

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ДОКЛАДЫ
АКАДЕМИИ НАУК

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

УДК 519.87

ОБ ОДНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТОВ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА NBIC-ТЕХНОЛОГИЙ И ОЦЕНКИ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

© 2015 г. Иностраный член РАН А. А. Акаев, член-корреспондент РАН А. И. Рудской

Поступило 31.10.2014 г.

DOI: 10.7868/S0869565215100047

В 2013 г., впервые после финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг., началось оживление в экономиках ряда развитых стран. В 2014 г. в первой экономике мира – экономике США ожидаются темпы роста примерно 2.8–2.9%, а в 2015 г. до 3%, в сравнении с 1.9% в 2013 г. Инвестиции возвращаются в экономику еврозоны и она также начинает восстанавливаться благодаря росту внутреннего спроса. Локомотив еврозоны – экономика Германии встала на путь устойчивого подъема и в 2014 г. ожидается, что рост составит 1.8% против 0.4% в 2013 г. На Востоке, в крупнейшей японской экономике два последних года подряд наблюдались темпы роста на уровне 1.5% после долгих лет стагнации, а в 2014 г. ожидаются темпы роста на уровне 1.7–1.8%.

Начавшееся оживление мировой экономики – это прелюдия к устойчивому росту, который начнется, по нашим прогнозам, примерно в 2017–2018 гг. и продолжится вплоть до 2040 г., если не помешают какие-либо глобальные катастрофы или войны. Еще в 2009 г., сразу после мирового финансово-экономического кризиса, в работе [1] был дан прогноз о том, что кризис будет сопровождаться затяжной депрессией, характерной для периода смены больших кондратьевских циклов экономической конъюнктуры, а также смены технологических укладов [2], и что рецессия достигнет дна в 2013–2014 гг., а затем начнется оживление, которое перерастет в устойчивый долговременный экономический подъем в 2017–2018 гг., с началом повышательной волны 6-го

большого цикла Кондратьева (6-й БЦК, 2018–2050 гг.).

Отметим, что нынешнее оживление началось в экономиках развитых стран и связано оно с началом освоения инновационных продуктов на основе NBIC-технологий (нано-, био-, информационных и когнитивных технологий), которые станут ядром грядущего 6-го технологического уклада. Итак, мы убеждаемся, как безотказно работает принцип, сформулированный видным немецким экономистом Г. Меншем в период мирового экономического кризиса 1970-х годов: “инновации преодолевают депрессию” [3]. Следовательно, локомотивами повышательной волны 6-го БЦК в развитии мировой экономики станут наиболее развитые страны – США, ЕС и Япония, которые признаны лидерами в исследовании и разработке NBIC-технологий.

В работе [4] мы подробно описали особенности NBIC-технологий, порождаемые интенсивным взаимопроникновением и взаимовлиянием нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий. Это явление, недавно замеченное учеными, получило название NBIC-конвергенции [5]. Благодаря конвергенции, NBIC-технологии порождают значительный синергетический эффект. По ожидаемой масштабности будущих социально-экономических преобразований NBIC-конвергенции уже оценивают как революционные [6]. Синергетический эффект, вызванный NBIC-конвергенцией, или, говоря иначе, их взаимным кооперативным действием, может оказаться столь сильным, что его вклад в повышение совокупной производительности факторов станет решающим и темпы роста мировой экономики вновь приблизятся к рекордным значениям (в среднем 4.9% в год), достигнутым в период 4-го БЦК (1948–1973 гг.), переломив тенденцию замедления экономического роста, наблюдаемую с 1970-х годов. Возникает вопрос: как оценить синергетический эффект NBIC-технологий и его

Институт математических исследований сложных систем Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

E-mail: askarakaev@mail.ru

влияние на экономический рост в пределах 6-го БЦК? В настоящей работе авторы впервые предлагают простейшую математическую модель для этой цели.

Рассмотрим неоклассическую модель экономического роста с физическим и человеческим капиталом, предложенную Г. Мэнкью, Д. Ромером и Д. Уэйлем [7]:

$$Y(t) = K^\alpha(t)H^\beta(t)[A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (1)$$

где $Y(t)$ – текущий объем национального дохода (ВВП); $K(t)$ – физический капитал; $H(t)$ – человеческий капитал; $L(t)$ – численность занятых в экономике рабочих и служащих; $A(t)$ – технический прогресс; α и β – параметры производственной функции. Эмпирический анализ показал, что для развитых стран ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития) $\alpha = 0.14$, $\beta = 0.37$, тогда как для развивающихся стран, не относящихся к нефтедобывающим: $\alpha = 0.31$, $\beta = 0.28$ [7, р. 420]. Уравнение (1) в темповой форме имеет вид

$$q_Y = \alpha q_K + \beta q_H + (1 - \alpha - \beta)(q_A + q_L), \quad (2)$$

где $q_Y = \frac{\dot{Y}}{Y}$; $q_K = \frac{\dot{K}}{K}$; $q_H = \frac{\dot{H}}{H}$; $q_L = \frac{\dot{L}}{L}$; $q_A = \frac{\dot{A}}{A}$.

Поскольку “совокупная факторная производительность” может быть интерпретирована как показатель синергетических эффектов кооперативного вклада в экономический рост факторов труда и капитала [8], из (2) непосредственно следует оценочная формула для темпов роста, обусловленных синергетическим эффектом:

$$q_Y^{\text{syn}} = (1 - \alpha - \beta)q_A. \quad (3)$$

Таким образом, для стран ОЭСР данная оценочная формула примет вид $q_{Y_{\text{HD}}}^{\text{syn}} \cong 0.49q_A$, а для развивающихся стран $q_{Y_{\text{LD}}}^{\text{syn}} \cong 0.41q_A$.

Преобразуем модель (1) с использованием эмпирического закона Калдора, как показано в работе [9], приняв

$$K = c_K Y, \quad H = c_H Y; \quad c_K = \text{const}, \quad c_H = \text{const}. \quad (4)$$

Далее предположим также, что численность занятых в экономике L связана с общей численностью населения N следующим образом:

$$L = c_L N; \quad c_L = c_L(t). \quad (5)$$

Подстановка соотношений (4) и (5) в исходную модель (1) приводит к весьма простой приближенной модели для расчета динамики ВВП:

$$Y = \gamma AN; \quad (6)$$

$\gamma = \gamma(t)$ в общем случае.

Отсюда следует, что в случае, когда $\gamma = \text{const}$:

$$q_Y = q_A + q_N. \quad (7)$$

Итак, оценка синергетического эффекта, или, точнее, его вклада в темпы экономического роста, сводится к расчету темпов роста техническо-

го прогресса q_A (3). В работе [10] мы предложили простейшую математическую модель для расчета темпов роста среднего технологического уровня $A(t)$ по всей экономике в зависимости от относительной экономической эффективности вновь вводимых базисных инновационных технологий $a(t)$ в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{dA}{dt} + s\xi A = s\xi a(t), \quad (8)$$

где $s(t)$ – норма накопления ($s = \frac{I}{Y}$, I – валовые инвестиции, Y – ВВП); $\xi(t)$ – капиталододача ($\xi = \frac{Y}{K}$, K – физический капитал). Норма накопления $s(t)$ отличается стабильностью, поэтому в первом приближении ее можно принять постоянной величиной $s(t) = s_0$. Усредненная капиталододача $\xi(t)$ в долгосрочном периоде также является практически постоянной величиной, если рассматривать период продолжительностью одного БЦК. Однако внутри БЦК она существенно отклоняется от своего тренда, колеблясь почти синхронно с БЦК, она увеличивается с подъемом БЦК и уменьшается в периоды спада и депрессии. Например, для экономики США функция $\xi(t)$ достаточно хорошо может быть описана синусоидой [10]:

$$\xi(t) = \xi_0 + \xi_1 \sin \omega(t - 1987), \quad (9)$$

где $\xi_0 = 0.34$; $\xi_1 = 0.03$; $\omega = \frac{\pi}{15}$. Для экономики США $s_0 = 0.187$.

Диффузия грядущих базисных инноваций $a(t)$ в правой части уравнения (8), ядро которых и представляют NBIC-технологии, происходит по логистическому закону, который запишется в виде:

$$a = \frac{a_0(1+c)}{1+c \exp[-d(t-T_0)]}. \quad (10)$$

Постоянные параметры a_0 , c , d и T_0 были определены в работе [10]. При этом параметр c задается исходя из условия нормировки интенсивности кластера новых базисных технологий: $c = \frac{a_{\text{max}}}{a_{\text{min}}}$. Обычно принимается $c = 9$ [11]. Далее определяется параметр d , исходя из продолжительности жизненного цикла нового технологического уклада: $d = \frac{2 \ln c}{\Delta T_f}$. Для NBIC-технологий получено $\Delta T_f = 70$ лет [10]. Дата зарождения базисных технологий нового технологического уклада (T_0) и дата начала интенсивного их внедрения (T_b) связаны уравнением $T_0 = T_b - \frac{0.877}{d}$. В [10] на основе инновационной парадигмы Хироки [11] показано, что T_b совпадает с 2018 г. – нача-

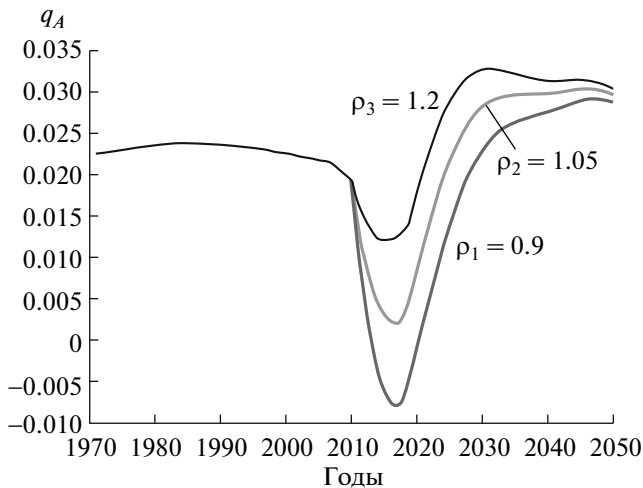


Рис. 1. Динамика темпов роста технического прогресса (q_A) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК.

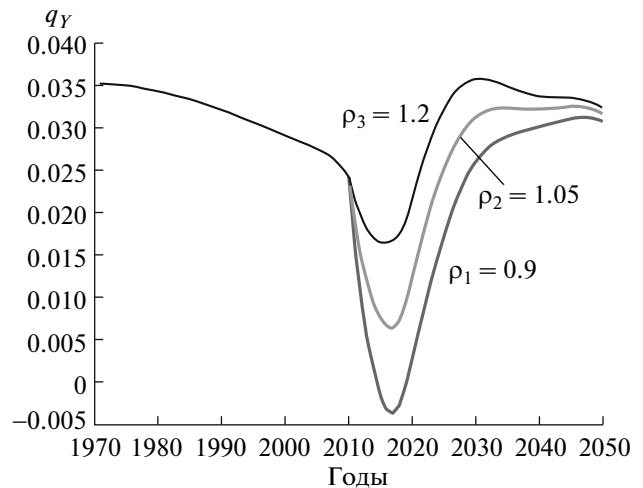


Рис. 2. Динамика темпов экономического роста (q_Y) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК.

лом подъема 6-го БЦК, т.е. $T_b = 2018$ г. Начальное значение интенсивности кластера базисных технологий нового технологического уклада a_0 определяется по формуле $a_0 = \frac{a_b}{1+c} \{1 + c \exp[-d(T_b - T_0)]\}$, вытекающей непосредственно из уравнения (10) при $t = T_b$. Здесь используется важное понятие относительной эффективности новых базисных технологий $\rho = \frac{a_b}{A_b}$, которая определяется по формуле $\rho = 1 + \frac{q_{A_b}}{s_0 \xi_b}$, где q_{A_b} – темп технического прогресса в экономике в начале подъема очередного БЦК. Например, для экономики США q_{A_b} был оценен экспертами равным 1.3%, т.е. $q_{A_b} = 0.013$. При этом $\rho = 1.2$.

Таким образом, подставляя (9) и (10) в исходное уравнение (8), получаем следующее линейное дифференциальное уравнение для расчета средних темпов технического прогресса $A(t)$ по всей экономической системе:

$$\frac{dA}{dt} + s_0[\xi_0 + \xi_1 \sin \omega(t - 1987)]A = \frac{s_0 a_0 (1+c)[\xi_0 + \xi_1 \sin \omega(t - 1987)]}{1+c \exp[-d(t - T_0)]}. \quad (11)$$

Данное уравнение решалось нами численным методом при различных значениях коэффициента эффективности инновационных технологий ρ ($\rho_1 = 0.9$; $\rho_2 = 1.05$; $\rho_3 = 1.2$). Результаты расчетов для темпов роста технического прогресса представлены на рис. 1. Выше мы уже оценили значение коэффициента эффективности NBIC-технологий: $\rho = 1.2$. Для сравнения мы рассчитали технический прогресс даже при меньшей эффективности NBIC-

технологий ($\rho = 0.9$). Однако, как видно из рассмотрения прогнозных кривых темпов роста технического прогресса (см. рис. 1), даже при этом они будут превышать темпы технического прогресса в 5-м БЦК, что является исключительно следствием существенного увеличения синергетических эффектов.

Таким образом, благодаря мощному кооперативному действию NBIC-технологий порождается значительный синергетический эффект, который ускоряет темпы технического прогресса до 3.3% к 2030 г. (см. рис. 1), значительно выше, чем в период с 1980 по 2009 гг. – на повышательной волне 5-го БЦК. На рис. 2 представлены графики ожидаемых темпов роста в экономике США до 2050 г., рассчитанные по формуле (7). Как видно из рисунка, при ожидаемом значении коэффициента эффективности NBIC-технологий $\rho = 1.2$ темпы роста экономики США уже в 2020-е гг. достигнут уровня благополучных 1990-х гг., а затем будут устойчиво расти до 2050 г. темпами примерно 3.4% ежегодно. Такие же темпы роста в экономике США наблюдались в 1980-е гг. на повышательной волне 5-го БЦК, но тогда был существенный вклад, связанный с высокими темпами поступления на рынок труда свежей квалифицированной рабочей силы ($q_Y = q_A + q_N$). Америка пожинала плоды послевоенного резкого повышения рождаемости. Вклад q_N на 6-м БЦК уже будет незначительным, что хорошо видно из сравнения графиков q_Y и q_A на рис. 3, где представлены динамики темпов роста всех трех рассматриваемых переменных: q_A , q_Y , q_Y^{syn} .

На рис. 4 показаны графики, иллюстрирующие вклад синергетических эффектов при различных возможных значениях коэффициента эф-

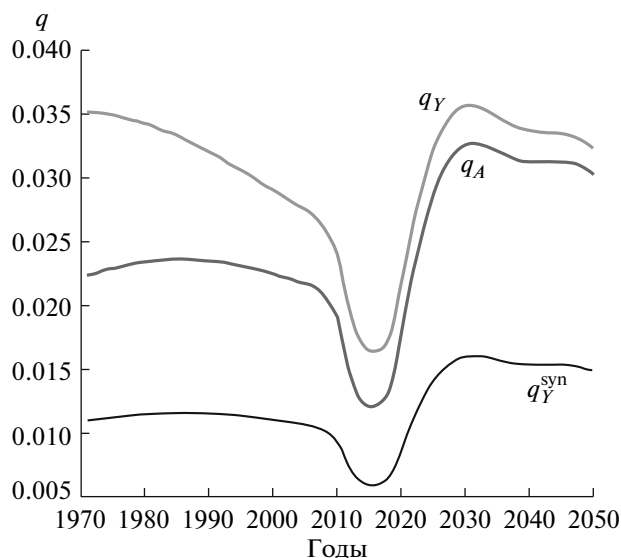


Рис. 3. Прогнозные темпы роста экономики США (q_Y) до 2050 г., технического прогресса (q_A) и вклада синергетических эффектов (q_Y^{syn}) для $\rho = 1.2$.

фективности NBIC-технологий в сравнении с базисными технологиями 5-го технологического уклада. Как видно из рассмотрения графиков на этом рисунке, вклад синергетических эффектов в период 6-го БЦК существенно возрастет по сравнению с 5-м БЦК, примерно в 1.4 раза при ожидаемом значении коэффициента эффективности базисных технологий 6-го ТУ $\rho = 1.2$. Заметим, что даже при меньшей эффективности NBIC-технологий ($\rho = 0.9$) в сравнении с базисными технологиями 5-го технологического уклада, вклад синергетического эффекта NBIC-технологий в 2030-е гг. значительно превысит соответствующий вклад базисных технологий 5-го технологического уклада (см. рис. 4).

В ы в о д. NBIC-технологии, благодаря мощному синергетическому эффекту, порождаемому конвергенцией нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий, дадут сильное ускорение темпам технического прогресса, которые превысят темпы, достигнутые на повышательной волне предыдущего 5-го БЦК (1982–2006 гг.). Таким образом, произойдет смена тенденции замедления темпов мирового экономического развития, наблюдавшейся на всем протяжении 5-го БЦК (1982–2013 гг.), на повышательную тенденцию. На примере экономики США показано, что темпы технического прогресса возрастут с 2.3% в 1980-е гг. до 3.4% в

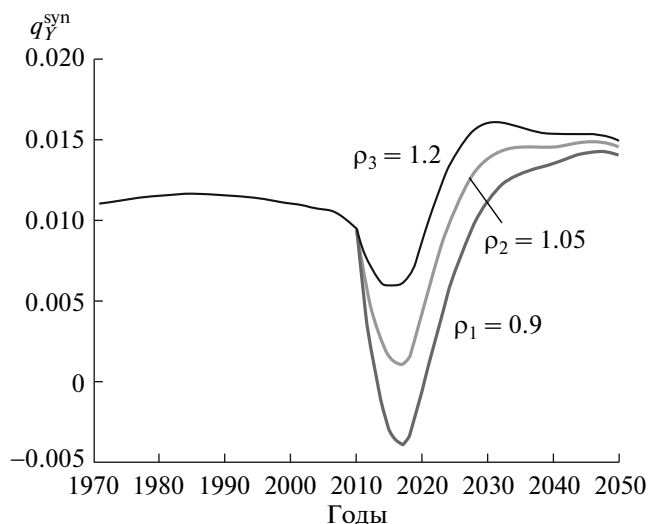


Рис. 4. Прогнозные кривые вклада синергетических эффектов NBIC-технологий в темпы роста экономики США в период 6-го БЦК (2018–2050 гг.)

2020–2030-е гг., а темпы экономического роста достигнут 3.3–3.7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаев А.А., Пантин В.И., Айвазов А.Э. Докл. на I Российском экономическом конгрессе. М.: Изд-во МГУ, 2009.
2. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. М.: Экономика, 2010. 255 с.
3. Mensch G. Stalemate in Technology – Innovation Overcame the Depression. N.Y.: Ballinger Publ., 1979. 289 p.
4. Акаев А.А., Рудской А.И. Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы. М.: Либроком, 2013. С. 142–166.
5. Roko M., Bainbridge W.S. Converging Technologies for Improving Human Performance. Los Angeles: WTEC, 2003.
6. Bainbridge W.S., Roko M. In: Converging Technologies in Society. Dordrecht: Springer, 2006. P. 337–345.
7. Mankiw G., Romer D., Weil D. // Quart. J. Econ. 1992. V. 107. № 2. P. 407–437.
8. Jorgenson D., Stiroh K. // Amer. Econ. Rev. 1999. P. 113.
9. Акаев А.А., Садовничий В.А., Ануфриев И.Е. В кн.: Мировая динамика. М.: КРАСАНД, 2014. С. 15–50.
10. Акаев А.А., Рудской А.И. // Экон. политика. 2014. № 2. С. 25–46.
11. Hirooka M. Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective. Cheltenham; Northampton (MA): Edward Elgar, 2006. 426 p.