

## NBIC-ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОДОЛЕВАЮТ ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ДЕПРЕССИЮ

### NBIC-TECHNOLOGIES GET OVER ECONOMIC DEPRESSION

А. А. Акаев, доктор технических наук, профессор,  
Иностранный член РАН

И. Е. Ануфриев, кандидат физико-математических наук, доцент

*В работе прогнозируется сценарий экономического роста и показано, что NBIC-технологии, благодаря мощному синергетическому эффекту, порождаемому взаимной конвергенцией нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий, дадут сильное ускорение темпам технического прогресса, которые превысят темпы достигнутые на повышательной волне предыдущего 5-го большого экономического цикла Кондратьева (1982–2006 гг.). На примере экономики США показано, что темпы технического прогресса возрастут с 2,2% в 1980-е годы до 3,5% в 2030-е годы.*

*This paper is reflecting results of forecasting scenario of economic growth and shown that NBIC-technologies, due to the powerful synergetic effect generating by a mutual convergence of nano-, bio-, info- and cognitive technologies, will give strong acceleration pace of technological progress, which exceeded the rate achieved in the previous upward wave of 5<sup>th</sup> great Kondratieff's economic cycle (1982–2006). On the base of the USA economy data, the results of forecasting shows that the rate of technological progress will increase from 2,2% in 1980 to 3,5% in the 2030 s.*

**Ключевые слова:** конвергентные NBIC-технологии; синергетический эффект; темпы роста; циклы Кондратьева.

**Key words:** NBIC-convergence technology; a synergetic effect; rate of growth; Kondratieff cycle.

#### Введение

В 2013 г., впервые после финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг., началось оживление в экономиках ряда развитых стран. В 2014 году 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 экономики 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 прелюдие 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, я и мои коллеги [1] прогнозировали, что он будет сопровождаться затяжной депрессией и что рецессия достигнет дна в 2013–2014 гг., а затем начнется оживление, которое перерастет в подлинный экономический подъем в 2017–2018 гг., с началом повышательной волны 6-го большого цикла Кондратьева (6-й БЦК, 2018–2050 гг.). Тогда же на основе инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера-Кондратьева мы рассчитали прогнозную траекторию движения мирового ВВП на это десятилетие (рис. 1), которая до сих пор достаточно точно реализуется на практике.

Важно, 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 (ТУ). Итак, мы убеждаемся, что безотказно работает принцип, сформулированный видным немецким экономистом Г. Меншем в период мирового экономического кризиса 70-х годов: «инновации преодолевают депрессию», вынесенный в заголовок статьи.

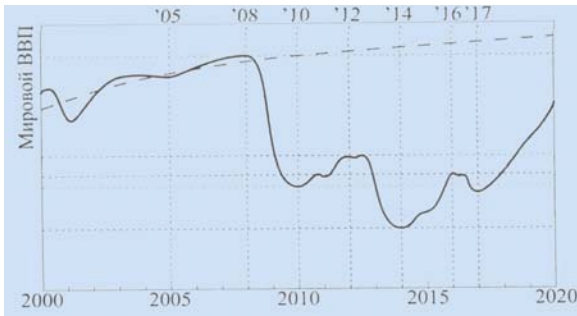


Рис. 1. Динамика мирового ВВП в период 2000–2020 гг.

Таким образом, локомотивами повышательной волны 6-го БЦК станут наиболее развитые страны – США, ЕС и Япония, которые признаны лидерами в исследовании и разработки NBIC-технологий.

### 1. Математические модели для прогноза экономического потенциала NBIC-технологий

В работе [2], мы подробно описали особенности NBIC-технологий, порождаемые интенсивным взаимопроникновением и взаимовлиянием нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий. Это явление, давно замеченное учеными, получило название NBIC-конвергенции [3]. Благодаря конвергенции, NBIC-технологии порождают значительный синергетический эффект. По ожидаемой масштабности будущих социально-экономических преобразований, NBIC-конвергенции уже оценивают как революционные [4]. Синергетический эффект, вызванный NBIC-конвергенцией или, говоря иначе, их взаимным кооперативным действием, может оказаться столь сильной, что его вклад в повышение совокупной производительности факторов станет решающим и темпы роста экономики мира вновь приблизятся к рекордным значениям (около 4,9%), достигнутым в период 4-го БЦК (1948–1973 гг.).

Как оценить синергетический эффект? Рассмотрим неоклассическую модель экономического роста с физическим и человеческим капиталом, предложенную Г. Мэнкью, Д. Ромером и Д. Уэйлем [5]:

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

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 нейтральный по Харроду;  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры производственной функции. Эмпирический анализ показал, что для развитых стран ОЭСР  $\alpha = 0,14$ ,  $\alpha \beta = 0,37$ , тогда как для развивающихся стран, не относящихся к нефтедобывающим:  $\alpha = 0,31$ ,  $\alpha \beta = 0,28$  [5, p. 420]. Уравнение (1) в темповой форме имеет вид:

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

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

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

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

Таким образом, для стран ОЭСР данная оценочная формула примет вид:

$$q_{Y_{HD}}^{syn} \cong 0,49q_A,$$

а для развивающихся стран, не относящихся к нефтедобывающим:

$$q_{Y_{LD}}^{syn} \cong 0,41q_A.$$

Эндогенизируя модель (1), с использованием эмпирического закона Калдора [6], которая сохраняет свою силу и в настоящее время, можно принять:

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

Далее предполагается 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:

$$Y = \gamma AN; \quad \gamma = \gamma(t) \text{ – в общем случае.} \quad (6)$$

Отсюда следует, что в случае, когда:

$$Y = \gamma AN; \rightarrow \gamma = \gamma(t) \quad (7)$$

В конце XX века американские экономисты Дейл Йоргенсон и Кейн Стирох [7] детально исследовали вклад различных факторов в темпы роста американской экономики в период с 1948 по 1996 год и установили, что в период 4-го БЦК (1948–1973 гг.) на долю синергетических эффектов приходилось более 1/3 (34,6%) прироста ВВП, тогда как в период 5-го БЦК (1982–1996 гг.) вклад синергетических эффектов снизился почти в три раза, до 11,9%! Они объяснили это тем, что в послевоенный период в

экономике США факторы капитала и труда играли примерно одинаковую роль в ускорении экономического развития: на их долю приходилось соответственно 26,6 и 25,1 процентных пункта прироста ВВП. В период 5-го БЦК (после 1980 г.) начался вывод промышленных предприятий и вывоз капитала в развивающиеся страны, а устойчивые равновесные пропорции вклада капитала (33,2%) и труда (40,2%) были нарушены, что и привело к резкому снижению синергетического эффекта. В последнее время развитые страны вновь объявили своим приоритетом промышленную политику и собираются активно стимулировать размещение инновационных производств, основанных на NBIC-технологиях, у себя дома, что естественно вновь приведет к повышению синергетического эффекта.

Итак, оценка синергетического эффекта или, точнее, его вклада в темпы экономического роста сводится к расчету темпов роста технического прогресса  $q_A$  (3). В работе [2] мы предложили 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, пользуясь уравнением Дубовского [8]:

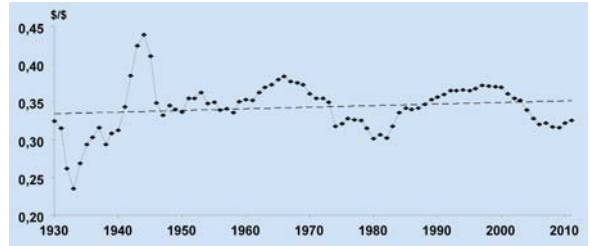
$$q_A = \frac{\dot{A}}{A} = s(t)\xi(t)\left(\frac{a}{A} - 1\right), \quad (8)$$

где  $s(t)$  – норма накопления ( $s = I/Y$ ,  $I$  – валовые инвестиции,  $Y$  – ВВП);  $\xi(t)$  – капиталотдача ( $\xi = Y/K$ ,  $K$  – физический капитал). Норма накопления  $s(t)$  обычно меняется циклическим образом вокруг медленно меняющегося тренда, поэтому в первом приближении ее можно принять постоянной величиной  $s(t) = s_0$ . Капиталотдача  $\xi(t)$  в долгосрочном плане 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. Все это хорошо видно на примере динамики капиталотдачи (фондоотдачи) в экономике США в период с 1930 по 2011 г., охватывающем 4-й и 5-й БЦК (рис. 2). Функция  $\xi(t)$  для экономики США достаточно хорошо может быть описана следующей синусоидой:

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

где  $\xi_0 = 0,34$ ;  $\xi_1 = 0,03$ ;  $\omega = \pi/15$ . Для экономики США также характерно  $\xi_0 = 0,187$ .

Ранее мы уже отмечали, что диффузия грядущих базисных инноваций происходит по логистическому закону, который запишется в виде:



Источник данных: <http://www.bea.gov/iTable/iTable.cfm?ReqID=10&step=1#reqid=10&step=3&isuri=1&1003=16>

Рис. 2. Динамика фондоотдачи в США (1930–2011 гг.)

$$a = \frac{\alpha_0(1+c)}{1+c \exp[-d(t-T_0)]}. \quad (10)$$

Постоянные параметры  $\alpha_0$ ,  $c$ ,  $d$  и  $T_0$  определяются из следующих соображений. Параметр  $c$  находится исходя из условий  $\alpha_{max} = 0,9\alpha_0(1+c)$  при  $t \rightarrow \infty$  и  $\alpha_{min} = \alpha_0$  при  $t = T$ . Отсюда непосредственно следует, что  $c = 9$ , поскольку  $\alpha_{max}/\alpha_{min} = 9$ . Для определения параметра  $d$  требуется координата точки перегиба ( $T_m$ ) логистической кривой (рис. 3), которая вычисляется по формуле:

$$T_m = T_0 + \frac{\ln c}{d}. \quad (11)$$

В практических приложениях важны две характеристики логистической функции: продолжительность полной фазы диффузии и длительность фазы интенсивного производства. За продолжительность полной фазы диффузии  $\Delta T$  принимается та часть логистической кривой (10), которая ограничена сверху и снизу 10% максимального технологического уровня  $\alpha_0(1+c)$  (см. рис. 3). Следовательно,

$$\Delta T_f = T_f - T_0 = 2(T_m - T_0). \quad (12)$$

Величину  $\Delta T_f$  можно определить по инновационной парадигме Хирооки [9]. Действительно, из парадигмы информационных технологий [10] следует, что  $\Delta T_f = 70$  лет, учитывая, что информационные технологии будут служить теперь в качестве магистральных и формировать инфратраекторию, охватывающую два БЦК, каждая продолжительностью в 35 лет. Итак, объединяя (11) и (12) получаем формулу для определения параметра  $d$ :

$$d = \frac{2 \ln c}{\Delta T_f} = \frac{\ln c}{T_m - T_0}. \quad (13)$$

Итак, если принять  $\Delta T_f = 70$  лет, то  $d \cong 0,063$ .

Что же касается длительности фазы интенсивного производства  $\Delta T_i$ , то под ней понимается срок с момента  $T_B$ , когда появился масштабный спрос на

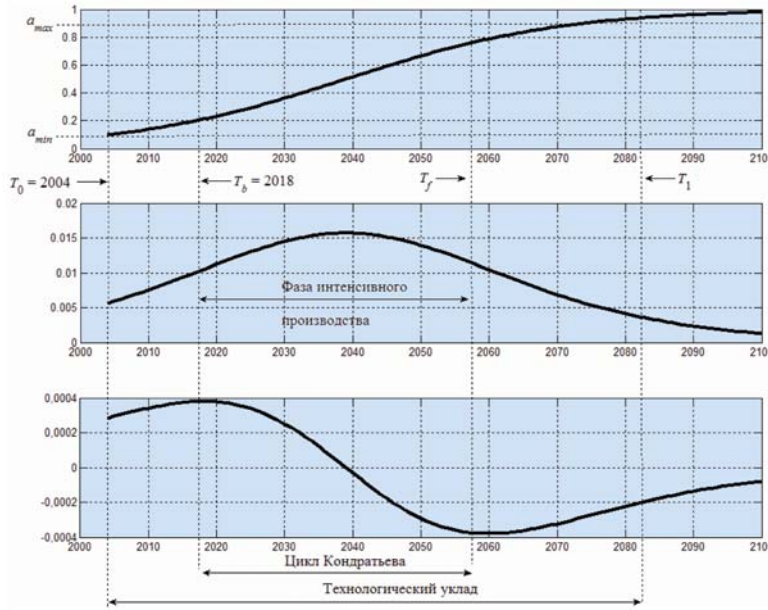


Рис. 3. Динамика диффузии базисных инновационных технологий 6-го БЦК (2018–2058 гг.)

инновацию, до момента  $T_s$ , когда спрос уже пошел к насыщению. На практике за фазу интенсивного производства обычно принимают ту часть логистической кривой (см. рис. 3), которую можно отделить точками максимума и минимума второй производной. Нетрудно показать, что

$$\Delta T_i = \frac{1}{d} \ln \frac{2 + \sqrt{3}}{2 - \sqrt{3}} \cong \frac{2,638}{d}. \quad (14)$$

Естественно, что продолжительность полной фазы диффузии инноваций почти в два раза превышает длительность фазы интенсивного производства. Выше, во вводной части статьи, мы уже определили сроки подъема 6-го БЦК – 2018-й год, что совпадает с началом фазы интенсивного производства, т.е.  $T_b = 2018$  г. Но  $T_b = T_m - 1/2\Delta T_f$ . Подставляя в это уравнение выражения для  $T_m$  (11) и  $\Delta T_f$  (14) получаем формулу для определения  $T_{ov}$ , даты зарождения базисных инновационных технологий нового поколения:

$$T_0 \cong T_e - \frac{1}{d} (\ln c - 1,32); \quad T_e - T_0 = \frac{0,877}{d} \quad (15)$$

Остается определить  $\alpha_0$ . Величины  $\alpha$  и  $A$  связаны через множитель  $\rho$  – коэффициент эффективности инновационных технологий в начале подъема, т.е. в точке  $T_b$ :

$$\frac{a}{A} \Big|_{t=T_e} = \rho. \quad (16)$$

Если данное соотношение подставить в уравнение (10), то получится формула для определения  $\alpha_0$ :

$$a_0 = \frac{\rho A(T_e)}{1 + c} \{1 + c \exp[-d(T_e - T_0)]\}. \quad (17)$$

Наконец, для определения коэффициента  $\rho$  обратимся к уравнению Дубовского (8) и рассмотрим его при  $t = T_b$ , т.е. в начале подъема 6-го БЦК с учетом (16):

$$q_{A_6} = \frac{\dot{A}}{A} \Big|_{t=T_e} = s(T_e) \xi(T_e) (\rho - 1). \quad (18)$$

Здесь  $q_{A_6}$  – темпы роста среднего технологического уровня по всей экономике в момент подъема нового БЦК.

Отсюда непосредственно следует формула для определения коэффициента  $\rho$ :

$$\rho = 1 + \frac{q_{A_6}}{s(T_e) \xi(T_e)}. \quad (19)$$

Подставив значения  $q_{A_6} = 0,0125$  (1,25%),  $s(T_b) = s_0$  и  $\xi(T_b) = \xi_0$ , ожидаемые ( $q_{A_6}$ ) и характерные ( $s_0, \xi_0$ ) для экономики США получаем:  $\rho \cong 1,2$ , т.е. ожидаемая средняя эффективность NBIC-технологий на 20% выше эффективности 5-го ТУ. В табл. 1 приведены ряд значений  $q_{A_6}$ , соответствующих различным значениям коэффициента эффективности новых базисных технологий  $\rho$ .

Для целей моделирования уравнение (8) лучше преобразовать к виду:

$$\frac{dA}{dt} + s \xi A = s \xi a, \quad (20)$$



Таблица 1

**Коэффициент эффективности инновационных технологий и темпы роста технологического уровня экономики**

$\rho$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$q_{AB}$	0,006	0,013	0,019	0,025	0,032
$q_{AB}(\%)$	0,6	1,3	1,9	2,5	3,2

где  $\alpha(t)$  (10) и  $\xi(t)$  (9) – нелинейные функции, а  $s = s_0 = const$ . Данное уравнение решалось нами численным методом при различных значениях коэффициента эффективности инновационных технологий  $\rho$  ( $\rho_1 = 0,9$ ;  $\rho_2 = 1,05$ ;  $\rho_3 = 1,2$ ). Результаты расчетов для темпов роста технического прогресса представлены на рис. 4. 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. 4), даже при этом они будут превышать темпы технического прогресса в 5-м БЦК, что является исключительно следствием существенного увеличения синергетических эффектов.

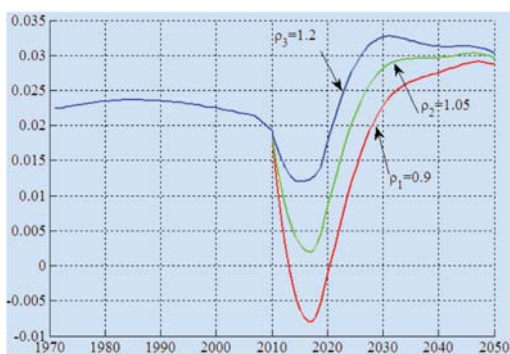


Рис. 4. Динамика темпов роста технического прогресса ( $q_{AB}$ ) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК

Таким образом, благодаря мощному кооперативному действию NBIC-технологий порождается значительный синергетический эффект, который ускоряет темпы технического прогресса до 3,3% к 2030 году (см. рис. 4) – значительно выше чем в период с 1980 по 2009 годы – на повышательной волне 5-го БЦК. На рис. 5 представлены графики ожидаемых темпов роста в экономике США до 2050 года, рассчитанные по формуле (7). Как видно из рис., при ожидаемом значении коэффициента эффективности NBIC-технологий  $\rho = 1,2$ , темпы роста экономики США уже в 2020-е достигнут уровня благополучных 1990-х годов, а затем будут устойчиво расти до 2050 года темпами примерно 3,4% ежегодно. Такие же темпы роста в экономике США наблюдались в 1980-е годы на повышательной волне

5-го БЦК, но тогда был существенный вклад, связанный с ростом рабочей силы ( $q_Y = q_A + q_N$ ). Вклад на 6-м БЦК уже будет незначительным, что хорошо видно из сравнения графиков  $q_Y$  и  $q_A$  на рис. 6, где представлены динамики темпов роста всех трех рассматриваемых переменных:  $q_A$ ;  $q_Y$ ;  $q_Y^{syn}$ .

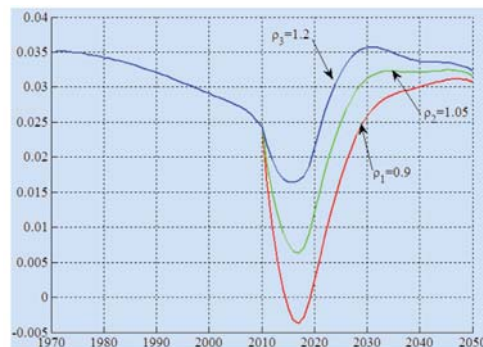


Рис. 5. Динамика темпов экономического роста ( $q_Y$ ) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК

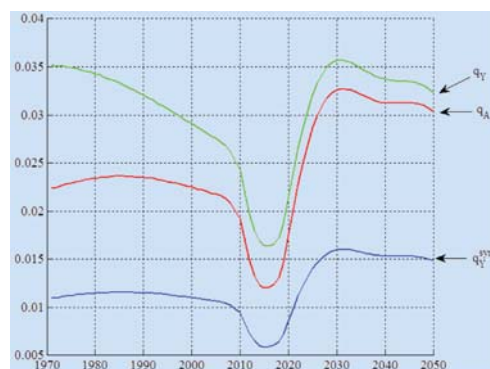


Рис. 6. Прогнозные темпы роста экономики США ( $q_Y$ ) до 2050 года, технического прогресса ( $q_A$ ) и вклада синергетических эффектов ( $q_Y^{syn}$ ) для  $\rho = 1,2$

На рис. 7 показаны графики, иллюстрирующие вклад синергетических эффектов при различных возможных значениях коэффициента эффективности NBIC-технологий в сравнении с базисными технологиями 5-го ТУ. Как видно из рассмотрения графиков на рис. 7, 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 ТУ, вклад синергетического эффекта NBIC технологий в 2030-е годы значительно превысит соответствующий вклад базисных технологий 5-го ТУ (см. рис. 7).

Возможно получить приближенное аналитическое решение исходного дифференциального уравнения (20), описывающего динамику среднего тех-

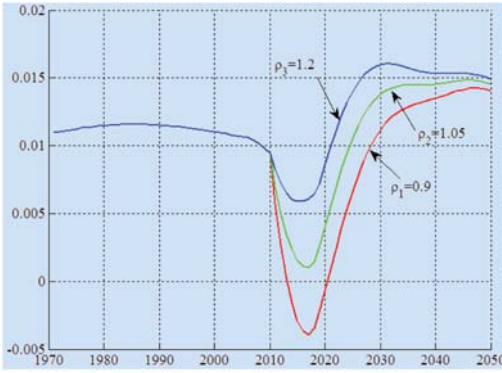


Рис. 7. Прогнозные кривые вклада синергетических эффектов NBIC-технологий в темпы роста экономики США в период 6-го БЦК (2018–2050 гг.)

нологического уровня  $A(t)$ . Для этой цели предположим, что  $\xi \cong \xi_0$  (9), а логистическую кривую (10) диффузии инновационных базисных технологий заменим линейной функцией, связывающей начальную ( $T_0, \alpha_0$ ) и конечную ( $T_f, \alpha_{max}$ ) точки на траектории диффузии:

$$a(t) \cong a_0 + \frac{a_0 d(c-1)}{2 \ln c} (t - T_0). \quad (21)$$

Решение уравнения (20) с приближенной правой частью (21), а также  $s = s_0$  и  $\xi \cong \xi_0 = const$ , имеет вид:

$$A = C_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) + a_0 \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (t - T_0 - \tau_0)\right], \quad (22)$$

где  $\tau_0 = \frac{1}{s_0 \xi_0}$  – время запаздывания повышения

среднего технологического уровня по всей экономике ( $A$ ) от технологического уровня в новых отраслях ( $\alpha$ ), порожденных базисными инновационными технологиями,  $\tau \cong 15,7$  лет. Произвольную постоянную  $C_1$  находим из условия  $A(t = T_b) = A_b$ :

$$A_b = C_1 \exp\left(-\frac{T_b}{\tau_0}\right) + a_0 \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (T_b - T_0 - \tau_0)\right];$$

$$C_1 = \left\{ A_b - a_0 \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (T_b - T_0 - \tau_0)\right] \right\} \exp\left(\frac{T_b}{\tau_0}\right). \quad (23)$$

Учитывая, что  $\alpha_0 = 0,4745 \alpha_b$  (17), при соотношениях (15) и (16), получаем:

$$C_1 = A_b \left\{ 1 - 0,4745 \rho \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (T_b - T_0 - \tau_0)\right] \right\} \exp\left(\frac{T_b}{\tau_0}\right). \quad (24)$$

Подставляя (24) в (22) получаем окончательный результат:

$$\frac{A}{A_b} = \left\{ 1 - 0,4745 \rho \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (T_b - T_0 - \tau_0)\right] \right\} \exp\left(-\frac{t - T_b}{\tau_0}\right) + 0,4745 \rho \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (t - T_0 - \tau_0)\right]. \quad (25)$$

Дифференцируя обе части уравнения (25) получаем:

$$\frac{\dot{A}}{A_b} = -\frac{1}{\tau_0} \left\{ 1 - 0,4745 \rho \left[1 + \frac{d(c-1)}{2 \ln c} (T_b - T_0 - \tau_0)\right] \right\} \exp\left(-\frac{t - T_b}{\tau_0}\right) + 0,4745 \rho \frac{d(c-1)}{2 \ln c}. \quad (26)$$

Поделив (26) на (25) легко получаем формулу для расчета динамики темпов роста среднего технологического уровня:

$$q_A = \frac{\dot{A}}{A} \quad (27)$$

в пределах от  $t = T_b$  до  $t = T_f$ . Далее определяем темпы экономического роста:  $q_V = q_A + q_N$ .

Как видно из формулы (25), ключевыми параметрами при определении технологического уровня в экономике являются параметры  $\rho$  и  $d$ . Параметр  $\rho$  ранее определяли (13) исходя из продолжительности жизненного цикла инновационных базисных технологий (ИБТ). Однако, имеется и другая возможность для определения параметра  $d$  исходя из логистического уравнения (10) диффузии ИБТ. Действительно, используя уравнение (10), нетрудно показать, что темпы роста технологического уровня в новых отраслях экономики, основанных на ИБТ, определяются следующей формулой:

$$q_a = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{cd \exp[-d(t - T_0)]}{1 + c \exp[-d(t - T_0)]} \quad (28)$$

Следовательно, в момент подъема нового БЦК, когда  $t = T_b$ , из (28) имеем:

$$q_{ab} = \frac{\dot{a}}{a} \Big|_{t=T_b} = \frac{cd \exp[-d(T_b - T_0)]}{1 + c \exp[-d(T_b - T_0)]}.$$

Учитывая, что  $T_b - T_0 = 0,877/d$  (15), отсюда непосредственно получаем соотношение:

$$d = 1,27 q_{ab}. \quad (29)$$

Если учесть, что в экономике США ожидаются темпы роста около 5% в новых отраслях, основанных на ИБТ, то из (29) получается, что  $d \cong 0,0635$ , т.е. очень близкая к ранее полученному значению (13).

Графики, иллюстрирующие динамику  $q_A(t)$ , полученную из приближенных формул (25) и (26) при различных, но более высоких значениях начального соотношения уровня новых базисных технологий к среднему по всей экономике ( $p$ ), представлены на рис. 8. Ранее мы оценили коэффициент эффективности ИБТ (19)  $p \cong 1,2$  исходя из ожидаемого умеренного темпа роста технологического уровня в начале подъема нового БЦК  $q_{Ab} = 1,25\%$ . Однако имеются также более оптимистические ожидания:  $q_{Ab} = 2,5\%$ . А это означает, что коэффициент эффективности грядущих ИБТ может оказаться гораздо выше (см. табл. 1):  $p \cong 1,4$ . Поэтому на рис. 8 даны графики для  $q_A$  при значениях:

$\rho_4^* = 1,3$  и  $\rho_5^* = 1,4$ . На рис. 8, для сравнения, также представлены графики  $q_A$ , полученные ранее (см. рис. 4) численным решением исходного дифференциального уравнения (20) с логистической кривой (10) в правой части уравнения.

Как видно из рассмотрения графиков  $q_A$  и  $q_A^*$ , рассчитанных при  $\rho_3 = \rho_3^* = 1,2$  по исходному уравнению (20) и приближенному решению (25), они практически сливаются на всем протяжении 6-го БЦК, что свидетельствует о высокой точности приближенного решения (25). Небольшое отклонение двух указанных решений имеет место только в период депрессии (2010–2018 гг.), что естественно, учитывая большую неопределенность, присущую этому периоду. Графики соответствующих темпов экономического роста ( $q_V$ ) представлены на рис. 9. Как видно из рассмотрения графиков на этом рисунке, темпы экономического роста в США достигнут рекордных 4% уже в 2020-е годы, а затем плавно будут снижаться до 3,3% к 2050 году. Таким образом, NBIC-технологии, благодаря мощному синергетическому эффекту, создают благоприятные условия для динамичного экономического роста на долгосрочный период в течение всего 6-го БЦК.

### Выводы

1. 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 годы до 3,5% в 2020–2030-е годы, а темпы экономического роста достигнут 3,3–4,0%.

2. Правительства развитых стран, как ключевые акторы в области разработки NBIC-технологий, должны сегодня проводить целенаправленную экономическую политику по осуществлению стратегии инновационно-технологического прорыва. Необходимо концентрировать все ресурсы и усилия на практическом освоении кластера NBIC-технологий, формирующих 6-й ТУ, новую структуру мировой экономики. Период с 2014 по 2018–2020 гг. является самым благоприятным временем для освоения и распространения новой волны базисных инноваций на основе NBIC-конвергентных технологий.

### Список литературы

1. Акаев А.А., Пантин В.И., Айвазов А.Э. Анализ динамики движения мирового экономического кризиса на основе теории // Докл. на I Российском экономическом конгрессе, МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2009 г. – 10 дек.
2. Акаев А.А., Рудской А.И. Анализ и прогноз влияния шестого технологического уклада на динамику мирового экономического развития / В книге «Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы». М: ЛИБРОКОМ, 2013. – С. 142–166.
3. Roko M., Bainbridge W.S. Converging Technologies for Improving Human Performance // WTEC. – 2003.
4. Bainbridge W.S., Roko M. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations / Converging Technologies in Society. Dordrecht: Springer, 2006.
5. Mankiw G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth // Quarterly Journal of Economics. – 1992, vol. 107 (2). – pp. 407–437.
6. Акаев А.А., Садовничий В.А., Ануфриев И.Е. Усовершенствованная НИОКР-модель для прогнозных расчетов совокупной производительности факторов экономического роста / В книге «Мировая динамика». М.: КРАСАНД, 2014. – С. 15–50.
7. Jorgenson D., Stiroh K. Information Technology and Growth // American Economic Review. – 1999. – May. – p. 113.
8. Дубовский С.В. Нестационарный НТП в глобальном моделировании / Системное моделирование: модели и методы. М: ВНИИСИ, 1989, вып. 20. – С. 20–50.
9. Акаев А.А. Основы современной теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом /

В книге «Анализ и моделирование глобальной динамики». М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – С. 17–43.

10. Hirooka M. Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective. – Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2006. – p. 426.

**References**

1. Akayev A.A., Pantin V.I., Ayzavov A.E. Analysis of the driving dynamics of the global economic crisis on the basis of the theory // Dokl. I on the Russian Economic Congress, MSU. MV University. – 2009 December 10.
2. Akayev A.A., Rudskoy A.I. Analysis and forecast of the impact of the sixth technological structure on the dynamics of global economic development / In the book "World Dynamics: patterns, trends and prospects." M: LIBROKOM, 2013. – P. 142–166.
3. Roko M., Bainbridge W.S. Converging Technologies for Improving Human Performance // WTEC/ – 2003.
4. Bainbridge W.S., Roko M. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations / Converging Technologies in Society. Dordrecht: Springer, 2006.
5. Mankiw G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth // Quarterly Journal of Economics. – 1992, vol. 107 (2). – P. 407–437.
6. Akayev A.A., Sadovnichy V.A., Anoufrieв I.E. Advanced R & D model for predictive calculations of aggregate productivity growth factors / In the book "World Dynamics". M.: Krasand, 2014. – P. 15–50.
7. Jorgenson D., Stiroh K. Information Technology and Growth // American Economic Review. – 1999. – May. – P. 113.
8. Dubovskii S.V. Unsteady NTP global modeling / System modeling: models and methods. M.: VNIISI, 1989, вып. 20. – P. 20–50.
9. Akayev A.A. The modern theory of innovation and technological development and managing the innovation process / In the book "Analysis and modeling of global dynamics." M.: Book House "LIBROKOM", 2010. – P. 17–43.
10. Hirooka M. Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective. – Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2006. – P. 426.

Акаев Аскар Акаевич – доктор технических наук, профессор, Иностраный член РАН, главный научный сотрудник Института математических исследований сложных систем МГУ им. М.В. Ломоносова

Akayev Askar – Doctor of Technical Sciences, Professor, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Senior Research Professor at Institute of the Mathematical Investigations of Complex Systems M.V. Lomonosov Moscow State University

Ануфриев Игорь Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Anufriev Igor – Candidate of Physics and Mathematical Sciences, Assistant professor, St. Peterburg

e-mail: askarakaev@mail.ru; igevan@mail.ru

