

Конвергентные ИКТ как ключевой фактор технического прогресса на ближайшие десятилетия и их влияние на мировое экономическое развитие

А.А. Акаев, А.И. Рудской

Аннотация— Рассматривается влияние ИКТ (информационно-коммуникационные технологии) на производительность труда и экономический рост. Предлагается информационная модель для расчета вклада ИКТ в темпы технического прогресса, использующая законы роста технологического знания в секторе ИКТ, установленные Р. Курцвейлом. Разработаны три простейшие модели информационного типа для расчета темпов технического прогресса, обусловленных производством и применением ИКТ-продуктов и услуг, которые позволяют рассчитать прогнозные темпы технического прогресса по данным динамики численности активных исследователей в секторе ИКТ или динамики числа патентов, выданных в области исследований ИКТ.

Ключевые слова— информационно-коммуникационные технологии (ИКТ); эконометрический анализ влияния ИКТ на производительность и экономический рост; информационная модель расчета темпов технического прогресса, обусловленных применением ИКТ; "закон ускоренной отдачи" Курцвейла для ИКТ; модели расчета вклада ИКТ в технический прогресс в условиях ограниченных ресурсов.

I. ВВЕДЕНИЕ

В конце XX-начале XXI века информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) превратились в мощный рычаг для ускорения технического прогресса и экономического роста. Основой ИКТ служат компьютерные технологии, поэтому они являются неотъемлемой частью ИКТ. ИКТ оказывают сегодня все большее влияние на макроэкономические процессы. Развитие отраслей, активно использующих средства ИКТ, идет опережающими темпами. Особенно быстро растет объем услуг, предоставляемых посредством компьютерных технологий. Стремительно расширяются электронные рынки. Распространение ИКТ носит лавинообразный характер, благодаря уникальному свойству компьютерной техники – ни с чем не

Статья получена 20 ноября 2016.

А.А.Акаев - доктор технических наук, профессор, Иностраный член РАН, главный научный сотрудник Института математических исследований сложных систем МГУ им. М.В. Ломоносова (e-mail: askarakaev@mail.ru)

А.И.Рудской доктор технических наук, профессор, член-корр. РАН, ректор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, научный руководитель НИИ материалов и технологий (нанотехнологий) (e-mail: rector@spbstu.ru)

сравнимой скорости удешевления единицы мощности, определяемой широко известным законом Мура.

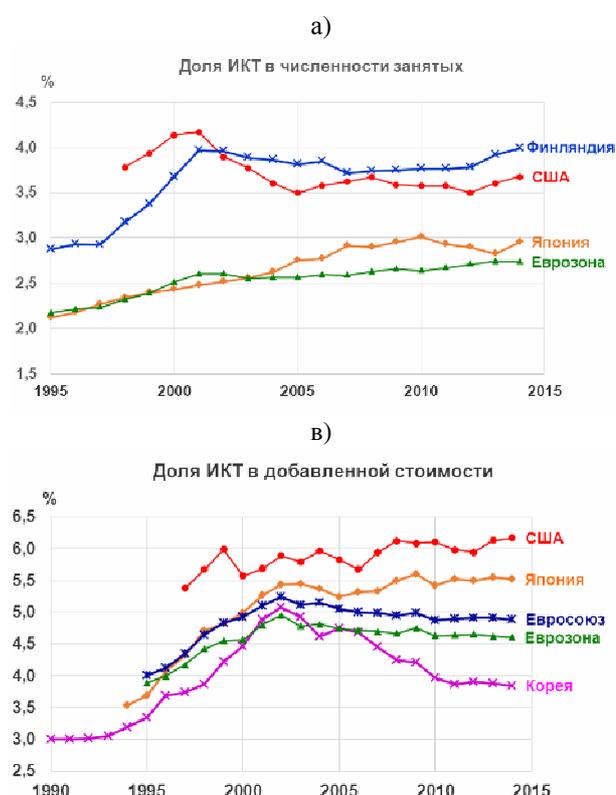


Рис. 1. Макроэкономические характеристики использования ИКТ в отраслях экономики. Источник данных: [OECD]

Во многих развитых и развивающихся странах ИКТ уже стали одним из ведущих факторов экономического роста, обеспечивая от 0,8 до 1,5 процентных пункта (п.п.) роста темпов технического прогресса. Производство товаров и услуг, тесно связанных с ИКТ, вносит в развитых странах уже 4-6% в общую добавленную стоимость (рис. 1в) и занимает 2,5-4% трудоспособного населения (рис. 1а). Инвестиции в ИКТ в развитых странах составляют 4-8% ВВП (рис. 2а), причем инвестиции в ИТ (программное обеспечение, методы вычислений) растут опережающими темпами (рис. 2в). Поэтому неудивительно, что роль ИКТ в экономике сегодня становится предметом

государственной политики, как в развитых, так и в развивающихся странах мира.

и дал толчок многочисленным исследованиям проблемы оценки влияния ИКТ на экономический рост.

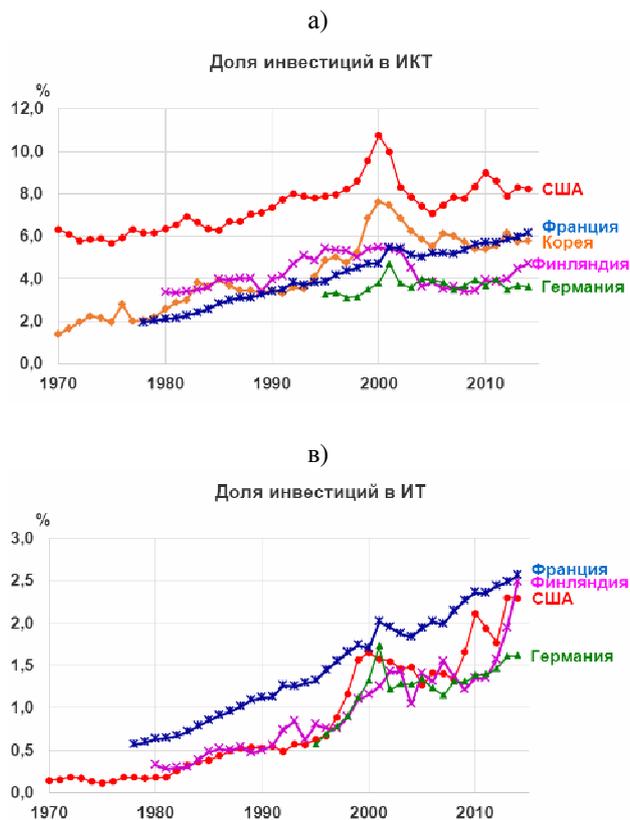


Рис. 2. Макроэкономические характеристики использования ИКТ в отраслях экономики. Источник данных: [OECD]

Сегодня большинство экономистов согласны с тем, что ИКТ способствуют существенному повышению производительности и экономическому росту. Однако, в период с 1970-х по начало 1990-х гг. экономисты, изучавшие рост совокупной производительности факторов в отраслях народного хозяйства, использующих ИКТ, отмечали лишь незначительные признаки его ускорения. Действительно, тогда сложилась парадоксальная ситуация, когда весьма энергичное и повсеместное внедрение компьютеров в экономику США и других развитых стран в большинстве случаев не приводило к ощущаемому положительному влиянию на производительность и экономический рост. В этой связи, вполне естественно началась дискуссия о влиянии ИКТ на производительность, которая проходила на фоне экспоненциального роста капитальных вложений в ИКТ во всех развитых странах, как это видно из рассмотрения рис. 2а. Дискуссия получила широкую известность благодаря "парадоксу производительности", сформулированному лауреатом Нобелевской премии Робертом Солоу: "Вы можете увидеть эру компьютеров повсюду вокруг себя, но только не в цифрах роста производительности" [1]. Поскольку данный вывод Р. Солоу о загадке отсутствия влияния ИКТ на производительность был опубликован в популярной газете "Нью-Йорк Таймс", он вызвал огромный резонанс

Наиболее широко используемой методологией для непосредственной оценки влияния ИКТ на выпуск, стал аппарат производственной функций типа Кобба-Дугласа, используемый на уровне отдельных фирм. Первой работой, заложившей основы этой, ставшей традиционной, методологии стала работа Эрика Бринйолфссона и Лорина Хитта [2]. В этой работе впервые было предложено выделить, в классической производственной функции Кобба-Дугласа, компьютерный капитал и труд в ИКТ-секторе как самостоятельные факторы и рассматривать производственную функцию вида:

$$Q = \exp(\beta_0 t) \cdot C^{\beta_1} \cdot K^{\beta_2} \cdot S^{\beta_3} \cdot L^{\beta_4}, \quad (1)$$

где Q - выпуск; C - компьютерный капитал; K - прочий капитал; S - труд в ИКТ-секторе; L - прочий труд; $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_4$ - параметры. Для оценки параметров естественно использовалась логарифмическая форма записи производственной функции (1).

Выполнив трудоемкие расчеты с помощью производственной функции (1), Э. Бринйолфссон и Л. Хитт впервые получили надежные результаты, которые с высокой вероятностью подтверждали наличие экономического эффекта от использования ИКТ. В более поздних работах Э. Бринйолфссона и его соратников [3] было показано, что экономический эффект от использования ИКТ наступает не сразу, а с определенным временным лагом, что соответствует гипотезе об ИКТ как технологии общего назначения [4]. В США, являющемся лидером в области разработок и использования ИКТ, этот момент наступил только в середине 1990-х годов, хотя, как видно из рис. 2а, доля инвестиций в эту сферу была достаточно высокой (около 6%) и в 1970-е, и в 1980-е годы. Действительно, в экономике США в конце 1990-х годов наблюдался резкий рост производительности труда (в среднем 2,8% в год, против 1,5% в 1990-1995 гг.), который в значительной мере был обусловлен использованием ИКТ. Эконометрический анализ панельных данных по американской экономике, выполненный одним из авторитетных экономистов в этой области Дейлом Йоргенсоном совместно с Кэвином Стиро, убедительно показал основной вклад ИКТ в рост производительности до 2% в 1995-2000 гг. [5].

Именно в этот период наблюдался всплеск инвестиций в ИКТ (см. рис. 2а), приток рабочей силы (см. рис. 1а) и рост добавленной стоимости в секторах использующих ИКТ (см. рис. 1в), практически во всех развитых странах мира, причем США добились максимального эффекта. Понятно, что отмеченный рост производительности в США произошел не только в результате инвестиций в 1990-е годы, но и был подготовлен многолетними непрерывными вложениями в образование, накопление интеллектуального капитала и в развитие инфраструктуры ИКТ. Вместе с тем, именно феномен скачкообразного роста производительности второй половины 1990-х годов

вызвал огромный интерес в мире; стали говорить о зарождении "новой экономики" – "экономики знаний" как следствии широкого и повсеместного применения ИКТ. С другой стороны, ИКТ стали стратегическим катализатором организационных и технологических инноваций предприятий. Естественно, что в сферу "новой экономики" входят также отрасли, производящие ИКТ-продукты и услуги. Важно отметить, что лидерство США принесло не столько производство технических средств и оборудования ИКТ, сколько эффективное и повсеместное использование ИКТ в экономике. Что же касается производства технических средств и оборудования для ИКТ, то здесь лидерами стали скандинавские страны (Дания, Норвегия, Финляндия, Швеция) и страны Юго-Восточной Азии (Китай, Южная Корея, Малайзия, Сингапур, Тайвань и др.). Отсюда следует вывод о том, что для получения большего экономического эффекта требуется больше инвестиций в программное обеспечение, в новые технологии обработки информации как, например, технология облачных вычислений, которая снижает потребность в собственных компьютерах и серверах.

Наиболее обширное эмпирическое исследование, проведенное компанией *Economist Intelligence Unit* в 2003 г. позволило сформулировать ряд важных выводов относительно влияния ИКТ на производительность и экономический рост [6]:

1. ИКТ действительно способствуют экономическому росту, но только по достижении минимального порога развития инфраструктуры ИКТ. Следовательно, распространенность и использование ИКТ должны достичь определенной критической массы, прежде чем они начнут оказывать существенное позитивное воздействие на экономику страны.

2. Существует значительная задержка во времени между инвестициями в ИКТ-сферу и перед проявлением положительного влияния ИКТ на экономическое развитие и производительность труда. Отсюда следует, что нельзя ожидать быстрой и весомой отдачи от инвестиций в ИКТ. Чтобы получить ощутимый эффект от использования ИКТ требуется тщательно продуманное их внедрение в экономику с привлечением смежных нематериальных активов, без которых положительный эффект инвестиций от ИКТ не возникает.

3. Страны, обладающие высокоразвитой инфраструктурой ИКТ, а также богатым набором стимулов, способствующих практическому внедрению ИКТ, склонны к более быстрому экономическому росту. Лидерами в этом отношении на тот момент, например в Европе, оказались скандинавские страны – Дания, Норвегия, Швеция и Финляндия, а также Великобритания.

Таким образом, для стран, чей индекс развития ИКТ ниже порогового уровня, особенно для развивающихся стран, экономический эффект от ИКТ либо отсутствует, либо вообще может оказаться отрицательным. В конечном итоге, наибольшая отдача от ИКТ состоит в устойчивом повышении роста производительности во всех отраслях экономики, интенсивно использующих ИКТ. Отмеченное выше исследование, в частности показало, что инвестиции в ИКТ за период с 1995 по

2001 годы внесли ощутимый вклад в экономический рост во многих развитых странах ОЭСР, обеспечив от 0,3 до 0,8 процентных пунктов роста ВВП на душу населения.

Валовой прирост основного капитала в ИКТ-области только в Евросоюзе за 1995-2001 годы составил примерно 1,9 трлн. евро – при росте в среднем на 19,5% в год в течение всего периода. Сохранятся ли в будущем столь высокие темпы инвестиций в ИКТ? Есть предположение, что рост инвестиций в ИКТ сохранится, но будет гораздо более умеренным, чем во второй половине 1990-х годов. Дело в том, что с начала 2000-х годов стало убывать исключительное по своей силе воздействие на рост производительности и экономический рост со стороны ИКТ как технологии общего назначения, наблюдавшееся в 1990-е годы. Поэтому добавленная стоимость от использования ИКТ, начиная примерно с 2003 г., стабилизировалась, как это видно из рассмотрения рис. 1в.

Идею технологии общего назначения впервые выдвинул Пол Дэвид в работе [7]. Она объясняет, почему инвестиции в ИКТ не приносят немедленной отдачи в виде повышения производительности труда и экономического роста. Дело в том, что каждой технологии общего назначения соответствует свой технико-экономический режим, включающий в себя физические сети с мощными сетевыми внешними эффектами. П. Дэвид проиллюстрировал это на примере электрификации: потребовались мощные турбины и генераторы относительно дешевой электроэнергии, трансформаторы и разветвленные сети электропередач, а также электродвигатели различной мощности, чтобы пошло быстрое распространение электрификации. Именно необходимость построения новых физических сетей и инвестиций в широкий спектр сопутствующих инновационных продуктов стали главным тормозом внедрения новых технологий, как в случае электричества, так и в случае ИКТ.

Таким образом, для получения экономического эффекта от применения ИКТ требовалось создать целый комплекс взаимосвязанных активов: электронные цифровые сети передачи и обработки данных, новые формы организации труда и соответствующего уровня человеческого капитал. Потребовалось создать новый информационный технико-экономический режим на предприятиях пользователей ИКТ, который формировался в течение длительного времени. Последние активы, как материальные, так и нематериальные, представляют собой комплементарные активы по отношению к капиталу ИКТ [8]. Следует отметить, что исследование механизмов влияния ИКТ на производительность и изучение комплементарных нематериальных активов, наличие которых необходимо для проявления экономического эффекта от ИКТ, находятся лишь на начальном этапе.

В дальнейшем ИКТ будут способствовать повышению производительности и экономическому росту уже в качестве инфраструктурных технологий, что впервые было установлено японским экономистом Масааки Хироока [9]. Таким образом, ИКТ в предстоящие десятилетия будут играть в мировом экономическом развитии ту же ключевую роль, которую в свое время играли железные дороги, телеграфная и телефонная

связи, а также электрические сети. Хорошо известно, что инфраструктурные технологии не только позволяют использовать новые более эффективные методы организации производства, но часто ведут к кардинальным изменениям на самих рынках. Таким образом, значимость ИКТ вновь резко возрастает. Поэтому представляется весьма актуальным дальнейшее исследование и разработка новой более адекватной методологии оценки и расчета влияния ИКТ на производительность труда и экономический рост. Именно этому и посвящена настоящая работа. Но прежде всего нам понадобятся некоторые сведения из теории инновационно-циклического экономического развития Шумпетера-Кондратьева.

II. Из теории инновационно-циклического экономического развития ШУМПЕТЕРА—КОНДРАТЬЕВА

Научно-технический прогресс в целом и особенно инновационный процесс, как ныне общепризнано [9, 10], развиваются неравномерно во времени, им присуща цикличность. Следствием этого являются циклические колебания экономической деятельности. В центре внимания исследователей в XX столетии находились

длинноволновые колебания, открытые великим русским экономистом Николаем Кондратьевым [11]. Изучая в 1920-х годах закономерности происходящих в мировой экономике явлений, он обнаружил длинные циклы экономической конъюнктуры примерно полувековой длительности, 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). Базисные технологии каждого БЦК образуют взаимосвязанный кластер технологий, который становится основой нового технологического уклада (ТУ). 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) [9].

Базисными инновациями 4-го БЦК стали эпохальные достижения научно-технической революции XX века (рисунок 3): атомная энергетика, квантовая электроника и лазерные технологии; электронные вычислительные машины и автоматизация производства; реактивные и ракетные двигатели;



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

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% в продолжении четверти века, в период с 1948 по 1973 год (рис. 2). 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. рисунок 4). Однако, 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 2040 года). Возможно, тогда и следует ожидать свершения новой научно-технической революции с эпохальными инновациями, которые откроют новую эру долгосрочного технологического и экономического подъема и процветания, как это было в середине XX века.

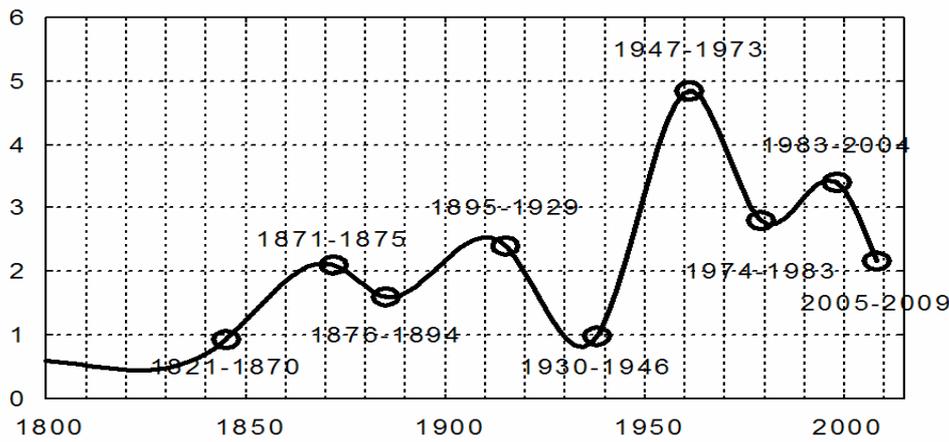


Рис. 4. Динамика относительных среднегодовых темпов роста мирового ВВП, 1800–2009 годы (%)

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

Йозеф Шумпетер развил учение Кондратьева о больших циклах конъюнктуры и разработал инновационную теорию длинных волн, интегрировав ее в общую инновационную теорию экономического развития [10]. Совсем недавно Масааки Хироока [9] 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. 1. Причем различные базисные инновации благодаря действию механизма самоорганизации формируют целый кластер и появляются группой на стадии депрессии. Это явление установил Герхард Менш [12] 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.

III ИННОВАЦИОННАЯ ПАРАДИГМА ХИРООКИ

Процесс диффузии инноваций детально и всесторонне изучен [9], и установлено, что он подчиняется логистическому уравнению Ферхюльста:

$$\frac{dy}{dt} = ay(y_0 - y), \quad (2)$$

где y - спрос на инновационный товар в момент времени t ; y_0 - предельная величина объема рынка; a - константа. Решением этого нелинейного уравнения

является логистическая кривая, описываемая уравнением:

$$y = \frac{y_0}{1 + c \exp(-ay_0 t)}, \quad c = const. \quad (3)$$

На практике продолжительность диффузии инновационного продукта на рынке принято выражать отрезком времени $\Delta\tau$ между $\frac{y_{\min}}{y_0} = 0,1$ и

$$\frac{y_{\max}}{y_0} = 0,9, \quad \text{который довольно точно отражает}$$

реальное время диффузии [9].

Нелинейный характер диффузии инноваций (3) 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. 1), способствуя появлению новых инфраструктур и сетей, формируя более длинную траекторию развития, которую М. Хироока назвал инфратраекторией (например, железные дороги и электрические сети). Ключевые 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 стрелковую магистральную инновацию. Например, в текущем 5-м БЦК в этом качестве выступают микропроцессорные технологии. 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 [9].

Хироока М. также установил, что современная инновационная парадигма состоит из трех логистических траекторий: технологической, разработки и диффузии [9]. Технологическая траектория представляет собой совокупность «ключевых» технологий, относящихся к рассматриваемой инновации, которая возникла в результате какого-либо значимого технического изобретения или научного открытия. 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 М. 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. рисунок 5), как это показано на примере микроэлектроники [9]. 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: мультимедиа, нанотехнологии, биотехнологии, геномную инженерию 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.

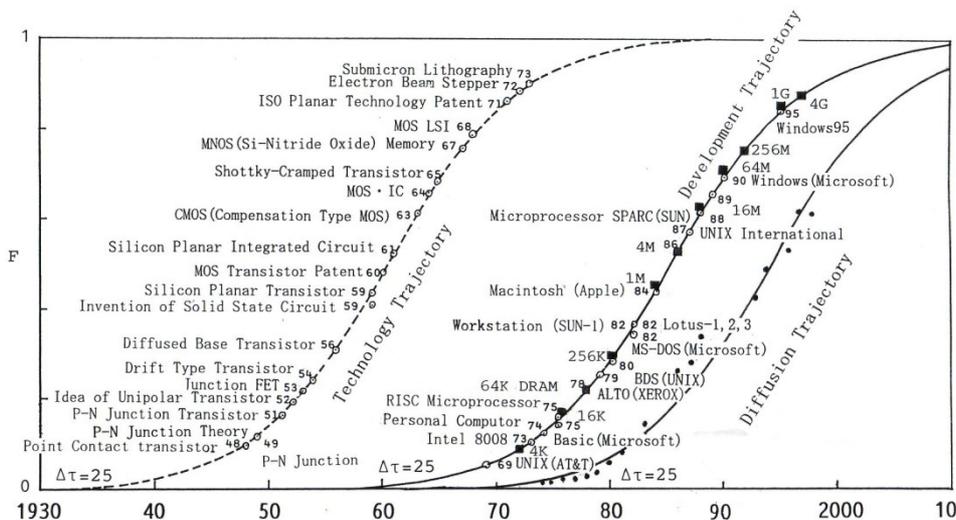


Рис. 5. Инновационная парадигма микроэлектроники.

Однако все прорывные базисные технологии предстоящего 6-го цикла Кондратьева являются эволюционным развитием предыдущих, среди них нет эпохальных технологий, как это было в 4-м ТУ, породившем самую мощную экономическую волну Кондратьева. Поэтому многие экономисты предполагают, что в период предстоящего 6-го БЦК также не придется 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.

IV ПРОГНОЗ НАЧАЛА ПОДЪЕМА 6-Й ДЛИННОЙ ВОЛНЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОНДРАТЬЕВА

Пользуясь инновационной парадигмой Хирооки (см. рис. 5), 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, ставшего основным инструментом для создания новых наноструктур и их измерений [13]. 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 следующие выдающиеся достижения: 1991 год — открытие углеродных нанотрубок с многообещающими применениями 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 все 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.

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 с 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 [13].

Итак, мы убедились в том, что нанотехнологии (наноматериалы и наноинструменты) развиваются весьма успешно и в полном соответствии с инновационной парадигмой Хирооки (см. рис. 5) она подойдет к насыщению 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, начиная с 2016 года, начнется масштабная диффузия инновационных нанопродуктов на рынки, что приведет к подъему экономик развитых стран, а затем и мировой экономики.

Таким образом, можно утверждать, что *оживление, начавшееся в экономиках развитых стран в 2014–2015 годах, перейдет с 2017–2018 гг. в подъем 6-й длинной волны экономического развития, обусловленной мощным воздействием 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 2016 по 2024 годы является самым благоприятным временем для освоения и распространения новой волны базисных инноваций на основе NBIC-технологий. Следовательно, в ближайшие годы можно ожидать мощного старта новых отраслей на основе NBIC-технологий, которые станут локомотивами 6-й длинной волны экономического развития в мире.

V МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 6-ГО БЦК И СЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Когда возникает новая инновационная парадигма и начинается разработка новых инновационных продуктов, тогда появляются и новые отрасли экономики. Однако крайне важно, чтобы поток инноваций также поступал в старые уже существующие отрасли экономики, увеличивая там добавленную стоимость и обеспечивая значительный рост производительности по всей экономике. В результате передачи технологий от новых отраслей к старым традиционным отраслям происходит «слияние технологий» и эволюция инновационных парадигм. Таким образом, существуют два направления развития базисных инноваций. Первое – это образование новой отрасли промышленности, производящей новые инновационные товары. Второе – это проникновение в действующие традиционные отрасли, что дает толчок росту производительности и даже приводит к появлению новых продуктов через слияние технологий. Инновации обеспечивают значительный прирост экономики, если они проникают во многие её сферы и являются универсальными. В период четвертого и пятого цикла Кондратьева такой универсальной инновацией стали компьютеры и электроника (микропроцессоры). Ярким примером может служить слияние электроники и металлорежущих станков, в результате чего появились высокоточные и высокоэффективные металлорежущие станки с числовым программным управлением.

Следует отметить, что работа автомобилей была в значительной степени улучшена внедрением электроники. Электронные компоненты используются сегодня в автомобилях для управления двигателем, управления движением и т.д. Одним словом, микропроцессорная революция поистине совершила переворот в технологии производства во всех отраслях экономики, начиная от металлорежущих станков и кончая автомобилями и самолетами. Поэтому первый микропроцессор Intel 8088, выпущенный в 1973 г., простейший «компьютер на микросхеме», вполне может считаться родоначальником эпохи информации, основанной на невероятной мощности дешевой микроэлектроники. На основе Intel 8088 был построен первый коммерческий персональный компьютер IBM PC в 1981 г. Технологическое слияние компьютеров для индустрии стали, цемента, химикатов привело к качественному скачку в этих отраслях. Таким образом, инновации должны охватить всю экономику в целом и институты через механизмы слияния технологий и институциональных изменений. Важно, чтобы институты также наилучшим образом соответствовали задачам каждого этапа. В этой связи сегодня

необходимо обратить особое внимание на то, как используются базисные технологии шестого ТУ в традиционных областях экономики и стимулировать этот процесс. Например, большинство сфер применения нанотехнологий пока что приходится на бытовую, медицинскую, сельскохозяйственную и энергетическую отрасли, т.е. традиционные отрасли.

В параграфе 4-м было отмечено, что компьютеры стали основным магистральным нововведением, начиная с четвертого цикла Кондратьева, вызвавшим к жизни цифровой мир, программный продукт, микроэлектронику, Интернет, мультимедиа и т.д., которые взаимодействуют, усиливая и обогащая друг друга. Все что здесь перечислено и составляет основу

новой сферы, именуемой сферой информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). М. Хироока рассчитал и построил инновационную парадигму ИКТ [9], которая представлена на рис.4. ИКТ- величайшее достижение XX века – становятся одним из основных ресурсов развития экономики XXI века. Глобальный рынок продукции ИКТ в начале XXI века уже превысил 1 трлн. долл. Причем темпы его роста стабильны в пределах 10% в год; можно ожидать сохранения этих темпов, по меньшей мере, до 2020 года. Как видно из рисунка 6 цикл их жизни продлится до 2030-х годов. Как раз к тому времени наступит пик распространения NBIC-технологий.

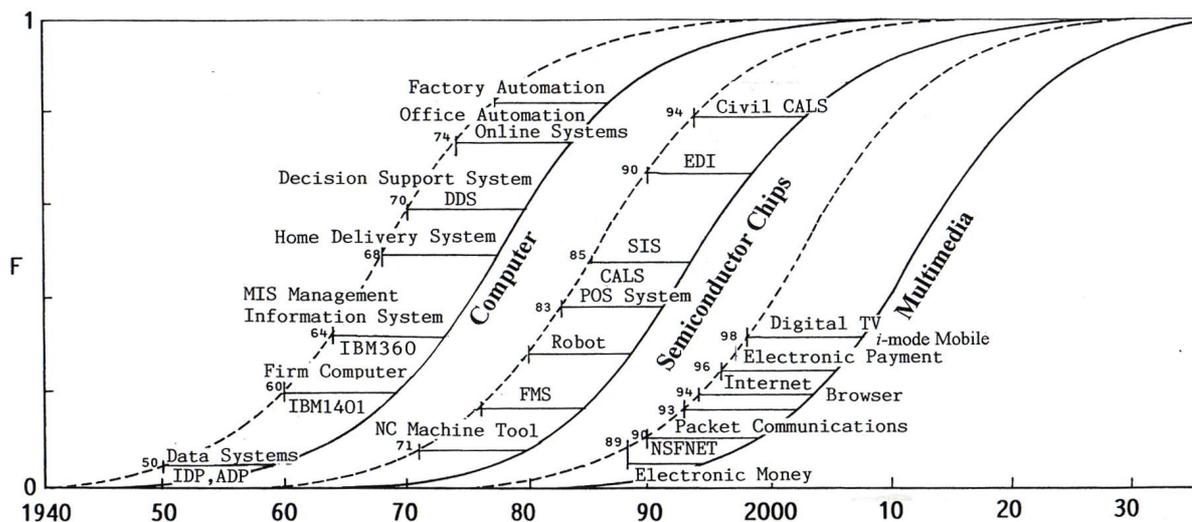


Рис. 6. Развитие информационных технологий.

Информационно-коммуникационные технологии теперь становятся магистральными технологиями, инфра-траекториями, связывающими пятый и шестой технологические уклады, пятый и шестой БЦК в мировой экономике. ИКТ преобразовывают традиционные технологии, не только придавая им новые черты, но зачастую и полностью преобразуя их природу. Это связано с неограниченными возможностями, открываемыми информационными технологиями по оперативной обработке огромных массивов информации с помощью сверхмощных компьютеров и соответствующего программного обеспечения. Так, вне компьютерных технологий невозможны были бы современные успехи в геномной инженерии, которые радикальным образом изменили традиционное сельское хозяйство.

Информационная технологическая революция состоялась. Компьютерные технологии трансформировали телекоммуникации. Интернет и компьютерные сети стали становым хребтом всего современного общества по всему миру. Интернет – это не просто очередная техническая новинка. Это – ключевая технология информационной эпохи. Интернет стал весьма существенным фактором увеличения производительности и конкурентоспособности, делая возможным распространение новых сетевых форм организации бизнеса, а через него и новой экономики. Использование Интернета частными предприятиями фактически стало нормой в странах ОЭСР, так,

например, в 25 странах более 89% предприятий имеют доступ к Интернету и более половины из них имеют собственный веб-сайт. В последнее время, наиболее развитые страны взяли курс на развитие «Интернета интеллектуальных вещей», основанного на протоколе Wi-Fi, а также разработке и продвижению технологий мобильного Интернета.

Итак, благодаря революционному инновационному прорыву в 1980-х-1990-х годах произошло вступление информационной технико-экономической парадигмы в стадию доминирования, а развитый мир вступил в постиндустриальную эпоху. По оценкам экономистов [14], вклад ИКТ в рост ВВП развитых стран в середине 2000-х годов составлял порядка 20-40%, причем ИКТ определяют до 70-80% в положительной динамике совокупной факторной производительности. Ежегодно расходы на ИКТ во всем мире увеличиваются на 5-6%. Расходы на ИКТ достигают 9-20% совокупной выручки компаний и 5% их капитала. Доля расходов на ИКТ в ВВП составляет для развитых стран 7-10% (Швеция – 9%, Великобритания – 8%, США – 8%, Япония – 7%), а для развивающихся стран – скромнее (Индия – 3%; Бразилия – 5,5%; Россия – 3%). По общепринятому сегодня мнению, как уже отмечалось во введении, экономическая отдача от применения ИКТ определяется не только и не столько инвестициями в сами ИКТ, сколько инвестициями во взаимосвязанную с ИКТ систему комплиментарных активов, а именно в формирование соответствующего организационного и человеческого капитала. Действительно, широкомасштабное исследование, предпринятое Т.

Бреснаханом, Э. Бриниолфссоном и Л. Хиттом, подтвердило наличие комплиментарных взаимосвязей между ИКТ, с одной стороны, и организационным капиталом, человеческим капиталом и продуктовыми инновациями, с другой стороны [15].

Инвестиции в продукты и услуги в сфере ИКТ приводят к углублению капитала, что в свою очередь ведет к повышению производительности труда. Однако это имеет место не в любой стране. Обширное эмпирическое исследование, проведенное компанией Economist Intelligence Unit показало, что ИКТ начинают способствовать экономическому росту только по достижении некоторого минимального порога развития [6], т.е. ИКТ должны достичь некоей критической массы, прежде чем они начнут оказывать ощутимое воздействие на экономику страны. Таким образом, страны обладающие высокоразвитой ИКТ-инфраструктурой тяготеют к более быстрому экономическому росту. Яркими примерами таких стран являются скандинавские страны – Дания, Норвегия, Финляндия и Швеция. Именно в этих странах был зафиксирован наибольший вклад ИКТ в рост производительности труда в период с 1996 по 2006 год. Для стран, чьи индексы развития ИКТ ниже порогового уровня, особенно для развивающихся стран, эффект от ИКТ либо отсутствует, либо бывает даже отрицательным.

В настоящее время достаточно очевидна доминирующая роль ИКТ в новой длинной волне Кондратьева и в ускорении темпов экономического развития, за которыми следуют достижения в области нанотехнологий, биотехнологий и генной инженерии, создания новых материалов, освоения альтернативных источников энергии и развития авиакосмической техники. ИКТ обеспечивает ускорение создания инновационных товаров и услуг на основе NBIC-технологий и освоение их производства и сбыта. С помощью ИКТ развитые страны надеются обеспечить высокий уровень автоматизации и оптимизации производственных процессов, снизить энергоёмкость и материалоемкость производства. Достижения США в этой области представляют особенно впечатляющими. Так, в 2003 г., по сравнению 1997 г., энергоёмкость выпуска продукции в машиностроении снизилась вдвое. В обрабатывающей промышленности в целом за тот же период времени этот показатель снизился на 1/3, а ВВП США в целом – на 15%. Материалоемкость за тот же период снизилась в машиностроении на 25%, обрабатывающей промышленности в целом – на 20%, а ВВП – на 10% [16].

ИКТ ускоряет экономическое развитие, т.к. страны все больше интегрируются в мировую экономику, что поднимает в них стандарты жизни и экономическую активность населения. Развивающиеся страны могут обеспечить с помощью ИКТ доступность и повышение качества образования, ускорение использования накопленных в развитых странах научно-технических и организационных достижений. Однако, в первую очередь, они должны динамично развивать ИКТ-инфраструктуру, чтобы преодолеть критический барьер, за которым ИКТ будут способствовать экономическому росту, а также заимствованию и

использованию NBIC-технологий и инновационных продуктов.

VI ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Рассмотрим неоклассическую модель экономического роста с физическим и человеческим капиталом, предложенную Г. Мэнкью, Д. Ромером и Д. Уэйлем [17]:

$$Y(t) = K^\alpha(t)H^\beta(t)[A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (4)$$

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 $\alpha=0,14$, а $\beta=0,37$, тогда как для развивающихся стран, не относящихся к нефтедобывающим: $\alpha=0,31$, а $\beta=0,28$ [17, p. 420].

Уравнение (4) в темповой форме имеет вид:

$$q_Y = \alpha q_K + \beta q_H + (1 - \alpha - \beta)(q_A + q_L), \quad (5)$$

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

$$q_A = \frac{\dot{A}}{A}.$$

Методы расчета темпов накопления физического (q_K) и человеческого (q_H) капитала, а также темпов роста численности рабочих, занятых (q_L) в экономике, хорошо отработаны и доступны. С ними можно ознакомиться в любом продвинутом учебнике по макроэкономике, например, по книге [18]. Поэтому рассмотрим отдельно вклад ИКТ в темпы технического прогресса. С этой целью воспользуемся информационной моделью, предложенной в работе [19].

Суть информационной модели Анатолия Яблонского заключается в следующем: допустим, что известен закон накопления технологического знания S_A , которое определяет технологический уровень производства A . Предполагается, что технологическое знание S_A реализуется в виде изобретений, рациональных предложений, разработок и т.п., будучи оформленным "материально" в виде патентов, лицензий, технических проектов и т.п. Очевидно, что прирост технологического уровня A определяется не только приростом технологического знания S_A , но и степенью практической реализации этого знания, характеризуемой

степенью обновления основного капитала:

$$\eta = \frac{I_K}{K}, \quad (6)$$

где I_K - инвестиции в основной капитал. Далее, А. Яблонский принимает гипотезу о том, что темп

прироста технологического уровня $\left(q_A = \frac{\dot{A}}{A} \right)$

пропорционален темпу прироста технологического

знания $\left(q_S = \frac{\dot{S}_A}{S_A} \right)$ с коэффициентом η (7),

учитывающим долю внедрения нового технологического знания [19, с. 163]:

$$q_A = \frac{\dot{A}}{A} = \gamma \frac{I_K}{K} \cdot \frac{\dot{S}_A}{S_A}, \quad (8)$$

где γ - калибровочный коэффициент.

Формула (8) неверна, поскольку не учитывает соответствие размерностей правой и левой частей уравнения. Нетрудно видеть, что в левой части уравнения (6) стоит величина q_A размерность которого

$[q_A] = (\text{год})^{-1}$, а в правой части - $\left[\frac{I_K}{K} \cdot \frac{\dot{S}_A}{S_A} \right] = (\text{год})^{-2}$. Потому, исходя из π -

теоремы теории размерностей [20], уравнение (8) правильнее будет записать в форме:

$$q_A = \frac{\dot{A}}{A} = \gamma \sqrt{\frac{I_K}{K} \cdot \frac{\dot{S}_A}{S_A}} \quad (9)$$

Данная формула для расчета темпов технического прогресса уже полностью соответствует требованиям теории размерностей. Размерности величин, стоящих, как справа, так и слева от знака равенства, тождественны и равны $(\text{год})^{-1}$. Таким образом, зная

закон изменения технологического знания S_A в сфере ИКТ, по формуле (9) мы сможем легко рассчитать вклад ИКТ в темпы технического прогресса, поскольку данные, характеризующие степень обновления

основного капитала $\left(\eta = \frac{I_K}{K} \right)$, имеются в

различных базах данных, например, в сайте [OECD]. К оценке величины калибровочного коэффициента γ вернемся позже.

VII ЗАКОН УСКОРЕННОЙ ОТДАЧИ КУРЦВЕЙЛА ДЛЯ ИКТ

В XX веке ключевые характеристики многочисленных технических устройств в течение продолжительного периода времени росли экспоненциально, например, производительность гражданских самолетов (в тонно-км в час) или эффективность источников света (ЛМ/Вт) [21, с. 142-159]. Вместе с тем, ясно, что любая тенденция ограничена достижением верхнего предела определенного рода [21, с.161]. Например, тенденция увеличения эффективности преобразования энергии в конце концов должна достигнуть 100%-ой эффективности. Дальше тенденция должна прекратиться.

Знаменитый ученый, изобретатель и футуролог Рэй Курцвейл сформулировал "закон ускоренной отдачи" (ЗУО – LARR), который заключается в том, что ключевые параметры развития ИКТ также следуют экспоненциальной траектории развития [22, pp. 491-496]. Более того, Р. Курцвейл утверждает, что как только какая-то технология становится информационной технологией, она начинает подчиняться ЗУО. Он полагает, что скорость вычислений – самый важный пример действия ЗУО, что связано с повсеместным применением компьютерной техники для обработки различных данных и её ключевой ролью в усовершенствовании всех важнейших технологических процессов. Приведем вкратце вывод формул Курцвейла, описывающих рост вычислительной мощности компьютеров [22, pp.491-496].

Скорость компьютерных вычислений V (измеряется числом операций в секунду на единицу стоимости, например, на тысячу долларов США) пропорциональна объему мирового знания, относящемуся к проектированию и построению вычислительных устройств W :

$$V = c_1 \cdot W, \quad c_1 = \text{const}. \quad (10)$$

С другой стороны, принимается гипотеза о том, что скорость изменения мирового знания пропорциональна скорости вычислений, т.е.:

$$\dot{W} = c_2 \cdot V = c_1 \cdot c_2 \cdot W, \quad c_2 = \text{const}. \quad (11)$$

Действительно, уравнение (11) соответствует консервативному прогнозу, который находит многочисленные эмпирические подтверждения. Если допустить, что скорость роста мирового знания

пропорциональна W^σ , где $\sigma > 1$, т.е. $\dot{W} = W^\sigma$, то получается решение с сингулярностью:

$$W = \frac{W_0}{(T_C - t)^{\frac{1}{\sigma-1}}}, \quad (12)$$

где T_C - точка сингулярности. Естественно, что в условиях определено конечных вычислительных ресурсов невозможно представить бесконечный рост знаний. Таким образом, уравнение (11) следует признать справедливым. Его решением является экспоненциальная функция [22, p.492]:

$$W = W_0 \exp[c_1 c_2 (t - T_0)]. \quad (13)$$

Далее, Р. Курцвейл показывает, что имеет место ещё более быстрый экспоненциальный рост компьютерных вычислений, связанный с экспоненциально растущими ресурсами N , выделенными для вычислений:

$$N = c_3 e^{c_4 t}, \quad c_3 \text{ и } c_4 = \text{const}. \quad (14)$$

По-прежнему, имеем $V = c_1 W$. Скорость изменения мирового знания теперь пропорциональная произведению скорости вычислений V и числу выделенных ресурсов N :

$$\dot{W} = c_2 \cdot N \cdot V = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot e^{c_4 t} \cdot W \quad (15)$$

Решением данного уравнения является [22, p.493]:

$$W = W_0 \exp\left[\frac{c_1 c_2 c_3}{c_4} e^{c_4 (t - T_0)}\right]. \quad (16)$$

Отсюда следует, что мировое знание в компьютерной области накапливается со скоростью двойной экспоненты. Р. Курцвейл показывает, что двойной экспоненциальный рост знаний (16) имеет место также в обычной компьютерной сети. Действительно, уравнение (11) для сети компьютеров запишется в виде [22, p.496]:

$$\dot{W} = W + W \ln W, \quad (17)$$

где слагаемое $W \ln W$ описывает эффект сети. Решением данного уравнения также является двойная экспоненциальная функция:

$$W = \exp(e^t). \quad (18)$$

Таким образом, скорость вычислений в современных компьютерных системах растет в консервативном варианте по экспоненциальному закону (13), а в мультипроцессорных вычислительных системах и компьютерных сетях она растет еще быстрее – по двойному экспоненциальному закону (16). Однако, один из создателей компании Microsoft Пол Аллен и его коллега Марк Гривс сформулировали ряд возражений против ЗУО Курцвейла, центральным из которых является тезис о невозможности постоянно поддерживать экспоненциальный рост (13) вычислительной мощности ИКТ, не говоря уже относительно двойного экспоненциального роста (16) [23]. Хорошо известно, что технология кремниевых транзисторов, благодаря закону Мура и непрерывному последовательному уменьшению их размеров, на протяжении последних 50 лет поддерживали экспоненциальный рост вычислительной мощности компьютеров. В последнее время закону Мура предсказывают скорый конец. Дело в том, что Международный план по развитию полупроводниковой технологии (ITRS) предусматривает переход на 7-нм технологию транзистора в начале 2020-х гг., когда ключевые элементы электронных схем будут составлять в толщину несколько атомов углерода и дальше сокращать их будет крайне сложно.

Но Курцвейл указывает, что компания Intel и другие производители интегральных схем уже осваивают

технологии трехмерных транзисторов и 3D-памяти. Он считает, что переход к трехмерным вычислениям позволит поддержать экспоненциальный рост параметров цены-производительности компьютеров в 2020-е годы [24]. Здесь следует согласиться с Р. Курцвейлом, поскольку этому будет способствовать не только технология трехмерных транзисторов, но и развитие нанoeлектроники. Поэтому, на время жизненного цикла современных ИКТ – до начала 2030-х гг. (см. рис.4), можно уверенно распространять ЗУО Курцвейла, означающий экспоненциальный рост производительности ИКТ на определенную единицу стоимости (11), который можно рассматривать как наиболее подходящий критерий прогресса в области совершенствования ИКТ. Что же касается двойного экспоненциального роста (14), то он имеет место только для ограниченного небольшого промежутка времени.

VIII МОДЕЛЬ АЙЗЕНСОНА-ХАРТМАНА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ДИНАМИКИ

Р. Айзенсон [25] и Л. Хартман [26] почти одновременно опубликовали работы, в которых рассматривался рост информации. Ввиду сходства математических моделей, разработанных ими, их обычно рассматривают как одну [21, с.186-191]. Айзенсон предполагает зависимость приращения информации I во времени только от двух факторов – от числа активных исследователей $N(t)$ и распознанного верхнего предела информации I_{\max} (I_m). Он также принимает экспоненциальное возрастание $N(t) = N_0 e^{ct}$, характерное для новых областей науки и техники в XX веке, и записывает следующее уравнение для роста информации без учета распознанного ее предела:

$$\dot{I}(t) = q \cdot N(t) = q \cdot N_0 e^{ct}, \quad (19)$$

где q - средний коэффициент продуктивности одного активного исследователя в единицу времени, например, в год. Данное уравнение имеет простое решение:

$$I(t) = \frac{qN_0}{c} (e^{ct} - 1). \quad (20)$$

Следовательно, на начальном этапе информация растет экспоненциально. Но так продолжается только до момента приближения к верхнему пределу. Для стадии приближения к верхнему пределу Айзенсон вводит

корректирующий множитель $\left(1 - \frac{I}{I_m}\right)$, благодаря

которому уравнение (17) становится зависимым от предельного уровня I_m и принимает вид:

$$\dot{I}(t) = qN_0 e^{ct} \left(1 - \frac{I}{I_m}\right). \quad (21)$$

Решением данного уравнения является

$$I(t) = I_m \left[1 - \exp\left(-\frac{qN_0}{cI_m} e^{ct}\right) \right]. \quad (22)$$

Следовательно, информация по Айзенсону растет по S-образной траектории, асимптотически приближаясь к верхнему пределу I_m .

Л. Хартман с самого начала полагает, что приращение информации зависит от количества уже имеющейся информации, что фундаментально отличает её от модели Айзенсона (17), но более тесно согласуется с эмпирическими данными о производстве научно-технических результатов:

$$\dot{I} = \epsilon I, \quad \epsilon = const. \quad (23)$$

Именно это уравнение использует Р. Курцвейл для описания динамики накопления знаний в области ИКТ

(9). Для стадии приближения к пределу I_m , Хартман вводит тот же корректировочный фактор, что и Айзенсон, так что уравнение (23) принимает вид:

$$\dot{I} = \epsilon I \left(1 - \frac{I}{I_m} \right). \quad (24)$$

Решением данного уравнения является логистическая функция:

$$I(t) = \frac{I_m}{1 + \left(\frac{I_m}{I_0} - 1 \right) e^{-\epsilon(t-T_0)}}. \quad (25)$$

Таким образом, в данном случае также информация растет по S-образной траектории, асимптотически приближаясь к верхнему пределу I_m .

Модель Айзенсона-Хартмана показывает важность учета замедления роста информации при приближении к верхнему пределу и соответствующего корректирующего множителя в уравнении роста (22), который получил многочисленные эмпирические подтверждения. Эта компонента модели Айзенсона-Хартмана ценна в отношении коррекции ЗУО Курцвейла.

IX МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТОВ ВКЛАДА ИКТ В ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ

Мы должны исходить из того, что пределы роста информации (знания) в области ИКТ еще весьма далеки, но наступает время приближения к пределам по используемым ресурсам, в частности – человеческим.

Первый вариант. Допустим, что известна динамика численности исследователей в сфере ИКТ. Возьмем второе уравнение Курцвейла (15):

$$\dot{W}(t) = k \cdot N(t) \cdot W(t), \quad (26)$$

где k – калибровочный коэффициент.

Предположим, что $N(t)$, которое на начальном этапе росло по экспоненциальному закону (12), приближается к своему верхнему пределу $N_{\max}(N_m)$ по логистическому закону:

$$N(t) = N_0 - 1 + \frac{1 + N_1}{1 + N_1 \exp[-\nu(t - T_0)]}. \quad (27)$$

Здесь $N_m = N_0 + N_1$, $N_0 = N(t)|_{t=T_0}$.

Подставив (27) в (26) получаем уравнение:

$$\dot{W} = k \left\{ N_0 - 1 + \frac{1 + N_1}{1 + N_1 \exp[-\nu(t - T_0)]} \right\} W \quad (28)$$

Решением данного уравнения является функция:

$$W(t) = W_0 \cdot e^{kN_m(t-T_0)} \left[\frac{1 + N_1 e^{-\nu(t-T_0)}}{1 + N_1} \right]^{\frac{1+N_1}{\nu}}. \quad (29)$$

Учитывая, что $N_1 \gg 1$, отсюда получаем:

$$W(t) \cong W_0 e^{kN_0(t-T_0)}. \quad (30)$$

Отсюда следует, что объем знаний растет по экспоненциальному закону, хотя некоторое время он рос быстрее экспоненты.

Уравнение (28) можно использовать для прогнозной оценки темпов технического прогресса. Для этого

обратимся к формуле (9), в которой вместо $\left(\frac{\dot{S}_A}{S_A} \right)$

подставим $\left(\frac{\dot{W}}{W} \right)$ из уравнения (28):

$$q_A = \gamma' \left[\frac{I_K}{K} \left\{ N_0 - 1 + \frac{1 + N_1}{1 + N_1 \exp[-\nu(t - T_0)]} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

где $\gamma' = \gamma \sqrt{k}$. Зная реальную динамику численности исследователей в той или иной стране, занятых в сфере ИКТ, мы сможем определить параметры N_0 , N_1 и ν , взяв для развитых стран $T_0 = 1995$ г. – начало воздействия ИКТ на экономический рост в наиболее развитых странах. На рисунке 7 представлена динамика численности исследователей в сфере ИКТ США. Как видно из рассмотрения данного рисунка, численность исследователей действительно растет по логистическому закону и уже достигла верхнего предела

– 203 тыс. человек (причём, $N_0 = 95,5$ тыс. чел.; $N_1 = 107,4$ тыс. чел.; $N_m = 202,9$ тыс. чел.; $V = 0,465$). Если учесть, что в экономике США трудятся всего около 1 млн. 200 тыс. исследователей, то ясно, что в сфере ИКТ трудится каждый шестой.

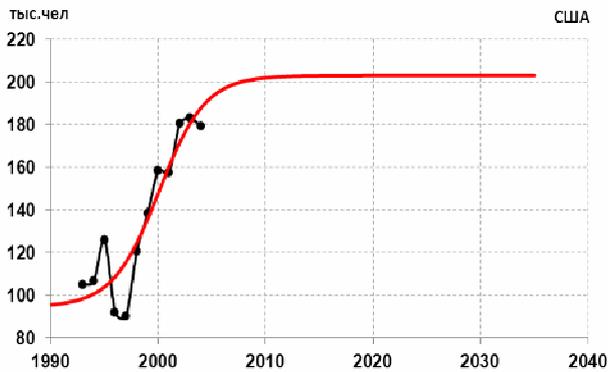


Рис. 7. Динамика численности исследователей в сфере ИКТ. Источник данных: [OECD]

Для определения величины калибровочного коэффициента γ мы воспользовались фактическими данными вклада ИКТ в темпы технического прогресса во второй половине 1990-х годов и получили

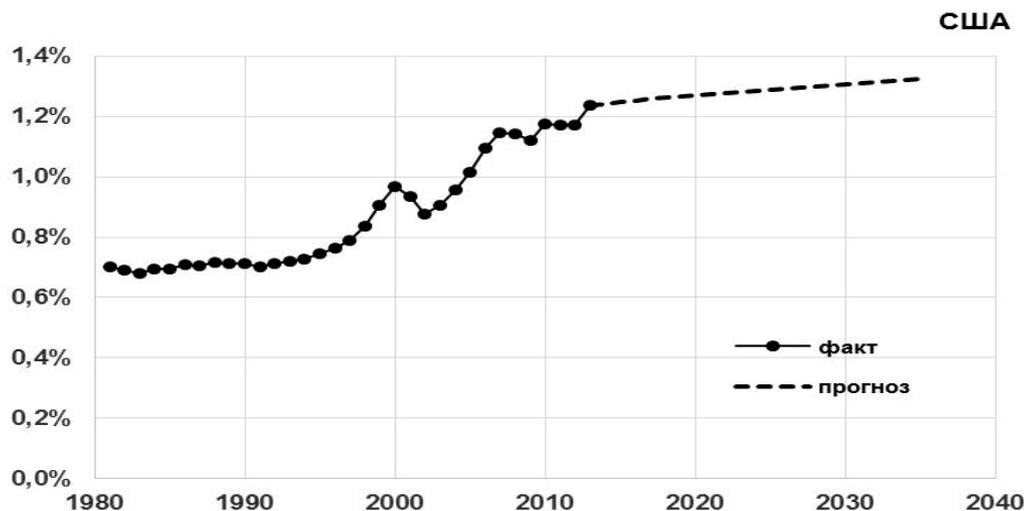


Рис. 9. Вклад ИКТ в технический прогресс. Источник данных: [OECD]

Второй вариант. Допустим, что известны пределы роста знаний в сфере разработки, построения и применения ИКТ. Рассмотрим вновь уравнение (26), в котором $N(t)$, как и прежде, растет по логистическому закону (27), т.е. в окончательной форме (28). Далее введем ограничение на объемы информации (знания) W , как предельный объем знаний, с которым человеко-компьютерная система способна разобраться - W_{\max} (W_m). Это предположение будет разумным,

Соотношение инвестиций и объема капитала I_K/K для сферы ИКТ США представлено на рисунке 8. Как видно из рисунка указанное соотношение после 2000-го года стремится стабилизироваться на уровне примерно 13%.

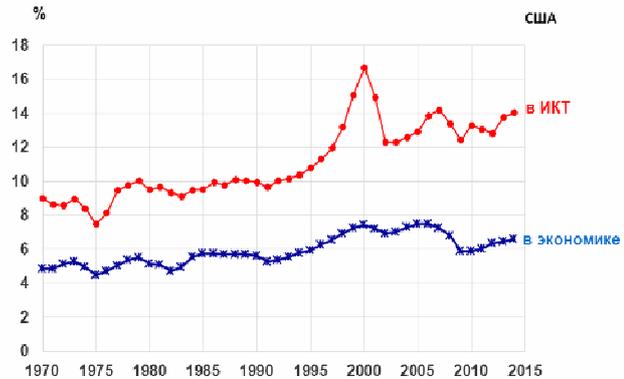


Рис. 8. Соотношение инвестиций и объема капитала

Рис. 10. Прогноз вклада ИКТ в темпы технического прогресса США, рассчитанный по формуле (29) и представленный на рисунке 9. Как видно из данного рисунка, в предстоящие полторы десятилетия, вклад ИКТ в темпы технического прогресса составит в среднем 1,3% на общем уровне от 2 до 3%.

поскольку, по предсказаниям самого Курцвейла [22], разумные компьютеры достигнут подлинного интеллекта лишь к началу 2030-х гг., а технологическая сингулярность наступит к 2045 г. Как показал М. Хироока, жизненный цикл современных ИКТ продлится как раз до начала 2030-х гг. (см. рис.4). Следовательно, мы можем учесть движение к указанному пределу W_m путем введения корректировочного множителя

Айзенсона-Хартмана $\left(1 - \frac{W}{W_m}\right)$ в уравнение (28):

$$\frac{\dot{W}}{W} = k \left\{ N_0 - 1 + \frac{1 + N_1}{1 + N_1 \exp[-\nu(t - T_0)]} \right\} \left(1 - \frac{W}{W_m} \right). \quad (32)$$

Данное уравнение может быть разрешено в аналитической форме и имеет следующее решение:

$$W(t) = \frac{W_m}{1 + \frac{W_m - W_0}{W_0} \exp[-\varphi(t)(t - T_0)]}, \quad (33)$$

где

$$\varphi(t) = kW_m \left[\frac{N_m}{N_0 - 1} - \frac{N_1 + 1}{\nu(t - T_0)(N_0 - 1)} \ln \frac{1 + N_1}{1 + N_1 e^{-\nu(t - T_0)}} \right]$$

Таким образом, динамика количества информации в этом случае растет по логистическому закону с переменной скоростью $\varphi(t)$, асимптотически

приближаясь к верхнему пределу W_m в 2030-е годы.

Для расчета темпов технического прогресса, достигаемых в результате применения ИКТ, воспользуемся информационной моделью расчета (9):

$$q_A = \gamma \left\{ k \cdot \frac{I_K}{K} \left[N_0 - 1 + \frac{1 + N_1}{1 + N_1 \cdot e^{-\nu(t - T_0)}} \right] \frac{1}{1 + \frac{W_0}{W_m - W_0} e^{\varphi(t)(t - T_0)}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (35)$$

Здесь мы имеем два калибровочных коэффициента (k и γ), один из которых k оценивается на этапе отыскания траектории роста информации $W(t)$ (33), а второй γ -на этапе расчета темпов технического прогресса q_A (35), исходя из известных фактических данных на начальной стадии воздействия ИКТ на экономический рост. После оценки значений калибровочных коэффициентов k и γ , по формуле (35) можно рассчитать прогнозные темпы технического прогресса, обусловленные применением ИКТ, вплоть до 2030-х годов.

$$q_A = \gamma \sqrt{\frac{I_K}{K} \cdot \frac{\dot{W}}{W}}. \quad (34)$$

Подставляя в данную формулу выражение для $\frac{\dot{W}}{W}$ (32),

в которое предварительно подставим выражение для W (33), получаем:

Третий вариант. Допустим, что нам известны темпы роста q_W технологического знания в области разработки и создания ИКТ-продуктов и услуг и их использования. Наиболее надежным эмпирическим источником для определения темпов роста технологического знания в сфере ИКТ является патентная статистика. Динамика числа патентов, выданных в секторе ИКТ, начиная с 1982 г. (начало подъема 5-го БЦК на основе достижений микроэлектронной революции) представлена графически на рисунке 10 для наиболее развитых стран и Китая.

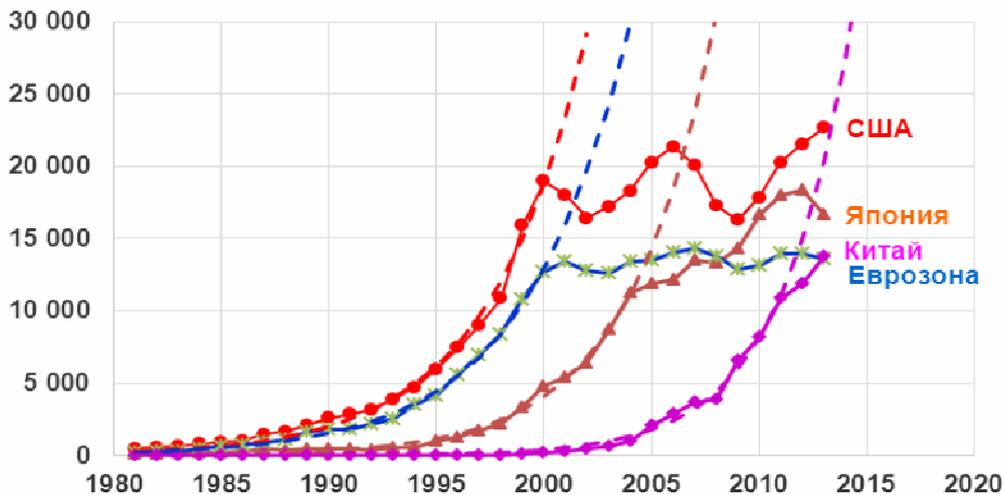


Рис. 10. Динамика числа патентов в секторе ИКТ
Источник данных: [ОЕСД]

Как видно из рассмотрения данного рисунка, все траектории роста числа патентов на начальной стадии активного внедрения ИКТ шли строго по экспоненциальному закону, но с различными темпами роста и некоторым запаздыванием от технологического лидера – США. Что же касается Китая, то он стал активным участником этой гонки лишь в начале 2000-х годов, но показывает столь же стремительный рост, что и лидеры. Видно также, что прорывные исследования в этой области продолжались до начала – середины 2000-х годов, а затем активность стабилизировалась, что вполне естественно. Это связано также со стабилизацией численности активных исследователей в этом секторе, как это иллюстрируется графиком на рис. 5 на примере США. Темпы роста технологического знания в секторе ИКТ (q_w), равные темпам роста числа патентов в этом секторе, рассчитанные для ряда стран ОЭСР путем аппроксимации фактической траектории роста экспоненциальной кривой, представлены в таблице 1.

Выше мы видели, что на результативность ИКТ существенное влияние оказывают два фактора – численность исследователей, занятых в сфере ИКТ и продолжительность экспоненциального роста знаний (информации) в рамках конкретной технико-экономической парадигмы. Величины, характеризующие отмеченные факторы лучше всего представлять в долях от общей численности исследователей в экономике L_A (в тыс. человек) и полного цикла жизни T_{LC} (в годах) текущей технологической парадигмы. Обозначим долю численности исследователей в секторе ИКТ $L_A^{ИКТ}$ (в тыс. чел.) через

$$l_A = \frac{L_A^{ИКТ}}{L_A}, \quad (36)$$

а долю продолжительности экспоненциального роста

$$\text{знаний } T_{EG} \text{ (в годах) через } \tau_{EG} = \frac{T_{EG}}{T_{LC}}. \quad (37)$$

Жизненный цикл ИКТ берет начало с микроэлектронной революции в экономиках развитых стран, начавшейся в начале 1980-х годов (см. рис. 5) и продолжающейся уже в качестве магистральных инноваций ИКТ до начала 2030-х годов, как показано на рис. 6. Следовательно, полный жизненный цикл инновационной парадигмы ИКТ T_{LC} равен примерно 50 годам, тогда как продолжительность экспоненциального роста технологических знаний в странах-лидерах составляет примерно 20 лет (см. рис. 10).

Обратимся теперь к формуле (34) для расчета темпов технического прогресса, обусловленных производством и применением ИКТ. Темпы роста технологического знания в сфере ИКТ q_w определяем по данным

$$\text{патентной статистики: } q_w = \frac{\dot{W}}{W}. \quad (38)$$

Следовательно, формула (32) запишется в виде:

$$q_A = \gamma \cdot \sqrt{\frac{I_K}{K}} q_w. \quad (39)$$

Очевидно, что калибровочный коэффициент γ пропорционален доле исследователей, занятых в секторе ИКТ и доле продолжительности экспоненциального роста инновационного знания внутри действующей технологической парадигмы, т.е. $\gamma = \tau_{EG} \cdot l_A$ (40)

С учетом (38) окончательно получаем приближенную формулу для оценочных прогнозных расчетов вклада ИКТ в темпы технического прогресса:

$$q_A = \tau_{EG} \cdot l_A \sqrt{\frac{I_K}{K}} q_w. \quad (41)$$

Все переменные величины и постоянные коэффициенты, входящие в данную формулу были рассчитаны и оценены для ряда развитых стран ОЭСР и Китая и помещены в табл.1. Там же даны окончательные результаты расчета по формуле (41) темпов

технического прогресса (q_A), ИКТ-продуктов и услуг и их применением в различных отраслях экономики. Как видно из табл. 1 наилучших результатов добились скандинавские страны – Норвегия, Швеция, Финляндия и Франция в Европе.

Таблица 1
Характеристики вклада сектора ИКТ в технический прогресс

Страна	q_w	I/K	T_{EG}	τ_{EG}	L_{AW}	L_A	l_A	q_A
США	0,22	16,7%	20	0,40	1100	185	16,8%	1,29%
Еврозона	0,21	19,0%	19	0,38	1080	180	16,7%	1,27%
Великобритания	0,16	18,4%	20	0,40	180	34	18,9%	1,30%
Франция	0,23	25,6%	20	0,40	250	37	14,8%	1,42%
Германия	0,21	16,8%	20	0,40	360	60	16,7%	1,25%
Швеция	0,21	18,4%	18	0,36	50	10	20,0%	1,41%
Норвегия	0,20	18,7%	17	0,34	20	5	25,0%	1,65%
Финляндия	0,27	15,5%	17	0,34	30	6	20,0%	1,39%
Япония	0,25	25,0%	20	0,40	580	70	12,1%	1,21%
Корея	0,24	15,1%	14	0,28	310	55	17,7%	0,95%
Китай	0,30	32,0%	14	0,28	2900	200	6,9%	0,60%

Х ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе, авторами предлагаются три достаточно простых модели для прогнозных расчетов вклада ИКТ в темпы технического прогресса. Все эти модели используют данные о темпах роста технологического знания в области разработки, создания и применения ИКТ-продуктов и услуг, а также соотношение текущих инвестиций и действующего накопленного капитала в секторе ИКТ. Показано, что темпы роста технологического знания в сфере ИКТ могут быть получены из уравнений, описывающих "Закон ускоренной отдачи" Курцвейла для ИКТ, который характеризует экспоненциальный рост ключевых параметров ИКТ различной степени, от обычного экспоненциального, до двойного экспоненциального роста. Последний реализуется на практике лишь в определенные промежутки времени, тогда как простой экспоненциальный рост технологического знания в сфере ИКТ является весьма характерным явлением. В этой связи, уравнения Курцвейла корректируются нами с помощью ограничительного множителя Айзенсона-Хартмана, что позволяет получить реальные S-образные траектории роста технологического знания с асимптотическим приближением к верхнему пределу.

В первой модели (31) темпы технического прогресса, обусловленные применением ИКТ, определяются по известной динамике численности активных исследователей $N(t)$, занятых в секторе ИКТ. Эта модель ценна тем, что позволяет рассчитать динамику роста вклада ИКТ в темпы технического прогресса q_A , включая прогнозный период, как это проиллюстрировано на примере экономики США (см. рис.7). Во второй модели (35), наряду с заданной динамикой роста численности исследователей $N(t)$, используется также S-образная траектория роста технологического знания в сфере ИКТ. Таким образом, данная модель является обобщенной модификацией

первой модели. В третьей наиболее простой модели (41) используются темпы роста числа патентов в сфере ИКТ q_w , выступающие в качестве темпов роста технологического знания, установившаяся доля исследователей в секторе ИКТ l_A и доля продолжительности экспоненциального роста числа патентов τ_{EG} в общем жизненном цикле ИКТ-парадигмы. Данная модель позволяет рассчитать только потенциальные прогнозные оценки вклада ИКТ в технический прогресс. С помощью этой модели мы рассчитали потенциальные уровни вклада ИКТ в технический прогресс в предстоящие 10-15 лет для 9 стран ОЭСР и Китая (табл.1), которые соответствуют имеющимся оценкам в этой сфере. К сожалению, не было возможности для детальной верификации полученных результатов из-за отсутствия надежных и достоверных данных по вкладу ИКТ в производительность и экономический рост.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Solow R. M. We'd better watch out //New York Times Book Review. – 1987. – Т. 36.
- [2] Brynjolfsson E., Hitt L. Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending //Management science. – 1996. – Т. 42. – №. 4. – С. 541-558.
- [3] Brynjolfsson E., Saunders A. Wired for innovation: how information technology is reshaping the economy. – MIT Press, 2009.
- [4] Bresnahan T. F., Trajtenberg M. General purpose technologies 'Engines of growth'? //Journal of econometrics. – 1995. – Т. 65. – №. 1. – С. 83-108.
- [5] Jorgenson D. W., Stiroh K. J. Raising the speed limit: US economic growth in the information age //Brookings papers on economic activity. – 2000. – Т. 2000. – №. 1. – С. 125-210.
- [6] EIU (2003). <http://www.microsoft.com/Rus/Government/analytics/EIU/part1.msp> x Retrieved: Dec, 2016
- [7] David P. A. The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox //The American Economic Review. – 1990. – Т. 80. – №. 2. – С. 355-361.
- [8] Milgrom P., Roberts J. The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization //The American Economic Review. – 1990. – С. 511-528.

- [9] Hirooka M. Innovation dynamism and economic growth: A nonlinear perspective. – Edward Elgar Publishing, 2006.
- [10] Schumpeter J. A. Business cycles. – New York : McGraw-Hill, 1939. – Т. 1. – С. 161-74.
- [11] Kondratiev N.D. The Long Waves in Economic Life // Review of Economics and Statistics, 1935, v.17, №7, pp.105-115.
- [12] Mensch G. Stalemate in technology: innovations overcome the depression. – Ballinger Pub Co, 1979.
- [13] Williams L., Adams W. Nanotechnology demystified. – McGraw Hill Professional, 2006.
- [14] Jorgenson D. W., Motohashi K. Information technology and the Japanese economy //Journal of the Japanese and International Economies. – 2005. – Т. 19. – №. 4. – С. 460-481.
- [15] Bresnahan T., E. Brynjolfsson, L. Hitt. Information Technology, Work-place Organization and the Demand for Skilled Labor // Quarterly Journal of Economics, 2002, v.117, №1, pp. 339-376.
- [16] Survey of Current Business, <https://www.bea.gov/scb/> 2005 pp. 51-57
- [17] 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.
- [18] Barro R. J., Sala-i-Martin X. Economic Growth: MIT Press //Cambridge, Massachusettes. – 2004.
- [19] Яблонский А. И. Математические модели в исследовании науки. – 1986.
- [20] Barenblatt G. I. Scaling. – Cambridge University Press, 2003. – Т. 34.
- [21] Мартино Дж. П. Технологическое прогнозирование. – М.: "Прогресс", 1977
- [22] R. Kurzweil; The Singularity Is Near. Viking. - 2005.
- [23] Allen P., Greaves M. The singularity isn't near //Technology Review. October. – 2011. – Т. 12. – №. 2011. – С. 7-8.
- [24] Kurzweil R. How to create a mind: The secret of human thought revealed. – Penguin, 2012.
- [25] Isenson R.S.. Technological Forecasting in Perspective // Management Science, 1966, v.3, pp. 70-83.
- [26] Hartman L.M. (1966). Technological Forecasting // Multinational Corporate Planning (GA. Steiner and W. Cannon Eds) – New York: Crowel-Collier, 1966

Convergent ICT as a key factor of technological progress in the coming decades and their impact on world economic development

A.A. Akaev, A.I. Rudskoi

Abstract — The article considers the impact of ICT (information and communication technologies) on productivity and economic growth. Proposed information model for the calculation of the contribution of ICT in the rate of technological progress established by R. Kurzweil, which uses the laws of growth of technological knowledge in the ICT sector. Three simple information models are developed to calculate technological progress related to the production and use of ICT products and services that allow you to calculate the projected rate of technological progress according to the dynamics of the number of active researchers in the ICT and the dynamics of the number of patents granted in the field of ICT research sector.

Keywords — information and communication technologies (ICT); econometric analysis of the impact of ICT on productivity and economic growth; information model for calculating the rate of technological progress associated with the use of ICT; Kurzweil's "The law of accelerated returns" for ICT; model for calculating the contribution of ICT to technical progress in resource-limited settings.