

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ NBIC-ТЕХНОЛОГИЙ И МИРОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

Аскар АКАЕВ

доктор технических наук,
профессор, иностранный член РАН,
главный научный сотрудник Института
математических исследований сложных систем
МГУ им. М. В. Ломоносова (119991, Москва,
Ленинские горы, ГСП-1, ИММИСС).
E-mail: askarakaev@mail.ru

Андрей РУДСКОЙ

доктор технических наук,
профессор, член-корр. РАН, ректор
Санкт-Петербургского государственного
политехнического университета,
научный руководитель НИИ материалов
и технологий (нанотехнологий) (195251,
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29).
E-mail: rector@spbstu.ru

Аннотация

В настоящей работе прогнозируется, что в экономиках развитых стран в 2014—2015 годах начнется заметное оживление, которое в 2017—2018 годах перейдет в подъем 6-го большого экономического цикла Кондратьева (6-й БЦК, 2018—2050 годы). Базисными инновациями 6-го БЦК станут NBIC-технологии (нано-, био-, инфо- и когнитивные технологии). Локомотивами повышательной волны 6-го БЦК станут наиболее развитые страны: США, ЕС и Япония — признанные лидеры в исследовании и разработке NBIC-технологий. 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 БЦК (1982—2006 годы). **Ключевые слова:** мировая экономика, темпы роста, теория Шумпетера—Кондратьева, парадигма Хирооки, конвергентные NBIC-технологии, синергетический эффект, циклы Кондратьева.

Введение

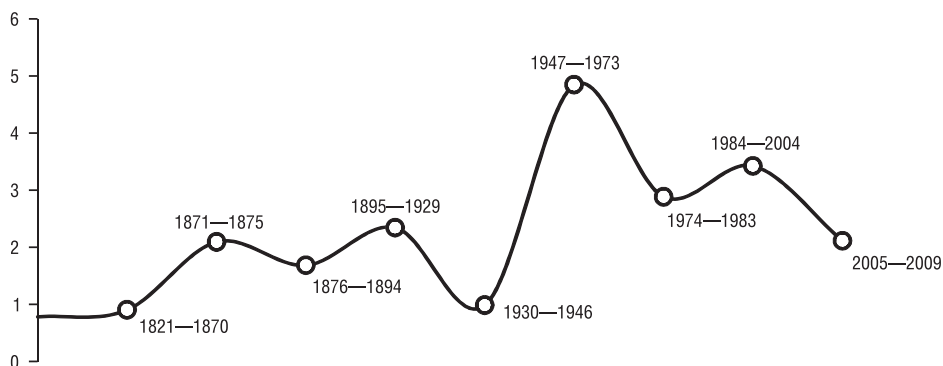
В последнее десятилетие появилось множество работ, в которых утверждалось, что наблюдаемая в течение последних сорока лет тенденция замедления темпов роста экономик развитых стран, а также мировой экономики в целом, сложившаяся при переходе от 4-го большого цикла Кондратьева (далее — БЦК) (4-й БЦК, 1946—1982 годы) к 5-му БЦК (1982—2018 годы), — закономерное явление и что эта тенденция продолжится в XXI веке, по крайней мере на протяжении всего 6-го БЦК (2018—2050 годы). Подробнее речь о БЦК пойдет во втором разделе статьи.

В настоящей работе мы показываем, что NBIC-технологии, являющиеся ядром грядущего 6-го ТУ (технологического уклада), благодаря мощному синергетическому эффекту, порождаемому конвергенцией нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий, изменят эту тенденцию на повышательную. Причем локомотивами грядущей повышательной волны экономического подъема в мире станут наиболее развитые государства: США, ЕС и Япония — признанные лидеры в области исследования и разработки NBIC-технологий. Россия

сегодня не сильно отстает от указанных лидеров и при определенных условиях может к ним присоединиться.

1. Тенденция замедления темпов роста мировой экономики в период 5-го БЦК (1982–2018 годы)

Общеизвестно, что научно-технический прогресс является главным двигателем современного экономического развития. Лауреат Нобелевской премии по экономике Роберт Солоу убедительно доказал, что именно технический прогресс, реализуемый в инновациях, является основным источником экономического роста [Solow, 2000]. Он показал, что более $\frac{3}{4}$ темпов роста современной экономики имеют своим источником технический прогресс. Действительно, благодаря научно-технической революции, породившей эпохальные инновации, в XX веке были достигнуты невиданные темпы роста мировой экономики (рис. 1). В целом по миру среднегодовые темпы роста ВВП составили в 1948–1973 годы 4,9%. Мировой экономический кризис 1970-х годов привел к значительному спаду, среднегодовые темпы роста ВВП по миру в 1973–2001 годы снизились до 3,1%. Оправившись после кризиса 2001 года, мировая экономика вновь набрала темпы: в 2003–2007 годах она росла в среднем на 3,6% в год. Однако следует отметить, что это стало результатом бурного подъема растущих экономик стран БРИК. Кризис мировой финансовой и экономической системы, разразившийся в 2007–2008 годах, вновь привел к усилению тенденции глобального замедления экономического роста. Так, темп прироста мирового ВВП в 2013 году составил всего 2,1%, и это самый низкий показатель с 2009 года, когда завершилась острая фаза мирового финансового кризиса. В 2014 году ожидается рост до 3%. Таким образом, после былых рекордных показателей мировая экономика вступила в период замедления темпов роста, углубления и учащения кризисов, растущей неопределенности (см. рис. 1).



Источники: [World Bank 2010; Maddison, 2010].

Рис. 1. Динамика относительных среднегодовых темпов роста мирового ВВП, 1800–2009 годы (%)

Не удивительно, что после мирового экономического кризиса 2000—2001 годов, охватившего сферу информационных технологий и связанную с ней «экономику знаний», была начата и оживленно пошла дискуссия о перспективах развития технического прогресса в XXI веке и о его влиянии на экономическое развитие. Авторы разделились на два лагеря. Одни утверждали, что постулат о постоянном ускорении научно-технического прогресса сохраняет свою силу и потому закономерно появление в ближайший период прорывных базисных технологий, способных в очередной раз обеспечить невиданные темпы экономического роста и решить накопившиеся проблемы как в энергоэкологической, так и в социальной сфере и позволяющих резко повысить уровень и качество жизни людей на Земле [Яковец, 2004; Ришар, 2006]. Другие скептически относятся к возможностям современного технического прогресса и полагают, что в 1970-х годах произошел переход от революционного развития науки и техники к эволюционному, вследствие чего в XXI веке, по крайней мере в первой его половине, следует ожидать постепенного замедления темпов технического прогресса [Hirooka, 2006; Чернов, 2006]. Они отмечают, что за последние тридцать лет в большинстве отраслей науки и техники не наблюдалось революционных достижений, а темпы улучшения технических параметров замедлились.

Более того, в недавней работе видного американского ученого-экономиста Роберта Гордона [Гордон, 2013] утверждается, что экономический скачок последних 250 лет — это уникальный случай в истории человечества, и выдвигается шесть препятствий на пути дальнейшего инновационного развития главной экономики мира — экономики США. Вот эти препятствия: (1) демографический фактор, связанный с выходом на пенсию поколения «бэби-бума»; (2) снижение качества образования; (3) усиление неравенства в доходах; (4) расширение аутсорсинга, вынуждающего американских рабочих конкурировать с дешевой рабочей силой из развивающихся стран с растущей экономикой; (5) ухудшающееся состояние окружающей среды и энергетические проблемы; (6) одновременный огромный дефицит домохозяйств и государства. По мнению авторов настоящей статьи, все эти проблемы не являются непреодолимыми препятствиями для революционных инноваций. Напротив, с большинством из них США уже встречались в XX веке и такие великие президенты, как Франклин Рузвельт и Джон Кеннеди, весьма успешно их решали, опираясь в первую очередь на достижения науки, техники и технологий.

Следует также обратить внимание на весьма популярную книгу известного американского журналиста и педагога Ричарда Хейнберга [Хейнберг, 2013], в которой объявляется, что экономический рост закончился раз и навсегда, и обсуждается, каким образом человечество сможет адаптироваться к этой новой экономической реальности. Причем эта новая экономическая реальность, по мнению автора, обусловлена тем, что в мире заканчивается дешевая легкодоступная

нефть. На это возразим, что разведанных запасов нефти хватит на большую часть XXI века, да и технологии нефтедобычи постоянно совершенствуются. Хотя справедливости ради следует отметить, что высокие цены на нефть являются одними из основных факторов, ограничивающих сегодня восстановление мировой экономики после кризиса 2008—2009 годов.

Естественно, чтобы разобраться в этом волнующем всех вопросе, специалисты в первую очередь обращаются к теории экономического роста. Из классической теории экономического роста Роберта Солоу следует, что в долгосрочном периоде в условиях сбалансированного роста темпы экономического роста q_Y определяются исключительно темпами технического прогресса q_A и темпами роста населения q_N [Столерю, 1974]:

$$q_Y = \frac{dY}{Ydt} = \frac{dN}{Ndt} + \frac{1}{1-\alpha} \frac{dA}{Adt} = q_N + \frac{1}{1-\alpha} q_A, \quad (1)$$

где: Y — объем ВВП; A — уровень технического прогресса; N — численность населения; $(1-\alpha)$ — доля оплаты труда в выпуске. Известно, что в 1960-х годах человечество совершило демографический переход, суть которого состояла в переходе от взрывного гиперболического роста численности населения Земли в первой половине XX века к плавному снижению темпов роста с перспективой стабилизации населения мира к концу XXI века на уровне 10,36 млрд [Капица, 1999]. Итак, темпы роста численности населения Земли (q_N), достигнув своего пика в 2,19% в 1963 году, начали затем плавно снижаться и сегодня составляют примерно 1% [Коротаяев и др., 2007]. В дальнейшем они будут только уменьшаться, асимптотически приближаясь к нулю, то есть $q_N \rightarrow 0$ при $T \rightarrow \infty$.

Что же касается технического прогресса, его динамика описывается уравнением Кузнеця—Кремера [Коротаяев и др., 2007]:

$$q_A = \frac{dA}{Adt} = aN, \quad a = const. \quad (2)$$

Численность населения мира в XXI веке будет расти с замедлением, стремясь к стабилизации на определенном стационарном уровне [Долгоносков, 2009]. Очевидно, что при этом следует ожидать замедления технического прогресса (2), а следовательно, и замедления экономического роста в соответствии с формулой (1).

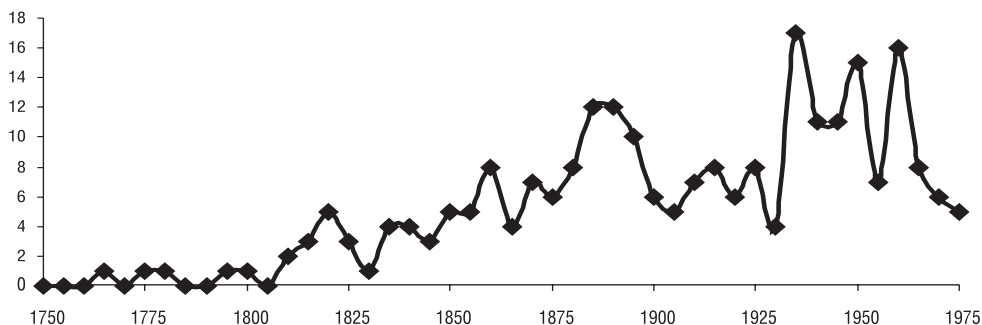
Таким образом, неоклассическая теория экономического роста (1)—(2) также подтверждает факт замедления экономического роста. Однако это является лишь свидетельством того, что указанная теория, справедливая для индустриальной эпохи, когда решающую роль играл физический капитал, перестала работать в информационную эпоху, когда ключевую роль играет уже капитал человеческий [Лукас, 2013]. Для современной эпохи более подходят эндогенные модели экономического роста, основанные на первоочередном учете

человеческого капитала, а также технического прогресса, определяемого по НИОКР-моделям [Акаев, Садовничий, Ануфриев, 2014]. К тому же грядущий 6-й технологический уклад, ядром которого являются NBIC-конвергентные технологии [Глазьев, 2010; Казанцев и др., 2014], обладает значительным синергетическим потенциалом, что может существенно ускорить технический прогресс в будущем.

Итак, с конца XX века человечество вступило в информационную эпоху, которая достигнет своего расцвета к 2050 году, завершив 300-летнюю эру индустриальной цивилизации. Возможно, что прорывные информационные технологии вкупе с NBIC-технологиями, ожидающие масштабного внедрения в предстоящем десятилетии (2015—2025 годы), смогут изменить ситуацию с экономическим ростом коренным образом? Рассмотрим такую возможность подробнее.

2. Из теории инновационно-циклического экономического развития Шумпетера—Кондратьева

Научно-технический прогресс в целом и особенно инновационный процесс, как ныне общепризнано [Hirooka, 2006, Шумпетер, 1982], развиваются неравномерно во времени, им присуща цикличность. Следствием этого являются цикличные колебания экономической деятельности. В центре внимания исследователей в XX столетии находились длинноволновые колебания, открытые великим русским экономистом Николаем Кондратьевым [Кондратьев, 2002]. Изучая в 1920-х годах закономерности происходящих в мировой экономике явлений, он обнаружил длинные циклы экономической конъюнктуры примерно полувековой продолжительности, которые получили название «больших циклов Кондратьева» (БЦК). Он всесторонне обосновал закономерную связь «повышательных» стадий этих циклов с волнами технических изобретений и их практического использования в виде инноваций (инновационных продуктов и технологий). Сказанное хорошо иллюстрируется графиком, представленным на рис. 2. Из данного графика видно, что темпы технологического



Источник: [Silverberg, Verspagen, 2003].

Рис. 2. Темпы технологического роста (число базовых инноваций по пятилетиям)

роста, достигнув максимума в период с 1930-го по 1960-е годы, затем пошли на спад, подтверждая предположения, сделанные ранее. Более того, мы видим, что современное индустриальное общество берет начало с промышленной революции XVIII века и пять циклов Кондратьева были сгенерированы сменяющимися друг друга волнами базисных инноваций, пиком которых был 4-й цикл Кондратьева (1946—1982 годы). Базисными инновациями 4-го БЦК стали эпохальные достижения научно-технической революции XX века (рис. 3): атомная энергетика, квантовая электроника и лазерные технологии; электронные вычислительные машины и автоматизация производства; реактивные и ракетные двигатели; глобальная спутниковая связь и телевидение. Причем все эти технологии были разработаны и получили широчайшее применение впервые в истории человечества. Неудивительно, что 4-й ТУ привел к рекордным за всю историю человечества темпам мирового экономического роста — 4,9% на протяжении четверти века, в период с 1948 по 1973 год (см. рис. 1). Ядром 5-го ТУ стали микроэлектроника, персональные компьютеры, информационные технологии и биотехнологии, которые являются производными от эпохальных инноваций 4-го ТУ. Поэтому вполне естественно, что экономическая эффективность 5-го ТУ оказалась гораздо ниже: темпы мирового экономического роста снизились до 3,1% (см. рис. 1). То, что данная тенденция действительно связана с уменьшением количества и эффективности инновационных технологий, подтверждают наблюдавшиеся в тот же период тенденции к сокращению доли валовых инвестиций в мировом ВВП (рис. 4), а также тенденция к снижению макроэкономической эффективности инвестиций, измеряемой в долларах прироста ВВП на доллар инвестиций (рис. 5). С началом 5-го цикла Кондратьева (1980-е годы) мир вступил в информационное общество, которое достигнет своего расцвета к концу 6-го цикла Кондратьева (около 2050 года). Возможно, тогда и следует ожидать свершения новой научно-технической ре-

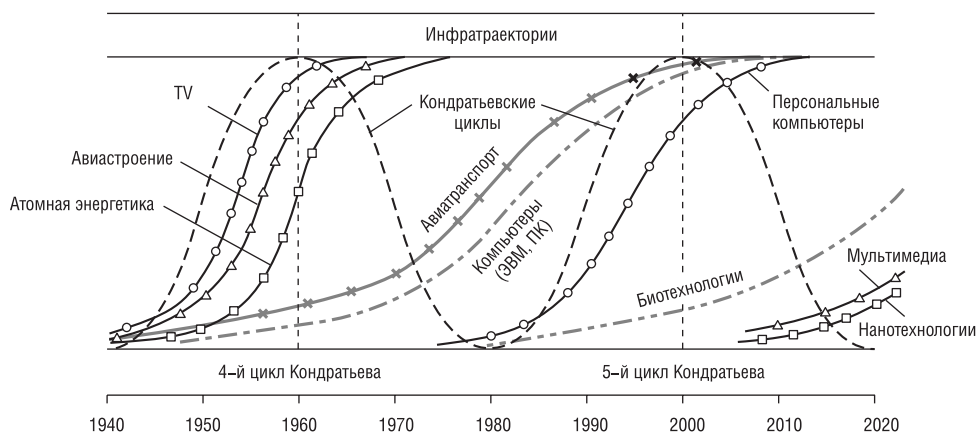
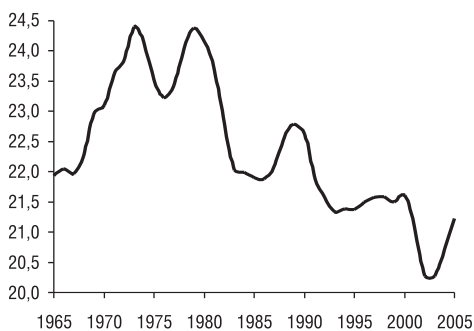
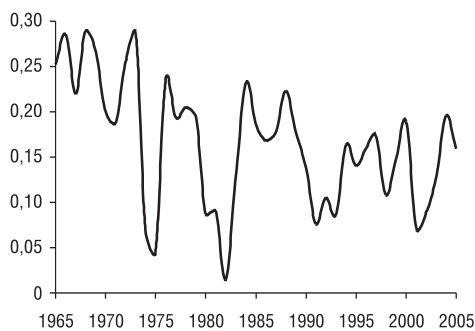


Рис. 3. Диффузия инноваций вдоль подъемов циклов экономической активности Кондратьева



Источник: [World Bank, 2010].

Рис. 4. Динамика валовых инвестиций в основной капитал (% мирового ВВП)



Источник: [World Bank, 2010].

Рис. 5. Динамика мировой эффективности инвестиций (долл./долл.)

волюции с эпохальными инновациями [Яковец, 2004], которые откроют новую эру долгосрочного технологического и экономического подъема и процветания, как это было в середине XX века.

Йозеф Шумпетер развил учение Кондратьева о больших циклах конъюнктуры и разработал инновационную теорию длинных волн, интегрировав ее в общую инновационную теорию экономического развития [Shumpeter, 1939]. Совсем недавно Масааки Хироока [Hirooka, 2006] доказал на основе обработки и анализа большого массива эмпирических данных существование тесной корреляции нововведений и больших циклов Кондратьева и впервые подтвердил, что диффузия нововведений строго синхронизируется с повышательной волной кондратьевского цикла и достигает своего созревания в области наивысшего пика цикла, как показано на рис. 3. Причем различные базисные инновации благодаря действию механизма самоорганизации формируют целый кластер и появляются группой на стадии депрессии. Это явление установил Герхард Менш [Mensch, 1979] и назвал его «триггерным эффектом депрессии». Иначе говоря, депрессия заставляет предприятия искать возможности для выживания, а инновационный процесс может их предоставить, то есть депрессия запускает процесс внедрения инноваций! Кластеры базисных технологий приводят к возникновению новых отраслей и, в свою очередь, запускают очередной большой цикл Кондратьева. Благодаря синергетическому эффекту взаимодействие инноваций внутри кластера вызывает мощный кумулятивный рост экономики, так что именно инновации и являются основным двигателем экономического развития.

3. Инновационная парадигма Хирооки

Процесс диффузии инноваций детально и всесторонне изучен [Hirooka, 2006], и установлено, что он подчиняется логистическому уравнению Ферхюльста:

$$\frac{dy}{dt} = ay(y_0 - y), \quad (3)$$

где: y — спрос на товар в момент времени t ; y_0 — предельная величина объема рынка; a — константа. Решением этого нелинейного уравнения является логистическая кривая, описываемая уравнением (рис. 6):

$$y = \frac{y_0}{1 + c \exp(-ay_0 t)}, \quad c = \text{const}. \quad (4)$$

На практике продолжительность диффузии инновационного продукта на рынке принято выражать отрезком времени Δt между $y_{\min}/y_0 = 0,1$ и $y_{\max}/y_0 = 0,9$ (рис. 6), который довольно точно отражает реальное время диффузии [Нироока, 2006].

Нелинейный характер диффузии инноваций (4) означает, что каждая инновация имеет траекторию развития, которая достигает уровня насыщения (зрелости) в пределах определенного времени, означающего завершение жизненного цикла инновации. Это дает возможность идентифицировать любую инновацию, определяя временной отрезок траектории ее развития. М. Хироока установил, что жизненный цикл нововведений постепенно сокращался: с 90 лет во времена первой промышленной революции (XVIII век) до 25—30 лет в настоящее время.

Отдельные инновации распространяются за пределы одного цикла Кондратьева к следующему циклу (см. рис. 3), способствуя появлению новых инфраструктур и сетей, формируя более длинную траекторию развития, которую М. Хироока назвал инфратраекторией (например, компьютеры, авиастроение, биотехнологии и др.). Указанные инновации называются магистральными (стволовыми); они сначала распространяются, создавая новые рынки, но затем их потенциал расширяется, чтобы образовать новую инфраструктуру в экономике. Инфратраектории также образуют четко определенный кластер, причем каждый такой кластер имеет стержневую магистральную инновацию. Например, в текущем 5-м БЦК в этом качестве выступают компьютерные технологии. Магистральные инновации, в свою очередь, также вызывают различные нововведения и институциональные изменения, которые способствуют значительному расширению рынков в следующем цикле Кондратьева. Магистральные инновации грядущего 6-го БЦК будут создаваться уже на базе информационных технологий, которые и сформируют мощные инфратраектории путем конвергенции с нано-, био- и когнитивными технологиями.

Хироока также установил, что инновационная парадигма состоит из трех логистических траекторий (рис. 7): технологической, разработки и диффузии [Нироока, 2006]. Технологическая траектория представляет собой совокупность «ключевых» технологий, относящихся к рассматриваемой инновации, которая возникла в результате какого-либо значимого технического изобретения или научного открытия.

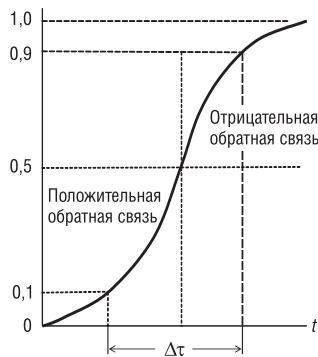
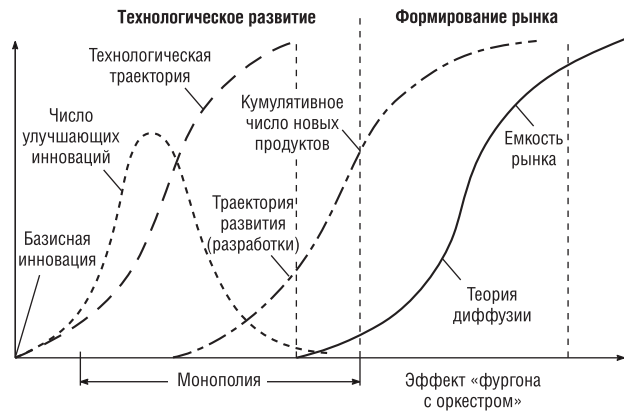


Рис. 6. Логистическая кривая диффузии инноваций



Источник: [Hirooka, 2006].

Рис. 7. Структура инновационной парадигмы с тремя траекториями

Траектория разработки (освоения инновации) — это совокупность новых инновационных продуктов, полученных путем применения указанных ключевых технологий. Траектория разработки играет самую важную роль в инновационной парадигме, поскольку именно здесь осуществляется передача технологических знаний от академических институтов промышленности и возникают венчурные предприятия для промышленного освоения инновационного продукта с дальнейшей его коммерциализацией. Благоприятные возможности для венчурных предприятий имеют тенденцию концентрироваться в первые 10—15 лет первой половины траектории разработки. Именно в этот период, сразу после окончания технологической траектории, начинается интенсивная диффузия инновационного продукта на рынок и продолжается она порядка 25—30 лет — до момента насыщения рынка.

Хироока впервые выделил и исследовал траекторию развития технологии и показал, что она также описывается логистической кривой и длится также около тридцати лет, начавшись с какого-либо значительного открытия или технического изобретения. Таким образом, инновационная парадигма имеет каскадную структуру, состоящую из трех логистических траекторий, отстоящих друг от друга на определенном фиксированном расстоянии, установленном эмпирическим путем. Это замечательное свойство инновационной парадигмы позволяет осуществлять довольно точное прогнозирование траектории диффузии инновационных продуктов на рынок по заранее установленной траектории развития технологии (см. рис. 7). Поскольку последняя опережает первую на 25—30 лет, она легко может быть построена еще до начала поступления новых продуктов на рынок. Пользуясь этим обстоятельством, Хироока детально проанализировал траектории развития наиболее перспективных технологий будущего, которые могут сформировать кластер базисных технологий для предстоящего 6-го БЦК (табл. 1): мультимедиа, нанотехнологии, биотехнологии, генную инженерию

Базовые направления технологических укладов

Технологический уклад		
4-й (1940—1980)	5-й (1980—2020)	6-й (2020—2060)
<ul style="list-style-type: none"> • автоматизация производства • нефтеугольная и атомная энергетика • ЭВМ, компьютеризация • химизация с/х • зеленая революция • авиастроение • автомобилестроение • глобальная связь и телевидение 	<ul style="list-style-type: none"> • микроэлектроника • нефтегазовая энергетика • персональные компьютеры и Интернет • биотехнология микроорганизмов • информационные технологии • робототехника 	<ul style="list-style-type: none"> • NBIC-технологии • альтернативная энергетика, включая водородную • глобальные информационные сети, мультимедиа • фотоника и оптоинформатика • генная инженерия и регенерация органов человека

и регенерацию человеческих органов, сверхпроводники и квантовые компьютеры. Он построил для всех указанных технологий траектории их развития и установил, что все они находятся на пороге коммерциализации и достигнут зрелости в 2010—2015 годы, а это означает, что именно в эти годы начнется интенсивная диффузия инновационных продуктов на рынки и, таким образом, будет запущен 6-й большой цикл Кондратьева с подъемом в 2020—2030 годы. Однако все прорывные базисные технологии предстоящего 6-го цикла Кондратьева (см. табл. 1) являются эволюционным развитием предыдущих, среди них нет революционных технологий, как это было с 4-м ТУ, породившим самую мощную экономическую волну Кондратьева. Поэтому многие экономисты предполагают, что в период предстоящего 6-го БЦК не приходится ожидать более высоких темпов роста, чем в предыдущие периоды, относящиеся к 4-му и 5-му БЦК. Однако большинство из них не учитывают мощного синергетического эффекта, порождаемого конвергенцией NBIC-технологий, благодаря которому, как мы увидим позже, 6-й ТУ придаст большее ускорение мировой экономике, чем 5-й ТУ, хотя оно не будет столь же мощным, как при 4-м ТУ.

4. Предполагаемое скорое начало подъема 6-й длинной волны экономического развития Кондратьева

Пользуясь инновационной парадигмой Хирооки (см. рис. 7), попытаемся спрогнозировать начало подъема 6-го БЦК. Мы довольно точно знаем начало траектории развития нанотехнологий: 1985 год — открытие и синтез фуллерена, разновидности углерода C_{60} , состоящего из 60 атомов углерода, располагающихся в трехмерном пространстве и образующих замкнутый сферический каркас, — первой искусственной наноструктуры; 1986 год — создание атомно-силового микроскопа (АСМ), позволяющего видеть отдельные атомы и манипулировать ими и ставшего основным инструментом для создания новых наноструктур и их измерений [Уильямс и Адамс, 2010]. В дальнейшем в ведущих странах мира в обоих направлениях шла весьма интенсивная

широкомасштабная работа, которая увенчалась рядом замечательных достижений. Например, в области создания новых наноструктур, если следовать исключительно углеродной линии, можно отметить такие выдающиеся достижения: 1991 год — открытие углеродных нанотрубок с многообещающими перспективами применения в ряде областей; 2004 год — открытие графена, плоской углеродной пленки толщиной в один атом, которая сегодня считается наиболее перспективным материалом для нанoeлектроники. В целом наноматериалы, или, как всё чаще их называют, «умные материалы», благодаря своим уникальным свойствам сегодня находят применение практически во всех сферах человеческой деятельности, внося в них принципиальные новшества и революционные изменения [Рудской, 2007].

Наноинструменты также непрерывно эволюционировали и совершенствовались. В результате появились такие ключевые наноинструменты, как сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) с компьютерным управлением, позволяющие в оперативном режиме с высокой точностью манипулировать наночастицами; оптические пинцеты для захвата и перемещения наноструктур в трехмерном пространстве. Наноманипуляторы, снабженные пьезоэлектрическими двигателями, позволяют совершать мягкие управляемые перемещения в любых направлениях. Одним словом, наноинструменты сегодня достигли такого уровня совершенства, когда перед учеными и специалистами открываются широчайшие возможности для создания новых наноструктур, измерения их свойств, поиска новых приложений на практике. Созданы также наноинструменты производственного назначения для изготовления наночастиц и наноматериалов в требуемых рынком объемах [Уильямс и Адамс, 2010].

Итак, мы убедились в том, что нанотехнологии (наноматериалы и наноинструменты) развиваются весьма успешно и, в полном соответствии с инновационной парадигмой Хирооки (см. рис. 7), насыщение произойдет приблизительно в 2016 году (30 лет спустя после создания АСМ в 1986 году). Следовательно, также в соответствии с инновационной парадигмой Хирооки, в это же время, сразу после окончания технологической траектории, в 2016 году начнется масштабная диффузия инновационных нанопродуктов на рынки, что приведет к подъему экономик развитых стран, а затем и мировой экономики. В работе [Акаев, 2010] на основе инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера—Кондратьева также было показано, что нынешняя депрессия будет затяжной и продлится до 2016—2018 годов, а затем начнется подъем 6-го БЦК.

Можно утверждать, что *в экономиках развитых стран в 2014—2015 годах начнется оживление, а с 2017—2018 годов — подъем 6-й длинной волны экономического развития, обусловленный мощным действием 6-го ТУ, ядром которого являются NBIC-конвергентные технологии. Поэтому правительства развитых стран как ключевые акторы в данной сфере должны 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 годы является самым благоприятным временем для освоения и распространения новой волны базисных инноваций на основе NBIC-технологий [Акаев, Рудской, 2014].

Однако возникает вопрос: готовы ли инновационные продукты на основе наночастиц к широкомасштабному появлению на рынках? Обратимся в этой связи к траектории разработки нанопродуктов (см. рис. 7). Ограничимся, как и ранее, всего одной сферой применения наноструктур — электроникой. Наноэлектронику исследуют уже более 25 лет. В начале 1990-х годов были разработаны моноэлектронные логические схемы и устройства памяти, работающие при комнатной температуре. Создание нанотранзисторов в 1998 году стало поворотным пунктом в развитии наноэлектроники. В 2006 году на основе графена удалось создать самые миниатюрные молекулярные транзисторы, состоящие всего из десяти атомов. Знаменитая компания *Intel*, лидер в области создания микроэлектронных чипов на протяжении последних сорока лет, близка к созданию чипа на основе нанотранзисторов. Процессоры на основе наночипов уже на первых порах будут содержать в 25 раз больше транзисторов, работать в 25 раз быстрее и потреблять значительно меньше энергии, чем широко используемые чипы Pentium 4 [Уильямс и Адамс, 2010].

Замечательно то, что наноэлектроника уже почти готова перенять эстафету у микроэлектроники и, скорее всего, в 2016—2018 годах начнется производство наночипов с указанными выше характеристиками и сохранится действие закона Мура. Ведь специалисты уже прогнозируют, что кремниевая полупроводниковая индустрия с современными микроэлектронными технологиями достигнет физических пределов миниатюризации электронных компонентов именно к 2016 году.

Если взять всю отрасль нанотехнологий, то можно сказать, что в настоящее время она развивается с ежегодным приростом в 11%. По прогнозам Национального научного фонда США, потенциальный мировой рынок нанопродукции и нанотехнологий в 2015 году составит 1,1 трлн долл. Наибольший вклад внесут такие виды нанопродукции, как наноматериалы (31%), наноэлектроника (28%) и фармацевтика (17%). Будет создана новая наукоемкая отрасль мировой экономики на 2 млн высококвалифицированных рабочих мест [Павлов, 2013]. Так что недостатка в нанопродукции не будет. Напротив, можно ожидать мощного старта новых отраслей на основе NBIC-технологий, которые станут локомотивами 6-й длинной волны экономического развития в мире.

Россия также имеет хорошие шансы войти в число лидеров. К примеру, у истоков создания полупроводниковых наноструктур стоял выдающийся российский физик, лауреат Нобелевской премии, академик Жорес Алферов. И сегодня фундаментальные исследования по физике наноструктур и нанобиотехнологиям, проводимые под руководством Алферова в научно-образовательном центре ФТИ им. А. Ф. Иоффе в Санкт-Петербурге, находятся на переднем крае мировой наноауки

и нанотехнологий. Масштабно работает уникальный Курчатовский центр НБИКС-технологий в Москве, созданный по инициативе члена РАН Михаила Ковальчука, где непосредственно осуществляется подлинная конвергенция нано-, био-, инфо- и социогуманитарных наук и технологий. Наконец, благодаря последовательной государственной поддержке научных исследований и практических разработок в области нанотехнологий с целью коммерциализации нанотехнологических проектов было весьма своевременно создано и активно работает ОАО «РОСНАНО» под руководством Анатолия Чубайса.

5. Математические модели для прогноза экономического потенциала NBIC-технологий

В работе [Акаев, Рудской, 2014] мы подробно описали особенности NBIC-технологий, порождаемые интенсивным взаимопроникновением и взаимовлиянием нано-, био-, инфо- и когнитивных наук и технологий. Это явление, давно замеченное учеными, получило название NBIC-конвергенции [Roko, Bainbridge, 2002]. Благодаря конвергенции NBIC-технологии порождают значительный синергетический эффект. По ожидаемой масштабности будущих социально-экономических преобразований NBIC-конвергенции уже оценивают как революционные [Bainbridge, Roko, 2006]. Синергетический эффект, вызванный NBIC-конвергенцией, может оказаться столь сильным, что его вклад в повышение совокупной производительности факторов станет решающим и темпы роста мировой экономики вновь приблизятся к рекордным значениям (около 4,9%), достигнутым в период 4-го БЦК (1948—1973 годы).

Как можно оценить синергетический эффект? Рассмотрим неоклассическую модель экономического роста с физическим и человеческим капиталом, предложенную Г. Мэнкью, Д. Ромером и Д. Уэйлем [Mankiw, Romer, Weil, 1992]:

$$Y(t) = K^{\alpha}(t)H^{\beta}(t)[A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (5)$$

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; α и β — параметры производственной функции. Эмпирический анализ показал, что для развитых стран ОЭСР $\alpha = 0,14$, $\beta = 0,37$, тогда как для развивающихся стран, не относящихся к нефтедобывающим: $\alpha = 0,31$, $\beta = 0,28$ [Mankiw, Romer, Weil, 1992. P. 420]. Уравнение (5) в темповой форме имеет вид:

$$q_Y = \alpha q_K + \beta q_H + (1 - \alpha - \beta)(q_A + q_L), \quad (6)$$

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 (6) непосредственно вытекает следующая оценочная формула для

$$q_Y^{syn} = (1 - \alpha - \beta)q_A. \quad (7)$$

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, — $q_{Y_{LD}}^{syn} \cong 0,49q_A$.

В конце XX века американские экономисты Дейл Йоргенсон и Кейн Стирох [Jorgenson, Stiroh, 1999] 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 годы) на долю синергетических эффектов приходилось более $1/3$ (34,6%) прироста ВВП, тогда как в период 5-го БЦК (1982—1996 годы) 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 года) 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 (7). В работе [Акаев, Рудской, 2014] 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 [Дубовский, 1989]:

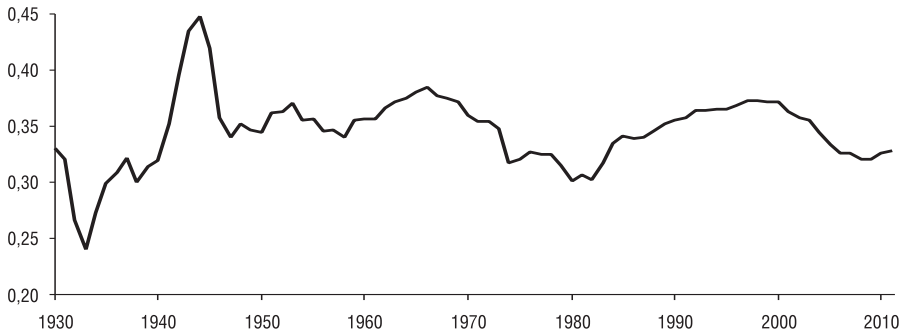
$$q_A = \frac{\dot{A}}{A} = s(t)\zeta(t)\left(\frac{a}{A} - 1\right), \quad (8)$$

где: $s(t)$ — норма накопления ($s = I/Y$, I — валовые инвестиции, Y — ВВП); $\zeta(t)$ — капиталотдача ($\zeta = Y/K$, 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 $\zeta(t)$

в долгосрочном плане также является практически постоянной величиной, если рассматривать период продолжительностью в один 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 капиталоотдачи (фондоотдачи) в экономике США в период с 1930 по 2011 год, охватывающий 4-й и 5-й БЦК (рис. 8). Функция $\zeta(t)$ для экономики США может быть достаточно хорошо описана следующей синусоидой:

$$\zeta(t) = \zeta_0 + \zeta_1 \sin \omega(t - 1987), \quad (9)$$

где: $\zeta_0 = 0,34$; $\zeta_1 = 0,03$; $\omega = \pi/15$. Для экономики США также характерно $s_0 = 0,187$.



Источник: U.S. Bureau of Economic Analysis (<http://www.bea.gov/iTable/iTable.cfm?ReqID=10&step=1#reqid=10&step=3&isuri=1&1003=16>).

Рис. 8. Динамика фондоотдачи в США, 1930–2011 годы (долл./долл.)

Ранее мы уже отмечали, что диффузия грядущих базисных инноваций происходит по логистическому закону (4), 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 определяются из следующих соотношений. Параметр c находится исходя из условий $a_{\max} = 0,9 a_0(1+c)$ и $a_{\min} = a_0$, которые уже были описаны выше (см. рис. 6) при представлении процесса диффузии инноваций логистической функцией (4). Отсюда непосредственно следует, что $c = 9$, поскольку $a_{\max}/a_{\min} = 9$. Для определения параметра d требуется координата точки перегиба (T_m) логистической кривой (10), 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 ΔT_f принимается та часть логистической кривой, которая ограничена сверху и снизу 10% максимального технологического уровня $a_0(1+c)$ (см. рис. 6). Следовательно,

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

Величину ΔT_f можно определить по инновационной парадигме Хирооки. Действительно, из парадигмы информационных технологий [Hirooka, 2006] следует, что $\Delta T_f = 70$ лет, с учетом того, что информационные технологии будут теперь служить в качестве магистральных и формировать инфратраекторию, охватывающую два БЦК, каждый продолжительностью в 35 лет. Итак, объединяя (11) и (12), получаем формулу для определения параметра d :

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

Что же касается длительности фазы интенсивного производства ΔT_i , то под ней понимается срок с момента T_s , когда появился масштабный спрос на инновацию, до момента T_e , когда спрос уже подошел к насыщению. На практике за фазу интенсивного производства обычно принимают ту часть логистической кривой (10), 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 более чем в два раза превышает длительность фазы интенсивного производства. Выше, пользуясь инновационной парадигмой Хирооки, мы уже определили сроки подъема 6-го БЦК — 2018 год, что совпадает с началом фазы интенсивного производства, то есть $T_s = 2018$ год. Но $T_e = T_m - 1/2 \Delta T_i$. Подставляя в это уравнение выражения для T_m (11) и ΔT_i (14), получаем формулу для определения T_0 , даты зарождения базисных инновационных технологий нового поколения:

$$T_0 \cong T_s - \frac{1}{d} (\ln c - 1,32). \quad (15)$$

Остается определить a_0 . Величины a и A связаны через множитель ρ — коэффициент эффективности инновационных технологий в начале подъема, то есть в точке T_s :

$$\left. \frac{a}{A} \right|_{t=T_s} = \rho. \quad (16)$$

Если данное соотношение подставить в уравнение (10), то получится формула для определения a_0 :

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

Наконец, для определения коэффициента ρ обратимся к уравнению Дубовского (8) и рассмотрим его при $t = T_0$, то есть в начале подъема 6-го БЦК:

$$q_{A_0} = \frac{\dot{A}}{A} \Big|_{t=T_0} = s(T_0)\zeta(T_0)(\rho - 1). \tag{18}$$

Отсюда непосредственно следует формула для определения коэффициента ρ :

$$\rho = 1 + \frac{q_{A_0}}{s(T_0)\zeta(T_0)}. \tag{19}$$

Подставив значения $q_{A_0} = 0,0125$, $s(T_0) = s_0$ и $\zeta(T_0) = \zeta_0$, характерные для экономики США, получаем: $\rho \cong 1,2$, то есть ожидаемая средняя эффективность NBIC-технологий на 20% выше эффективности 5-го ТУ.

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

$$\frac{dA}{dt} + s\zeta A = s\zeta a, \tag{20}$$

где $a(t)$ (10) и $\zeta(t)$ (9) — нелинейные функции, а $s = s_0 = const$. 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. 9. 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 прогно-

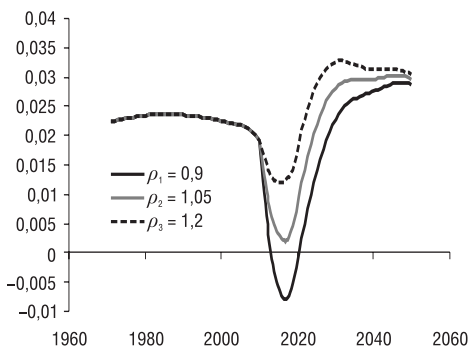


Рис. 9. Динамика темпов роста технического прогресса (a_A) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК

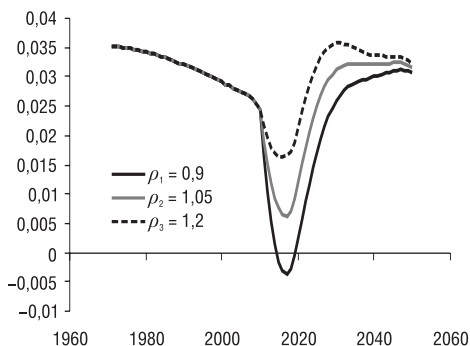


Рис. 10. Динамика темпов экономического роста (a_Y) в 5-м и 6-м (прогноз) БЦК

за (см. рис. 9), 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 достигается значительный синергетический эффект, который ускоряет темпы технического прогресса до 3,3% к 2030 году (см. рис. 9) — значительно выше, чем в период с 1980 по 2009 год — на повышательной волне 5-го БЦК. На рис. 10 представлены графики ожидаемых темпов роста в экономике США до 2050 года. Как видно из рисунка, при ожидаемом значении коэффициента эффективности NBIC-технологий $\rho_3 = 1,2$ темпы роста экономики США уже в 2020-е годы достигнут уровня благополучных 1990-х годов, а затем будут устойчиво расти до 2050 года ежегодными темпами примерно 3,4%. Такие же темпы роста в экономике США наблюдались в 1980-е годы на повышательной волне 5-го БЦК, но тогда существенным был вклад, связанный с ростом рабочей силы ($q_Y = q_A + q_N$). Вклад q_N на 6-м БЦК будет уже незначительным, что хорошо видно из сравнения графиков q_Y и q_A на рис. 11, где представлена динамика темпов роста всех трех рассматриваемых переменных: q_A ; q_Y ; q_A^{syn} .

На рис. 12 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 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 $\rho = 1,2$. Отметим, 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 (рис. 12).

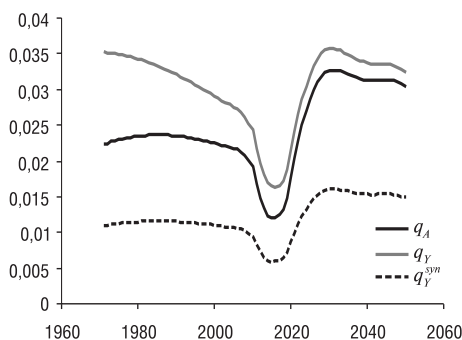


Рис. 11. Прогнозные темпы роста экономики США (q_Y) до 2050 года, технического прогресса (q_A) и вклада синергетических эффектов (q_A^{syn}) для $\rho = 1,2$

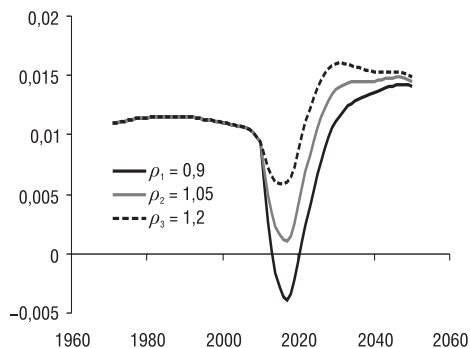


Рис. 12. Прогнозные кривые вклада синергетических эффектов NBIC-технологий в темпы роста экономики США в период 6-го БЦК, 2018–2050 годы

Выводы

На основе инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера—Кондратьева и инновационной парадигмы Хирооки прогнозируется, что в экономиках развитых стран в 2014—2015 годах начнется заметное оживление, которое в 2017—2018 годах перейдет в подъем 6-го большого цикла Кондратьева (2018—2050 годы). Базисными инновациями 6-го БЦК станут NBIC-технологии (нано-, био-, инфо- и когнитивные технологии), являющиеся ядром 6-го ТУ. Последующий подъем мировой экономики произойдет в 2020-е годы на повышательной волне 6-го БЦК.

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 годы). Таким образом, произойдет смена тенденции замедления темпов мирового экономического развития, наблюдавшейся на всем протяжении 5-го БЦК (1982—2013 годы), на повышательную тенденцию. На примере экономики США показано, что темпы технического прогресса возрастут с 2,3% в 1980-е годы до 3,3% в 2030-е годы.

Правительства развитых стран как ключевые акторы в области разработки NBIC-технологий должны 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 годы является самым благоприятным временем для освоения и распространения новой волны базисных инноваций на основе NBIC-конвергентных технологий.

Литература

1. *Акаев А. А.* Основы современной теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом // Анализ и моделирование глобальной динамики. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. С. 17—43.
2. *Акаев А. А., Рудской А. И.* Анализ и прогноз влияния шестого технологического уклада на динамику мирового экономического развития // Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы. М.: КРАСАНД, 2014. С. 142—166.
3. *Акаев А. А., Садовничий В. А., Ануфриев И. Е.* Усовершенствованная НИОКР-модель для прогнозных расчетов совокупной производительности факторов экономического роста // Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы. М.: КРАСАНД, 2014. С. 15—50.
4. *Глазьев С. Ю.* Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. М.: Экономика, 2010.
5. *Гордон Р. Дж.* Закончен ли экономический рост? Шесть препятствий для инновационного развития (на примере США) // Вопросы экономики. 2013. № 4. С. 49—67.
6. *Долгонос Б. М.* Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов. М.: ЛИБРОКОМ, 2009.

7. Казанцев А. К., Киселев В. Н., Рубвальтер Д. А., Руденский О. В. NBIC-технологии: Инновационная цивилизация XXI века. М.: Инфра-М, 2012.
8. Капица С. П. Общая теория роста человечества. М.: Наука, 1999.
9. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: Экономика, 2002.
10. Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. Законы истории. Математическое моделирование развития Мир-Системы. М.: КомКнига, 2007.
11. Лукас Р. Э. Лекции по экономическому росту. М.: Изд-во Института Гайдара, 2013.
12. Павлов М. Ю. Экономика нанотехнологий. М.: Изд-во МГУ, 2013.
13. Ришар Ж.-Ф. На переломе: Двадцать глобальных проблем — двадцать лет на их решение. М.: Ладомир, 2006.
14. Рудской А. И. Нанотехнологии в металлургии. СПб.: Наука, 2007.
15. Столерю Л. Равновесие и экономический рост. М.: Статистика, 1974.
16. Хейнберг Р. Конец роста. Новая экономическая реальность. М.: Книжный Клуб Книговек, 2013.
17. Чернов А. Ю. Что происходит с современным НТП? // ЭКО. 2006. № 4. С. 38—52.
18. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982.
19. Яковец Ю. В. Эпохальные инновации XXI века. М.: Экономика, 2004.
20. Bainbridge W. S., Roko M. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations // Converging Technologies in Society. Dordrecht: Springer, 2006.
21. Hirooka M. Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective. Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, 2006.
22. Jorgenson D., Stiroh K. Information Technology and Growth // American Economic Review. 1999. Vol. 89. No 2. P. 109—115.
23. Maddison A. World Population, GDP and Per Capita GDP, A.D.1 2003. <http://www.ggdc.net/maddison>, 2010.
24. Mankiw G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth // Quarterly Journal of Economics, 1992. Vol. 107. No 2. P. 407—437.
25. Mensh G. Stalemate in Technology — Innovation Overcame the Depression. N. Y.: Ballinger Publishing Company, 1979.
26. Roko M., Bainbridge W. S. Converging Technologies for Improving Human Performance / World Technology Evaluation Center, 2002.
27. Shumpeter J. A. Business Cycles. N. Y.: McGraw-Hill, 1939.
28. Solow R. Growth Theory. Oxford: Oxford University Press, 2000.
29. Williams L., Adams W. Nanotechnology Demystified. N. Y.: McGraw-Hill, 2007.

Askar AKAEV, Dr. Sci. (Tech.), professor, foreign member of the Russian Academy of Sciences, senior research professor at Institute of the Mathematical Investigations of Complex Systems, Lomonosov Moscow State University (GSP-1, IMSCS, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation). E-mail: askarakaev@mail.ru.

Andrey RUDSKOY, Dr. Sci. (Tech.), professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chancellor of St. Petersburg State Polytechnical University (29, Polytechnical street, St. Petersburg, 195251, Russian Federation). E-mail: rector@spbstu.ru.

Synergetic Effect of the NBIC-Technologies and Global Economic Growth in the First Half of the 21st Century

Abstract

This paper is reflecting results of forecasting scenario of economic growth and shown that in the economies of developed countries in 2014—2015 will start a noticeable revival, which in 2017—2018 go into lifting the 6th great Kondratiev's economic cycle (K-Wave 2018—2050). The radical innovations for this cycle will be NBIC-technologies (nano-,

bio-, information and cognitive technologies). The role of locomotives for coming upward wave of this 6th cycle will be belong to most developed countries — United States, Japan and EU-countries, which are recognized as a leaders in R&D of NBIC-technologies.

It is 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 5th great Kondratieff's economic cycle (K-Wave 1982—2006).

Key words: global economy, growth rates, Kondratiev-Schumpeter's theory, Hirooka's paradigm, NBIC-convergence technology, a synergistic effect, Kondratieff's circles.

References

1. Akaev A. A. Osnovy sovremennoi teorii innovatsionno-tekhnologicheskogo razvitiia ekonomiki i upravleniia innovatsionnym protsessom [The modern theory of innovation and technological development and managing the innovation process]. In: *Analiz i modelirovanie global'noi dinamiki* [Analysis and modeling of global dynamics]. Moscow: LIBROKOM Publ., 2010, pp.17-43.
2. Akaev A. A., Rudskoi A. I. Analiz i prognoz vliianiia shestogo tekhnologicheskogo uklada na dinamiku mirovogo ekonomicheskogo razvitiia [An analysis and forecast of the impact of the sixth technological mode on the dynamics of global economic development]. In: *Mirovaia dinamika: zakonomernosti, tendentsii, perspektivy* [World Dynamics: patterns, trends and prospects]. Moscow: KRASAND Publ., 2014, pp. 142-166.
3. Akaev A. A., Sadovnichii V. A., Anufriev I. E. Uovershenstvovannaia NIOKR-model' dlia prognoznykh raschetov sovokupnoi proizvoditel'nosti faktorov ekonomicheskogo rosta [Advanced R&D model for calculations TFP of economic growth]. In: *Mirovaia dinamika: zakonomernosti, tendentsii, perspektivy* [World Dynamics: patterns, trends and prospects]. Moscow: KRASAND Publ., 2014, pp. 15-50.
4. Glaziev S. Iu. *Strategiia operezhaiushchego razvitiia Rossii v usloviakh global'nogo krizisa* [Strategy of rapid development of Russia in the times of global crisis]. Moscow: Ekonomika Publ., 2010.
5. Gordon R. Dzh. Zakonchen li ekonomicheskii rost? Shest' prepiatstviu dlia innovatsionnogo razvitiia (na primere SShA) [Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, no. 4, pp. 49-67.
6. Dolgonosov B. M. *Nelineinaia dinamika ekologicheskikh i gidrologicheskikh protsessov* [Nonlinear dynamics of ecological and hydrological processes]. Moscow: LIBROKOM Publ., 2009.
7. Kazantsev A. K., Kiselev V. N., Rubvalter D. A., Rudenskii O. V. *NBIC-tekhnologii: Innovatsionnaia tsivilizatsiia XXI veka* [NBIC-technologies: innovative civilization of the XXI century]. Moscow: Infra-M Publ., 2012.
8. Kapitsa S. P. *Obshchaia teoriia rosta chelovechestva* [The general theory of human population growth]. Moscow: Nauka Publ., 1999.
9. Kondrat'ev N. D. *Bol'shie tsikly kon'iunktury i teoriia predvideniia* [The great cycles of conjuncture and theory of prediction]. Moscow: Ekonomika Publ., 2002.
10. Korotaev A. V., Malkov A. S., Khalturina D. A. *Zakony istorii. Matematicheskoe modelirovanie razvitiia Mir-Sistemy* [The laws of history. Mathematical modeling of the World System]. Moscow: KomKniga Publ., 2007.
11. Lukas Robert E. *Leksii po ekonomicheskomu rostu* [Lecturers on Economic Growth]. Moscow: Institut Gaidara Publ., 2013.
12. Pavlov M. Iu. *Ekonomika nanotekhnologii* [Economics of Nanotechnologies]. Moscow: Moscow University Press, 2013.
13. Rishar Zh.-F. *Na perelome: Dvadsat' global'nykh problem — dvadsat' let na ikh reshenie* [High Noon. Twenty Global Problems, Twenty Years to Solve Them]. Moscow: Ladomir Publ., 2006.
14. Rudskoi A. I. *Nanotekhnologii v metallurgii* [Nanotechnology in metallurgy]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2007.

15. Stoleriu L. *Ravnovesie i ekonomicheskii rost* [Equilibrium and economic growth]. Moscow: Statistika Publ., 1974.
16. Kheinberg R. *Konets rosta. Novaia ekonomicheskaia real'nost'* [The End of Growth Adapting to Our New Economic Reality]. Moscow: Knizhnyi Klub Knigovek Publ., 2013.
17. Chernov A. Iu. Chto proiskhodit s sovremennym NTP? [What happens with modern NTP?]. *EKO*, 2006, no. 4, pp. 38-52.
18. Shumpeter I. *Teoriia ekonomicheskogo razvitiia* [The Theory of Economic Development]. Moscow: Progress Publ., 1982.
19. Iakovets Iu.V. *Epokhal'nye innovatsii XXI veka* [Epochal Innovations of the XXI-st Century]. Moscow: Ekonomika Publ., 2004.
20. Bainbridge W. S., Roko M. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations. *Converging Technologies in Society*. Dordrecht: Springer, 2006.
21. Hirooka M. *Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective*. Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, 2006.
22. Jorgenson D., Stiroh K. Information Technology and Growth. *American Economic Review*, 1999, vol. 89, no. 2, pp. 109-115.
23. Maddison A. *World Population, GDP and Per Capita GDP, A.D. 1-2003*. URL: www.ggdc.net/maddison, 2010.
24. Mankiw G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 1992, vol. 107, no. 2, pp. 407-437.
25. Mensh G. *Stalemate in Technology — Innovation Overcame the Depression*. New York: Ballinger Publishing Company, 1979.
26. Roko M., Bainbridge W. S. *Converging Technologies For Improving Human Performance*. World Technology Evaluation Center, 2002.
27. Shumpeter J. A. *Business Cycles*. New York: McGraw-Hill, 1939.
28. Solow R. *Growth Theory*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
29. Williams L., Adams W. *Nanotechnology Demystified*. New York: McGraw-Hill, 2007.