

Y_1	Y_2	I_1	I_2	C_1	C_2	k_1	k_2	t
95,238	63,636	2000	700	20	10	0,06	0,04	0
467,24	175,16	2000	700	20	10	0,06	0,04	30
1300,3	368,84	2000	700	20	10	0,06	0,04	60
1837,8	551,6	2000	700	20	10	0,06	0,04	90
1971,5	647,78	2000	700	20	10	0,06	0,04	120
1995,3	683,49	2000	700	20	10	0,06	0,04	150

Визуальное сравнение приведенных С.Ю. Глазьевым выбранных характеристик жизненных циклов IV технологического уклада США и Японии (рис. 6) с графиками функций $Y_1 = I_1/(1 + C_1e^{-k_1t})$ и $Y_2 = I_2/(1 + C_2e^{-k_2t})$ (см. рис. 5) обнаруживает их полное сходство. отождествление каждого коэффициента с наиболее значимыми факторами инновационного роста проведем путем сопоставления макроэкономических и институциональных особенностей экономики США и Японии в рассматриваемый период времени. Далее сравним кривые жизненных циклов V технологического уклада (рис. 7) и построим аналогичные им графики функции $Y = I/(1 + Ce^{-kt})$ методом подбора и подстановки значений входящих в него коэффициентов I , k и C . При расчете кривой Y_5 (аналога кривой роста пятого технологического уклада в России), последние два значения I были увеличены нами в соответствии с ростом государственных затрат в фундаментальную науку и ведущие НИОКР в период 2002–2006 гг.

² Уточнение этой методики, состоящее в “очистке” показателей каждого уклада от присутствия предыдущих, представлено в (Синицкий, 2005, с. 18–33).

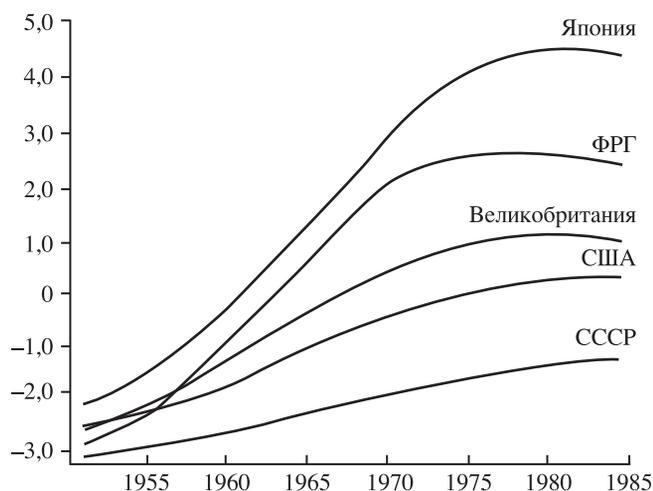


Рис. 6. Обобщенный показатель относительного роста четвертого технологического уклада
Источник: Глазьев, 2007, с. 57.

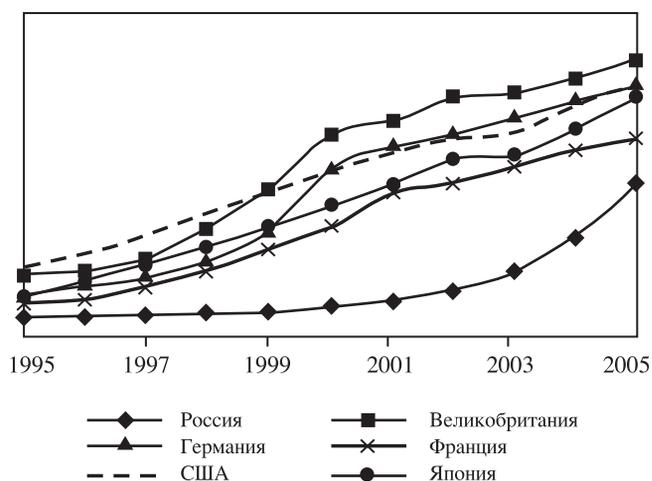


Рис. 7. Обобщенный показатель роста пятого технологического уклада в фазе зрелости
Источник: Глазьев, 2007, с. 56.

В табл. 5 содержатся значения коэффициентов, по которым строились графики, представленные на рис. 8.

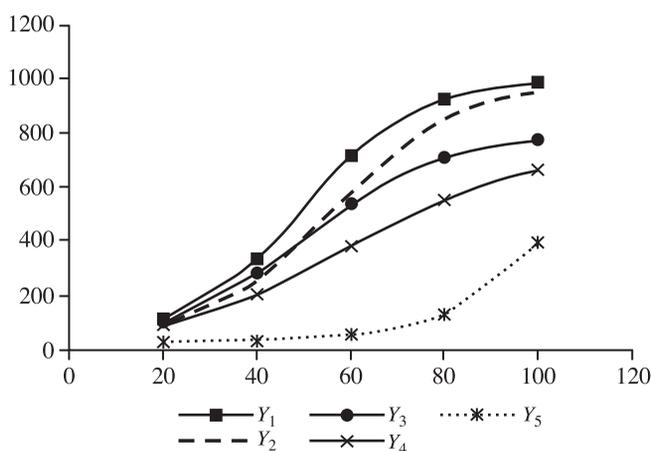


Рис. 8. Кривые жизненных циклов пятого технологического уклада, построенные по данным табл. 2

Таблица 5. Значения коэффициентов I , C и k , использованные при построении графиков на рис. 8

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	t
111	94	103	90	26	1000	900	800	750	200	40	35	25	20	10	0,08	0,07	0,065	0,05	0,02	20
332	250	282	204	37	1000	900	800	750	200	50	35	25	20	10	0,08	0,07	0,065	0,05	0,02	40
713	576	534	378	50	1000	900	800	750	200	50	35	25	20	10	0,08	0,07	0,065	0,05	0,02	60
925	847	705	551	132	1000	900	800	750	250	50	35	25	20	10	0,08	0,07	0,065	0,05	0,03	80
984	958	772	663	394	1000	900	800	750	500	50	35	25	20	15	0,08	0,07	0,065	0,05	0,04	100

Коэффициент I задает асимптотический максимум функции. Это в первую очередь – размер инвестиций или долгосрочных кредитов, которые, в конечном итоге, трансформируются в объем выпуска инновационной продукции. Сравнение кривых технологического роста США и Японии подтверждает это. Первый этап послевоенного развития Японии был обеспечен в первую

очередь массированными внешними инвестициями (в основном американскими). Дальнейший подъем происходил за счет создания ряда высокотехнологических гигантов (кейрецу), обеспечивающих бурное развитие экспорта (Иноземцев, 2000; Минакир, 2005). Наоборот, США в этот момент имели отрицательный торговый баланс, а большинство разработок выполнялось по заказам оборонного и ракетно-космического ведомств.

Влияние коэффициентов C и k на динамику процессов гораздо сложнее, учитывая множественность и взаимное влияние факторов, связанных с ними. Как видно из графиков на рис. 5, технологический рост Японии имеет более выраженный циклический характер с более четко обозначенными фазами роста, замедления и зрелости. Проанализируем причины успеха японской экономики в начале 1960-х годов. Первая – необыкновенно высокое качество продукции, завоевавшей всеобщий авторитет и признание. При относительно невысоких ценах это обеспечило устойчивый спрос и расширение рынков. Вторая – менеджмент, нацеленный на повышение эффективности производства за счет высочайшей организации и повышения производительности труда в условиях жестких ресурсных ограничений. Третья – активная поддержка государством экспортоориентированных производств. Сравним эти данные с данными американской экономики. Ее основное отличие – приоритет внутреннего спроса и нацеленность высокотехнологичных производств на его удовлетворение. Здесь просматриваются два аспекта. Политический аспект связан с гонкой за мировое лидерство в военно-технической и космической сфере, экономический – с непрерывным обновлением предложения как способом активизации рыночных сил. Здесь проявляется основной принцип американцев: “конкуренция – двигатель экономики”. Следуя этому принципу, действия правительства концентрируются на создании эффективного рынка и развитии форм государственно-корпоративного сотрудничества.

Попытаемся связать все это с коэффициентом k , приняв во внимание, что для функций спроса (т.е. диффузии продуктовых инноваций) и предложения (производства) этот коэффициент будет иметь разный смысл и значение³. Нетрудно заметить, что наиболее сильное воздействие на кривизну участков, обозначающих фазовые переходы, оказывает именно этот коэффициент. Относительно небольшое увеличение коэффициента k существенно сокращает продолжительность всего процесса и делает изгиб S -образной кривой более выраженным. При его значительном увеличении функция Y по внешнему виду приближается к функции единичного скачка с порогом в точке, близкой к $t = 0$. Наоборот, при уменьшении k функция становится более пологой, в пределе при $k = 0$ вырождаясь в горизонтальную линию. В качестве подтверждения нашего предположения относительно связи k и рыночного спроса приведем изображенную на рис. 6 практически прямую линию количественного роста технологий IV уклада в СССР. Такая конфигурация кривой соответствует плановому характеру общественного производства и распределения в тот период. Величина k при этом ничтожно мала (но не равна 0!). Не имея возможности ознакомиться с базой статистических данных, которыми пользовался С.Ю. Глазьев при построении графиков на рис. 6, выскажем предположение, что это связано с экспортом продукции среднего и тяжелого машиностроения, который имел место во времена СССР. Таким образом, кривизна S -образной кривой жизненного цикла инноваций, по сути, отражает динамику спроса. Это дает основание предполагать, что в функции $Y_1 = I_1 / (1 + C_1 e^{-k_1 t})$, описывающей скорость диффузии инноваций, коэффициент k_1 характеризует реакцию спроса на инновации данного поколения используемых технологий. Причем реакцию, обусловленную институциональными, экономическими, маркетинговыми и иными причинами. В итоге получается весьма многообразная и пестрая смесь факторов различной природы. Дать количественную оценку влияния каждого из них в отрыве от остальных факторов вряд ли возможно, особенно если учесть, что влияние каждого фактора меняется от фазы к фазе (т.е. во времени). Поэтому мы приходим к выводу, что коэффициент k_1 является интегральной оценкой синергетического эффекта, возникающего в результате взаимодействия всей совокупности внешних факторов, определяющих спрос на продуктовые инновации. Численное значение k_1 может быть найдено методом сравнения по шкале рейтинговых оценок инновационной динамики наиболее и наименее развитых экономик. В этом случае за эталон следует брать лидера по темпам роста базисных инновационных отраслей в фазе ускоренного роста. По сути, только она (фаза “разгона”) и представляет для нас настоящий интерес, поскольку

³ В дальнейшем в уравнении $Y_1 = I_1 / (1 + C_1 e^{-k_1 t})$, описывающем процесс распространения инноваций в потребительской среде (т.е. спрос на инновации), все коэффициенты будем обозначать индексом “1”. Соответственно, в уравнении $Y_2 = I_2 / (1 + C_2 e^{-k_2 t})$ индекс “2” будет обозначать предложение (т.е. производство).

ку дальнейший рост происходит в большей степени за счет инерции и своевременного внесения корректирующих “добавок”. Что же касается коэффициента I_1 , то он отражает потенциальный максимум платежеспособного спроса (или емкость рынка).

Теперь о коэффициенте C_1 . Как видно из графиков на рис. 6, кривые динамики рынка США и Японии достигли максимума приблизительно в одно и то же время при разных темпах роста. При разных значениях k_1 и k_2 это происходит за счет существенного различия коэффициентов C_1 и C_2 (см. табл. 4), характеризующих эффективность институтов государства и общества, стимулирующих и благоприятствующих созданию и распространению инноваций. То есть коэффициент C тоже участвует в формировании фаз, однако делает это более мягко, как бы вытягивая S -образную кривую во времени и снижая тем самым эффект активного воздействия коэффициента k . Такое невыразительное поведение функции, описывающей динамику насыщения рынка, ассоциируется с некой вязкостью потребительской среды, ее низкой проницаемостью для информационных и коммуникативных сигналов, несоответствием ментального и культурно-образовательного уровня потребителей свойствам, заложенным в инновации, сложившимися потребительскими стереотипами и схемами. Попробуем сформулировать эту мысль более конкретно: с помощью коэффициента C_1 мы предлагаем оценивать эффективность рыночных и общественных институтов, формирующих восприимчивость инноваций и обеспечивающих смазку всех узлов рыночного механизма. Очевидно, что для количественной оценки коэффициента C_1 может быть также использован упомянутый ранее метод рейтинговой оценки эффективности институтов.

Дадим интерпретацию коэффициентов C_2 и k_2 . На рис. 9 изображена кривая жизненного цикла производственной системы, на ней отмечены фазы зарождения (I), ускоренного роста (II), замедляющегося роста или стабилизации (III) и зрелости (IV). Ранее мы указали, что основное влияние на динамику логистической функции $Y_2 = I_2 / (1 + C_2 e^{-k_2 t})$ оказывает k_2 . Как видно на рис. 9, максимальный темп роста имеет место в точке перегиба S -образной кривой. Он определяется тангенсом угла β , образованного касательной в точке A и осью абсцисс, т.е. k_2 задает темп экстенсивного роста производственной системы Y_2 , определяемый величиной $\text{tg } \beta$.

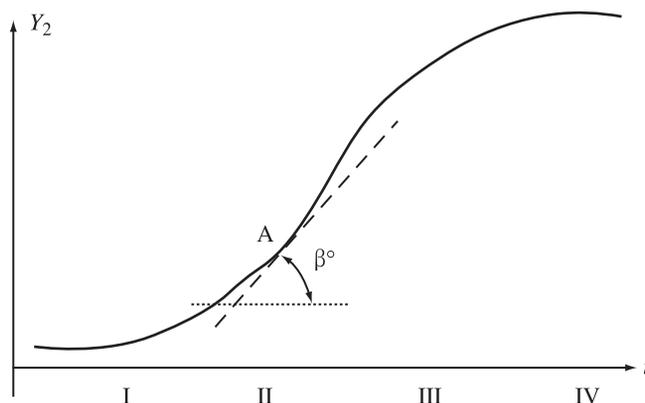


Рис. 9. Графическая интерпретация связи коэффициента k , $\text{tg } \beta$ и динамики экстенсивного роста системы Y_2 в фазе II

Вместе с тем экстенсивный рост инновационной производственной системы зависит от притока инвестиций, которые устремляются к производствам, максимизирующим технологическую ренту. Следовательно, коэффициент k_2 характеризует рентабельность инвестиций, которая, в свою очередь, определяется особыми свойствами выпускаемого инновационного продукта, применяемыми технологиями и качеством менеджмента (организационно-управленческого уровня), адекватно реагирующего на поведение рынка и изменение спроса.

Эти рассуждения наводят на мысль, что коэффициент k_2 характеризует прежде всего инновационный потенциал предприятия (системы). Точнее – его динамичность и соответствие стратегического, технологического, организационного и кадрового элементов технологическим и рыночным параметрам продуктовых инноваций. Исходя из этого, k_2 представляется комплексным показателем, характеризующим: а) степень радикальности инноваций; б) рентабельность производства; в) инновационный потенциал предприятия как способность к адекватной реакции предложения на фазовые изменения спроса; г) синхронность внутрипроизводственных процессов и

потоков (т.е. качество управления). В этом перечне необходимо выделить причину и следствия. Очевидно, что исходным фактором является все-таки инновационный потенциал предприятия, а все остальные – становятся формами его реализации.

Относительно коэффициента C_2 . Здесь нужно исходить из того, что взаимодействие рынка и производства происходит в единой институционально-экономической среде. Ее соответствие технологическому и коммерческому уровню инноваций будет стимулировать диффузионные процессы, делая их связными и когерентными⁴. Это дает основание считать, что коэффициент C_2 применительно к производственной системе характеризует эффективность мер внешнего регулирования (преференций, банковских, административных и иных льгот), а также институтов гражданского общества, государства и рынка, обеспечивающих расширение выпуска инноваций. Наконец, самое главное – эффективные институты открывают возможности достижения экономического благополучия за счет технологической ренты, ограничивая при этом возможности ее получения в непроизводительных сферах и обеспечивая более привлекательные возможности ее получения в научно-технологической сфере⁵. Что же касается коэффициента I_2 , отражающего асимптотический предел функции, то он в наибольшей степени соответствует производственной мощности системы либо величине направленных в нее инвестиций.

Таким образом, C_1 представляет собой рейтинговую оценку институтов и мер, поддерживающих рынок инноваций и формирующих покупательские ориентиры; k_1 – состояние спроса на инновации, C_2 – оценку институциональной среды, поддерживающей производство и меры по его стимулированию; k_2 – инновационный потенциал предприятия; I_1 и I_2 – соответственно емкость рынка (объем платежеспособного спроса) и объем производственных инвестиций. В такой интерпретации знаменатель уравнения $Y_2 = I_2 / (1 + C_2 e^{-k_2 t})$ представляется не чем иным, как динамическим коэффициентом мультипликации инвестиций Дж.М. Кейнса.

В рассматриваемых числовых примерах динамика переходного процесса определялась изменением лишь одной переменной – времени t при неизменных значениях коэффициентов k и C . В реальности же они подвержены циклическим изменениям. Однако найти удовлетворительное решение этой многофакторной задачи чрезвычайно трудно. Поэтому может быть предложена не индивидуальная количественная оценка изменяющихся факторов, а фиксированного (синергетического) эффекта, создаваемого их совместным действием. Причем не просто создаваемого, а поддерживаемого на неизменном уровне при помощи гибко изменяющегося набора макроинструментов. Числовые значения коэффициентов C_1 , C_2 и k_1 , k_2 могут быть найдены на основе рейтинговых оценок инновационного потенциала предприятий или отраслей, рыночной среды, создаваемых инноваций и качества институтов. Для этого необходимы дополнительные экспертно-статистические и аналитические исследования.

Выводы. Реальные экономические процессы протекают в русле синтеза инновационно-циклической динамики и системного подхода. В такой постановке системный эффект взаимодействия циклических процессов приобретает смысл и характер резонанса. Представленные условия синхронизации процессов, которые характеризуются S -функциями, а также предварительный анализ основных влияющих факторов и интерпретация обозначающих их коэффициентов, являются первым шагом к эмпирическому описанию эффектов, возникающих в реальных экономических системах. На наш взгляд, в отличие от широко известных подходов предлагаемый метод позволяет устранить выборочное одностороннее понимание сущности инновационных процессов. Для перехода к решению задачи математического моделирования резонанс-эффектов на макро- либо микроуровне необходима количественная оценка факторов, определяемых коэффициентами I_i , C_i и k_i , на основе обработки и анализа соответствующего массива экспертно-статистических данных.

⁴Торможение нововведений из-за несоответствия применяемых мер экономического регулирования более инертной и консервативной институциональной среде отмечено многими известными авторами (см., например (Зюидов, 2008, с. 39; Цирель, 2008, с. 605; Богомолов, 2004, с. 188; Клейнер, 2004)).

⁵В качестве примера приведем выводы, к которым приходит ряд авторов по поводу особенностей национальной модели корпоративного поведения. К ним относят в первую очередь: перманентный процесс перераспределения собственности; специфическую мотивацию многих инсайдеров (менеджеров, собственников), связанную с контролем финансовых потоков, умышленные банкротства и вывод активов; слабую или нетипичную роль традиционных внешних регуляторов (конкуренции, банкротства, фондового рынка и др.); неэффективность и/или выборочность лоббирования государством (в том числе региональными властями) неэффективных хозяйственных структур и предприятий; тотальную невосприимчивость инноваций как таковых (см. (Радыгин, 2002, с. 101–124; Клейнер, 2004) и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богомолов О.Т.** (2004): Нобелевский лауреат о российских реформах // *Мир перемен*. № 1.
- Глазьев С.Ю.** (1993): Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: ВладДар.
- Глазьев С.Ю.** (2007): О задачах структурной политики в условиях глобальных технологических сдвигов // *Экономическая наука современной России*. № 3 (38).
- Ерохина Е.А.** (2000): Теория экономического развития: системно-синергетический подход. Томск: ТГУ.
- Зюндов К.Х.** (2008): К проблеме исследования циклических процессов в советской и переходной российской экономике. Часть 2 // *Экономическая наука современной России*. № 1 (40).
- Иноземцев В.Л.** (2000): Пределы “догоняющего развития” М.: ЗАО «Издательство “Экономика”».
- Клейнер Г.Б.** (2004): Эволюция институциональных систем. М.: Наука.
- Клейнер Г.Б.** (2007): Системная парадигма и экономическая политика // *Общественные науки и современность*. № 2, 3.
- Колемаев В.А.** (2004): Математическая экономика. М.: ЮНИТИ-ДАНА.
- Колемаев В.А.** (2005): Синергетика линейной экономики // *Собственность и рынок*. № 6.
- Кондратьев Н.Д.** (2002): Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. М.: ЗАО «Издательство “Экономика”».
- Корнаи Я.** (2002): Системная парадигма // *Вопросы экономики*. № 4.
- Маевский В.И.** (1995): Макроэкономические аспекты теории эволюционной экономики. В сб.: “*Эволюционный подход и проблемы переходной экономики*”. М.: ИЭ РАН.
- Маевский В.И.** (1997): Введение в эволюционную макроэкономику. М.: Япония сегодня.
- Макаров В.Л.** (1995): В сб.: “*Эволюционный подход и проблемы переходной экономики*”. М.: ИЭ РАН.
- Московкин В., Михайлов В.** (2002): Использование логистической кривой при оценке эффективности инновационной деятельности // *Бизнес-Информ*. № 9–10.
- Нижегородцев Р.М.** (2002): Информационная экономика. Кн. 1. Информационная Вселенная: информационные основы экономического роста. М., Кострома: МГУ им. М.В. Ломоносова – КГУ.
- Опыт рыночных трансформаций (2005): Опыт рыночных трансформаций в странах Юго-Восточной Азии (институциональные аспекты). Владивосток: ДВО РАН.
- Полтерович В.М., Попов В.В.** (2005): Эволюционная теория экономической политики. В сб. “*Стратегическое планирование и развитие предприятий*”. VI Всероссийский симпозиум. М.: ЦЭМИ РАН.
- Полтерович В.М., Хенкин А.А.** (1988): Диффузия технологий и экономический рост. М.: Наука.
- Радыгин А.** (2002): Корпоративное управление в России: ограничения и перспективы // *Вопр. экономики*. № 1.
- Синицкий А.В.** (2005): К количественной теории технико-технологических укладов // *Вестник МГУ*. Серия 6. Экономика. № 6.
- Цирель С.В.** (2008): “QWERTY-эффекты”, “path dependence” и закон Седова, или Возможно ли выращивание устойчивых институтов в России. Terra economicus. Сборник статей российских и зарубежных экономистов начала XXI. М.: Наука-Спектр.
- Яблонский А.И.** (1986): Математические модели в исследовании науки. М.: Мысль.
- Freeman C.** (1987): Technology Policy, and Economic Performance: Lessons from Japan. Science Policy Research Unit. University of Sussex. L., N.Y.: Pinter Pub. Ltd.
- Verhulst P.-F.** (1838): Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // *Correspondence mathematique et physique-bruxelles*. Tome 10. P. 113–121.

Поступила в редакцию
14.10.2009 г.

Resonance Effect in Innovative Systems – Conditions of Origination and Economic Interpretation

A.N. Skiba, V.A. Garkavyj

The main manifestation of economic unbalance is cyclicity. Innovations life-cycle is described by means of S-curve logistic functions. Another important manifestation of economical dynamics is the systematic character (systemic) of changes and cause-effect relations. Systemic effect of interaction of manufacturing system elements with the technological innovations is of synergetic nature and originates as a result of coincidence of their life-cycles rising phases.

Keywords: innovation, resonance effect, S-function, synchronization, economic system.