

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

А. В. Воронцовский

докт. экон. наук, профессор кафедры экономической кибернетики Санкт-Петербургского государственного университета

Т. А. Лебедев

аспирант кафедры экономической кибернетики Санкт-Петербургского государственного университета

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ ДИФфуЗИИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Введение

Одним из ключевых показателей развития страны является темп ее экономического роста. В числе определяющих факторов все большее значение занимает степень технического развития экономики, которая существенно зависит от ряда макроэкономических показателей: уровень технологического оснащения производств в стране, количество научных работников, уровень специализации работников в отраслях, объем инвестиций в соответствующие производства и др. (Agion, 1972; Барро, Ли, 2010; Моделирование экономического роста..., 2011; Современная макроэкономика..., 2013; Интрилигатор, 2002). Одной из важных характеристик технического прогресса в стране является тот технологический уровень, на котором находятся ее собственные разработки, а также степень проникновения в страну различных научных идей и технологий, первоначально разработанных в другой стране — другими словами, степень диффузии техники.

Моделирование распространения технологий на основе взаимодействия развитых и развивающихся стран в условиях экономического роста достаточно широко представлено в экономической литературе (Барро, Сала-и-Мартин, 2010, с. 447–489; Современная макроэкономика..., 2013, с. 172–186; Acemoglu, 2009, р. 611–647; Mondal, Gupta, 2009). Этот подход предполагает содержательный анализ макроэкономических моделей, отражающих взаимодействия между ведущими или развитыми странами, осуществляющими разработку технологических инноваций и развивающимися странами, использующими в своем производстве те или иные уже разработанные технологические инновации.

Другой подход предполагает использование эконометрических моделей для анализа взаимодействия указанных стран. Для проверки гипотезы о влиянии диффузии техники на рост технологического коэффициента производственной функции (ПФ), построенного по разным странам в данной статье будем использовать именно этот подход. Попытаемся также выделить страны, которые являются источниками распространения или диффузии техники и технологии для других стран, представляющих различные регионы мира. Гипотеза о зависимости темпа роста технологического коэффициента ПФ от степени диффузии технологии будет проверена с помощью уравнений регрессии, построенных для соответствующих стран по периодам времени. В работе предполагается выявить те страны, которые, вероятно, поставляют в исследуемые страны новую технику или технологии производства. Это позволит, во-первых, понять, насколько соответствует заявленная гипотеза фактическому развитию событий, а, во-вторых, проследить особенности

развития экономики рассматриваемых стран под влиянием иностранного капитала. Как правило, технологию в страну приносят с собой зарубежные компании, проводящие расширение производства в виде выхода на зарубежный рынок. Становится возможным определить ключевые страны, откуда приходит иностранный капитал в компании, работающие в рассматриваемой стране. Это, в свою очередь, позволяет предсказать вероятное развитие отраслей рассматриваемой экономики, исходя из того, какие отрасли наиболее активно сейчас разрабатываются в стране-поставщике технологий. Кроме того, когда иностранная компания внедряется на иностранный рынок, она замыкает на себя часть процессов производства и сбыта определенных видов продукции в этой стране. Под ее влияние попадают и отечественные производства. Если у такой компании возникают проблемы из-за кризиса в стране, где расположено, например, ее основное производство, и она не может выполнить свои обязательства по покупке ресурсов или поставки своей продукции отечественным предприятиям, проблемы возникнут и у них. При этом можно определить также и некоторые из каналов проникновения в страну кризиса, первоначально возникшего за рубежом.

На современном рынке, как в пределах одной страны, так и в международном региональном или мировом масштабе, успешно работать, расширять производство и осваивать другие рынки может только фирма производящая современную технику на базе технологии, характеризующейся высоким уровнем развития. В то время как фирма, использующая устаревшие технологии все больше и больше отстает от своих конкурентов. Потребности в новых уже разработанных технологиях, возникающих в тех или иных странах, и служат одним из побудительных мотивов диффузии технологии или техники. Существует несколько причин ее появления. Фирмы могут заниматься промышленным шпионажем и стараться повторить основные идеи, заложенные в новых продуктах или технологиях другой фирмы (достаточно вспомнить многочисленные эпизоды судебных разбирательств между Apple Inc. и Samsung). Компании, разрабатывающие новые технологии, сами вкладывают большие средства в исследования и разработки. С помощью различных административных механизмов (получение патентов, авторские права и других форм защиты интеллектуальной собственности) вводится защита ноу-хау. Патенты выдаются на некоторое время, так как компания, получивший патент становится монополией относительно защищенного этим патентом продукта (Helpman, 1993; Моделирование экономического роста..., 2011, с. 52–111). Благодаря этому, она получает возможность восполнить свои затраты на разработку продукта или технологии. По истечении некоторого времени фирме оказывается выгодно продать патент. Это является другим каналом диффузии техники. Кроме того, диффузия технологий может возникать из-за «утечки мозгов», сотрудничества компаний и других подобных процессов. В разрезе стран диффузия техники предполагает, что инновации, первоначально создаваемые в одной развитой стране (стране-лидере), по каким-либо причинам становятся доступны другой развивающейся стране (стране-последователю). Тогда компании в данной развивающейся стране могут создавать продукты, аналогичные оригинальным, изобретенным в стране-лидере, но адаптированные к нуждам своих потребителей. Затраты на такую имитацию и адаптацию, как правило, гораздо ниже затрат на изобретение продукта, что позволяет ускорить экономическое развитие.

Теоретически уровень диффузии техники, проникающей в данную страну, оказывает значительное воздействие на общий темп уровня развития техники и на темп роста технологического коэффициента ПФ, отражающего автономный технический прогресс в стране. Данная гипотеза проверяется в статье на выборке

из ряда стран. С этой целью строится математическая модель, описывающая темп роста технологического коэффициента ПФ в стране и учитывающая диффузию техники извне, а затем определяются способы измерения указанного коэффициента и диффузии техники. Используя построенную модель и исходные данные, проводятся расчеты по странам.

Постановка задачи

Процесс диффузии техники рассматривался многими исследователями, например, Хелпманом (Helpman, 1993), Мондалом, Гупта (Mondal, Gupta, 2009), Нельсоном, Фелпсом (Nelson, Phelps, 1996), Бенхабибом, Спигелем (Benhabib, Spiegel, 2003), Р. Барро, Х. Сала-и-Мартином (Барро, Сала-и-Мартин, 2010, с. 447–489) и другими. Барро и Сала-и-Мартин пришли к выводу, что страны-последователи растут тем быстрее, чем больше их отставание от стран-лидеров, и в устойчивом состоянии происходит выравнивание их темпов роста. Т. Нельсоном и Е. Фелпсом был предложен подход, связывающий диффузию техники с уровнем образования населения. Их основная идея заключалась в том, что в современной экономике, тесно связанной с процессами внедрения технологий, знания нужны не только для создания собственной технологии, но и для внедрения импортной. Основываясь на этой идее ряд авторов проводил исследования указанной взаимосвязи на эмпирических данных. Например, А. Махмуд и Е. Афза (Mahmood, Afza, 2008) провели расчеты совокупного фактора производительности 8 азиатских стран и проанализировали факторы, способствующие увеличению технологического коэффициента ПФ в стране. Среди этих факторов рассматривались открытость экономики, прямые иностранные инвестиции и средний уровень образования населения. Результаты расчетов показали, что для азиатских стран положительное влияние на технический прогресс оказало только образование. Таким образом, выделяется два основных фактора, влияющих на уровень технологии в стране — собственные разработки и технологии, поступившие в страну из-за границы.

Основываясь на модели Нельсона и Фелпса (Nelson, Phelps, 1996) и используя факторы, рассмотренные в других работах, построим эконометрическую модель, описывающую темпы роста технического прогресса в стране в зависимости от внутренних и внешних факторов. Как было указано Нельсоном и Фелпсом и другими исследователями, технический прогресс в экономике имеет два источника: внутренний — собственные исследования и разработки — и внешний — разработки других стран, благодаря которым увеличился уровень технического прогресса в стране. В модели будем учитывать два варианта проникновения зарубежных технологий в страну: непосредственное использование технологии страны-лидера и финансирования развития промышленности в данной стране из-за рубежа. Будем предполагать, что вклад страны-лидера в развитие внутреннего производства и использования современных технологий в стране равен доле иностранного капитала в инвестициях в основной капитал. Для оценки вклада нерезидентов в экономику страны используем прямые иностранные инвестиции¹. Несмотря на то, что ПИИ могут использоваться не только для формирования основного

¹ Валовое накопление равно капиталовложениям в основные средства экономики плюс чистым изменениям уровня материально-производственных запасов. Прямые иностранные инвестиции (ПИИ) больше относятся к финансированию. ПИИ могут быть использованы для финансирования накопления основного капитала, однако они также могут использоваться для покрытия дефицита в компании или погашение кредита. Таким образом, нельзя сказать, что ПИИ всегда включаются в накопление основного капитала.

капитала, они так или иначе участвуют в его создании. Погашая кредит или покупая акции, собственники фирмы выплачивают стоимость уже приобретенного капитала или приобретают новые производственные мощности.

В указанных работах авторы анализировали диффузию техники в пределах одного конкретного года. В данной статье предлагается рассмотреть объясняющие переменные уравнения регрессии с определенным лагом, поскольку диффузия техники происходит не мгновенно. После изобретения новой техники или разработки новой технологии проходит определенный период, прежде чем она будет внедрена в производство и в стране возрастет технический уровень. Еще больше времени требуется, чтобы изобретенная технология внедрилась в стране-последователе. Применительно к микроэкономике, например, с учетом времени, необходимого для освоения новой технологии, рассматривается пять групп населения: новаторы, ранние реципиенты, раннее большинство, позднее большинство и поздние реципиенты (Данилин, 2013). Кроме того, любая технология разрабатывается на базе уже созданных технологий. Поэтому в модель предполагается также включить несколько прошлых значений технологического коэффициента ПФ в исследуемой стране и стране-лидере. Однако, в настоящее время скорость разработки и внедрения новых технологий все время возрастает, поэтому ожидается, что будут использоваться разработки, созданные не более, чем 1–2 года назад. Это дает основание считать значения технологического коэффициента ПФ страны-лидера в прошлые периоды (как отражение диффузии технологий) и значения данного коэффициента самой рассматриваемой страны в прошлые периоды (как отражение внутренних источников образования технического прогресса) одними из образующих факторов темпа роста технологического коэффициента ПФ страны в данном периоде. Предполагается, что в течение одного-двух лет влияние страны-лидера на уровень технологии рассматриваемой страны возможно проследить. Однако у данного подхода есть существенный недостаток: одновременно включить в предлагаемую модель также уровень образования — один из образующих факторов уровня технологии, как было показано А. Махмудом, Е. Афза (Mahmood, Afza, 2008) и другими, — не представляется возможным, поскольку данные по среднему количеству лет образования опубликованы лишь для каждого пятого года (см. напр., базу Р. Барро и Дж. Ли (Barro-Lee Educational Attainment Dataset)), а при пятилетнем промежутке времени влияние диффузии техники будет незначительным. Включение в модель предыдущих значений технологических коэффициентов ПФ исследуемой страны, отражающих влияние собственных разработок уровень НТП, должно компенсировать этот недостаток.

При моделировании влияния технических и технологических инноваций на технический уровень страны предлагается использовать технологический коэффициент производственных функций, который отражает автономный технический прогресс и играет важную роль с точки зрения учета влияния технического прогресса при анализе производственных функции и постановке моделей экономического роста. Под автономным техническим прогрессом понимается учет всех факторов, кроме труда и капитала, которые в моделях в явном виде не учитываются, но оказывают влияние на объемы выпускаемой продукции. Их было предложено учитывать в форме специального временного множителя при производственной функции или ее ресурсах или факторах (Современная макроэкономика... 2013, с. 160–166). В числе таких факторов может быть и рассматриваемая диффузия технологии. Необходимость выделения условий и факторов, которые не находят своего прямого отражения в изменениях труда и капитала, но оказывают влияние на рост объемов производства, была также вызвана тем,

что при экспериментальных расчетах по функции Кобба-Дугласа, как было отмечено выше, были получены определенные расхождения между фактическими и прогнозируемыми значениями национального дохода. Введение определенных форм учета автономного технического прогресса позволило повысить качество получаемых на основе производственных функций прогнозов. С одной стороны, диффузия технологии вполне входит в число тех факторов, которые отражает технологический коэффициент производственных функций, но с другой, — его величина отражает и влияние других факторов на выпуск продукции. Поэтому анализ технологических коэффициентов производственных функций для различных стран представляет определенную аппроксимацию влияния диффузии технологии на объем выпуска продукции в данной стране.

В процессе анализа изменений технологических коэффициентов и постановки соответствующих уравнений регрессии выделены два типа факторов. Одна группа — это внутренние факторы, они определяют то, как технологические коэффициенты ПФ данной страны в прошедшие периоды, т. е. с определенным лагом, оказывают влияние на изменение технологического коэффициента в текущий период. Вторая группа факторов — это внешние факторы, отражающие диффузию техники и технологии из внешних стран, которые учитываются в форме значений коэффициентов ПФ соответствующих стран также с определенным лагом. Кроме того, в качестве отдельного внешнего фактора выделены прямые зарубежные инвестиции, также оказывающие влияние на темп развития технологий в стране.

Учитывая различные способы диффузии техники, разработку уже существующих старых технологий, а также тот факт, что страны могут заимствовать технологии не из одной страны-лидера, а из нескольких наиболее развитых, предлагается рассмотреть процесс роста уровня технического уровня страны, учитываемый в форме темпа роста технологического коэффициента ПФ, в следующем виде:

$$g_{A_t}^q = c_0 + \sum_{i=1}^{n_q} c_i^q \ln A_{t-i}^q + \sum_{k \in L} \sum_{j=0}^{n_k} c_j^k \ln A_{t-j}^k + c_{FDI} \ln \left(\frac{FDI_t^q}{I_t^q} \right) + e_t, \quad (1)$$

где $g_{A_t}^q$ — темп роста технологического коэффициента рассматриваемой развивающейся страны q в период t ; A_{t-i}^q — технологический коэффициент ПФ в рассматриваемой стране q в период $t-i$, т. е. с лагом i , $i = 1, 2, \dots, n_q$, где n_q количество учитываемых лагов для анализируемой развивающейся страны q ; A_{t-j}^k — технологический коэффициент ПФ в развитой стране k в период $t-j$, т. е. с лагом j , $j = 0, 1, \dots, n_k$, где n_k количество лагов запаздывания, которые учитываются для k -ой развитой страны, $k = 1, 2, \dots, L$, L — общее число рассматриваемых развитых стран; FDI_t^q — отношение прямых иностранных инвестиций в страну q в период t к общим инвестициям страны q в период t в основной капитал¹ I_t^q , e_t — ошибка регрессии; c_i^q , c_j^k — коэффициенты уравнения, которые необходимо оценить.

Уровень развития технологии в странах-лидерах оказывает воздействие на уровень технологии в развивающихся странах с определенным лагом, который определяют

¹ Данные по ПИИ были получены из базы данных Всемирного банка. Данные по уровням развития технологии (коэффициент A) были рассчитаны с использованием формулы Кобба-Дугласа и данных по ВВП, инвестициям в основные фонды и численности населения, взятыми из баз данных Всемирного банка и Евростата.

временной разрыв между ними в области использования современной технологии. При $j = 0$ рассматривается текущий показатель уровня НТП развитой страны или страны-лидера k , при $j > 0$ он учитывается с лагом j . Свободный член показывает «автономный» темп роста уровня технологий, не зависящий от посторонних факторов, то есть тот темп роста, который существовал бы в стране при условии отсутствия диффузии техники и разработок, основанных на ранее разработанных технологиях. Коэффициенты отражают влияние собственной техники и технологии, созданных в рассматриваемой стране q i лет тому назад. Коэффициенты относятся к переменным, отражающим диффузии технологии из страны k , разработанной j лет назад. Наконец, коэффициент c_{FDI} определяет, какая часть темпа роста технического уровня была создана вследствие прямых иностранных инвестиций в рассматриваемую страну. Так как рассматривается темп роста технологического коэффициента ПФ, то в аддитивной форме модель записывается с логарифмами выбранных показателей. Благодаря этому модель, во-первых, экономически интерпретируема: получено разложение темпа роста на определенные составляющие элементы. Во-вторых, в этом виде для анализа уравнения можно использовать обычную регрессию.

Обоснование исходных данных для расчетов

Для проведения практических расчетов по построенной модели необходимо определить и рассчитать показатели уровня НТП и диффузии техники. В качестве показателя технического прогресса или уровня развития техники и технологий будем рассматривать совокупный фактор производительности (*TFP* — total factor productivity), определяемый как технологический коэффициент производственной функции. В предложенной модели в качестве уровня диффузии техники будем использовать уровень развития технологии — коэффициент ПФ страны-лидера. Необходимо отметить, что совокупный фактор производительности является общим показателем: он включает как уровень развития технологии, так и организационное устройство, доверие инвесторов, государственную политику и другие факторы, благодаря которым возможен конкретный объем производства при заданном определенном объеме факторов производства. Однако, учитывая, что непосредственно уровень НТП в экономике измерить невозможно и тот факт, что, как правило, уровень технологии тем выше, чем более развиты остальные факторы, для практических расчетов будем использовать именно данный показатель. Такой подход используется во многих исследовательских работах (Aiyar, Dalgaard 2005; Delpachitra, Van Dai, 2012; Mahmood, Afza, 2008). Указанный технологический коэффициент может быть конкретно определен с помощью производственной функции Кобба-Дугласа (Барро, Сала-и-Мартин, 2010, с. 40–44; Моделирование экономического роста ..., 2011, с. 151–162; Интрилигатор, 2002, с. 199–209):

$$Y_t = F(K_t, L_t) = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}, \quad (2)$$

где A_t — технологический коэффициент, или совокупный фактор производительности, Y_t — внутренний валовый продукт, K_t — запас капитала в стране, L_t — используемая в производстве рабочая сила. Следует отметить, что выражение (2) — частный случай производственной функции Кобба-Дугласа. Оно предполагает, что при определенном уровне технологического коэффициента (A) и вложениях труда (L) и капитала (K) с учетом коэффициентов α и $1 - \alpha$ будет получено определенное количество ВВП в объеме Y . Прологарифмировав выражение (2) получим следующее соотношение для определения технологического коэффициента ПФ:

$$\ln A_t = \ln Y_t - \alpha \ln K_t - (1 - \alpha) \ln L_t \quad (3)$$

Выражение (3) удобно использовать для практических расчетов. Данные по ВВП, населению и рабочей силе были получены из базы данных Всемирного Банка и Евростата (статистическая служба Европейского союза) (Eurostat Dataset). Запас материального капитала рассчитывается, используя метод, предложенный Кленовым и Родригез-Клаэром (Klenow, Rodriguez-Clare, 1997). В соответствии с их методикой начальный запас капитала определяется следующим образом:

$$\frac{K}{Y_0} = \frac{I/Y}{\gamma + \delta + n}, \quad (4)$$

где I/Y — средняя доля материальных инвестиций в выпуск в начальный момент времени, γ — средний темп роста выпуска на душу населения за рассматриваемый период, n — средний темп роста населения, а δ — норма амортизации. При наличии оценки начального запаса материального капитала, запас капитала на момент времени t страны i будет равен:

$$K_{t+1} = K_t - \delta K_t + I_t, \quad (5)$$

где I_t — инвестиции или валовое накопление основного капитала, δK_t — потребление основных фондов. Значения этих показателей также были получены из базы данных Всемирного банка (The World Bank Dataset).

Определив технологические коэффициенты ПФ для разных стран, проверим предложенные гипотезы на полученных данных. В качестве лидеров НТП рассмотрим несколько стран, которые можно считать экспортерами высокотехнологичной продукции: электроники, бытовой техники, средств коммуникаций и прочего. В качестве потенциальных лидеров в плане научно-технического прогресса были рассмотрены США, Япония, Китай, Германия и Великобритания. Эти страны имеют достаточно высокое количество зарегистрированных патентов и высокие показатели расходов на сектор НИОКР. Сингапур, Гонконг, Мексика, Нидерланды и Бельгия рассматривались как страны-последователи. Китай также рассматривался как страна-последователь относительно других стран-лидеров.

Эмпирические расчеты: анализ данных азиатских регионов (Китай, Гонконг, Сингапур)

За последнее десятилетие в китайской экономике наблюдается значительный скачок в развитии, в том числе в плане НТП. Предполагается, что этому, в частности, способствовали различные предприятия с иностранным капиталом, активно создаваемые на территории КНР в последнее время. Эти компании использовали дешевую рабочую силу Китая, и свои технологии. В качестве потенциальных лидеров НТП были выбраны США, Великобритания, Германия и Япония. Тогда первоначальное уравнение (1) будет преобразовано следующим образом: множество L будет включать вышеназванные страны-лидеры. Все n_k (количество лагов технологического коэффициента у страны лидера) и n_q первоначально возьмем равными 3, так как более старые технологии, вероятнее всего, не будут использоваться. Также включим долю иностранных инвестиций в общих инвестициях, направленных на развитие компаний как показатель степени текущего участия нерезидентов в экономике страны. В регрессию также включим несколько значений показателя технологического коэффициента ПФ

самого Китая для того, чтобы проследить влияние диффузии во времени — насколько темп роста указанного технологического коэффициента зависит от прошлых значений самого коэффициента.

Для обоснования факторов, влияющих на темп роста технологического коэффициента Китая, были выделены в числе переменных значения технологических коэффициентов стран-лидеров, включая США, Великобританию, Германию и Японию с учетом лага в 1 год, и самого Китая с учетом лагов в 1, 2 и 3 года, а также отношение ПИИ к общим инвестициям в стране¹:

$$\begin{aligned}
 g_{A_t^{China}} = & c_0 + c_1 \ln A_{t-1}^{China} + c_2 \ln A_{t-2}^{China} + c_3 \ln A_{t-3}^{China} + c_4 \ln A_t^{Germany} + \\
 & + c_5 \ln A_t^{UK} + c_6 \ln A_t^{US} + c_7 \ln A_t^{Japan} + c_8 \ln A_{t-1}^{UK} + c_9 \ln A_{t-1}^{US} + \\
 & + c_{10} \ln A_{t-1}^{Japan} + c_{11} \ln \left(\frac{FDI_t^{China}}{I_t^{China}} \right) + e_t
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где $g_{A_t^{China}}$ — темп роста технологического коэффициента Китая, A_t^{China} — значение данного коэффициента в этой стране в период t , $A_t^{Germany}$, A_t^{UK} , A_t^{US} , A_t^{Japan} — технологические коэффициенты ПФ для Германии, Великобритании, Соединенных Штатов Америки и Японии, соответственно, в период t , $\frac{FDI_t^{China}}{I_t^{China}}$ — отношение прямых иностранных инвестиций к общему размеру инвестиций в Китае в период t , e_t — ошибка регрессии. В результате были получены следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Показатели регрессии

Коэффициент / Показатель	Значение	t-статистика
const	4,39	0,78
$\ln A_{t-1}^{China}$	-4,39	-1,49
$\ln A_{t-2}^{China}$	4,48	1,63
$\ln A_{t-3}^{China}$	-1,74	-2,62
$\ln A_t^{US}$	-3,02	-1,79
$\ln A_{t-1}^{US}$	-1,41	-1,62
$\ln A_{t-2}^{US}$	-5,81	-2,01
$\ln A_t^{Germany}$	6,09	2,14
$\ln A_{t-1}^{Germany}$	-0,53	-1,13
$\ln A_{t-3}^{Germany}$	0,12	0,20
$\ln A_t^{UK}$	0,52	1,17
$\ln A_{t-1}^{UK}$	1,15	0,69
$\ln A_{t-2}^{UK}$	6,00	2,94

¹ Данные по ПИИ были получены из базы данных Всемирного банка. Данные по уровням развития технологии (коэффициент A) были рассчитаны с использованием формулы Кобба-Дугласа и данных по ВВП, инвестициям в основные фонды и численности населения, взятыми из баз данных Всемирного Банка и Евростата.

$\ln A_t^{Japan}$	-1,56	-2,48
$\ln A_{t-1}^{Japan}$	0,45	1,24
$\ln A_{t-2}^{Japan}$	-1,34	-2,66
$\ln \left(\frac{FDI_t^{China}}{I_t^{China}} \right)$	0,04	1,05
R^2	0,98	—
F-статистика	6,67	—

Далее была выполнена стандартная процедура исключения переменных, коэффициенты которых оказались статистически незначимыми. Через несколько итераций был получен окончательный вариант уравнения регрессии:

$$g_{A_t^{China}} = -2,83 - 0,06 \ln A_{t-1}^{China} + 0,49 \ln A_t^{Japan} + 0,02 \ln \left(\frac{FDI_t^{China}}{I_t^{China}} \right) + e_t \quad (7)$$

Коэффициент при переменной с лагом 1, т. е. технологический коэффициент ПФ Китая за прошлый период, значим на 1% уровне, остальные коэффициенты — на 5% уровне. Коэффициент детерминации равен 0,494, регрессия в целом значима (табл. 2)

Таблица 2

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F-статистика	t-статистика при регрессорах			
			const	$\ln A_{t-1}^{China}$	$\ln A_t^{Japan}$	$\ln \left(\frac{FDI_t^{China}}{I_t^{China}} \right)$
Значение	0,494	5,538	-2,61	-3,05	2,77	2,22

Среди предполагаемых стран-лидеров для Китая значимые коэффициенты остались только у одной страны — Японии. Из модели были последовательно исключены значения технологических коэффициентов для Германии, Великобритании и США, как незначимые переменные. Гипотеза о том, что указанные страны можно рассматривать для Китая в качестве лидеров не подтвердилась. В результате значимыми факторами для Китая остались показатель ПИИ, значение технологического коэффициента Китая за первый прошлый период, т. е. с лагом 1 год и значение данного коэффициента для Японии в том же периоде.

График уравнения регрессии (серая линия) был построен по указанным в уравнении (7) трем факторам, а затем соотнесен с фактическими значениями темпов роста технологического коэффициента Китая (темно-серые точки) в хронологическом порядке (рис. 1). Вследствие этого линия регрессии имеет форму ломаной линии. На графике каждому году соответствуют два значения: одно — фактический темп роста (точка), второе — темп роста коэффициента НТП, рассчитанный с помощью регрессии (линия). Регрессия лучше объясняет данные за последнее десятилетие. Наблюдается падение темпа роста технологического коэффициента в кризис 2008 г. Однако линия регрессии проходит в 2006–2008 гг. ниже фактических значений, что может объясняться значительным снижением уровня развития техники в стране-лидере, Японии, в данный период времени.

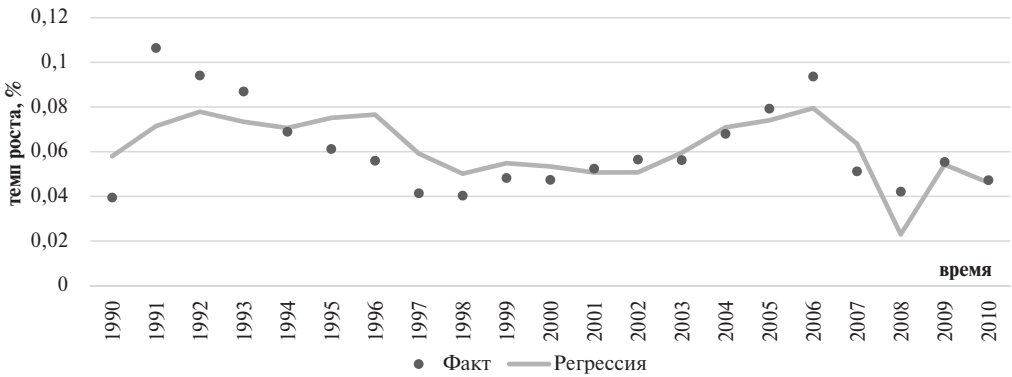


Рис. 1. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Китая

В анализе следующих стран использован такой же подход, поэтому в дальнейшем будут показаны только итоговые уравнения без описания промежуточных результатов вычислений.

Гонконг — специальный административный район КНР. Значимыми остались те же регрессоры, что и в предыдущей регрессии, а также добавился технологический коэффициент ПФ для Китая:

$$g_{A_t^{HK}} = -2,66 - 0,78 \ln A_{t-1}^{HK} + 0,27 \ln A_t^{China} + 0,98 \ln A_t^{Japan} + 0,03 \ln \left(\frac{FDI_t^{HK}}{I_t^{HK}} \right) + e_t \quad (8)$$

где $g_{A_t^{HK}}$ — темп роста технологического коэффициента ПФ для Гонконга, A_t^{HK} — технологический коэффициент для этой страны в период t , A_t^{China} , A_t^{Japan} — значения данных коэффициентов для Китая и Японии, соответственно, в период t , $\frac{FDI_t^{HK}}{I_t^{HK}}$ — отношение прямых иностранных инвестиций к общему размеру инвестиций в Гонконге, e_t — ошибка регрессии. Коэффициент детерминации равен 0,958, регрессия значима в целом. Все коэффициенты значимы на 1% уровне (табл. 3).

Таблица 3

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F -статистика	t -статистика при регрессорах				
			$const$	$\ln A_{t-1}^{HK}$	$\ln A_t^{China}$	$\ln A_t^{Japan}$	$\ln \left(\frac{FDI_t^{HK}}{I_t^{HK}} \right)$
Значение	0,958	75,972	-3,31	-12,09	6,70	7,91	4,70

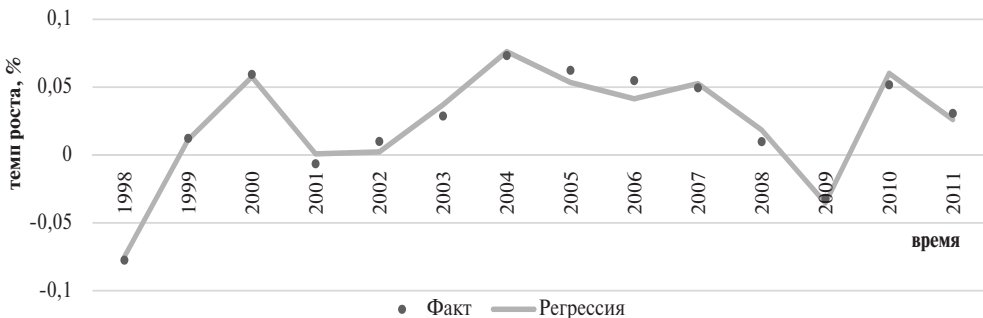


Рис. 2. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Гонконга

Построенная регрессия достаточно точно описывает фактические значения темпа роста технологического коэффициента ПФ для Гонконга, что может говорить о том, что представленная модель (8) достаточно адекватно отражает действительность в этом регионе (рис. 2).

Согласно полученным результатам, наибольший вклад в темп роста уровня НТП в Гонконге привносит диффузия техники из Японии и Китая, относительно меньшее влияние оказывают прямые иностранные инвестиции. Прошлогодний уровень НТП Гонконга и константа вошли в уравнение с отрицательными знаками, аналогично тому, как это было получено для Китая. Первое можно объяснить как эффект от мер по предотвращению «перегрева» в области техники, а второе — как постепенное устаревание технологий — если никакого вклада в развитие НТП не происходит, то он будет снижаться из-за недостатка квалификации новых работников, износа основных фондов и, как следствие, потери конкурентоспособности продукции на международной арене.

Сингапур — высокоразвитая страна с рыночной экономикой, имеющая низкое налогообложение и благоприятный инвестиционный климат. В Сингапуре ведутся исследования в области биотехнологий и фармацевтики, развиты производства электроники многих европейских, китайских, японских и американских компаний. В окончательном варианте уравнения регрессии в числе внешних факторов остались технологические коэффициенты Китая и Японии и ПИИ:

$$g_{A_t^{Sing}} = -3,11 - 0,88 \ln A_{t-1}^{Sing} + 0,22 \ln A_t^{China} + 1,18 \ln A_t^{Japan} + 0,03 \ln \left(\frac{FDI_t^{Sing}}{I_t^{Sing}} \right) + e_t, \quad (9)$$

$g_{A_t^{Sing}}$ — темп роста технологического коэффициента ПФ для Сингапура, A_t^{Sing} — значение данного коэффициента в этой стране в период t , A_t^{China} — коэффициент ПФ в Китае в период t , A_t^{Japan} — коэффициент ПФ в Японии в период t , $\frac{FDI_t^{Sing}}{I_t^{Sing}}$ — отношение прямых иностранных инвестиций к общему размеру инвестиций в Сингапуре, e_t — ошибка регрессии. Коэффициент детерминации регрессии достаточно высокий — 0,728; регрессия в целом значима, коэффициент при показателе ПИИ значим на уровне 5%, константа — незначима, остальные коэффициенты значимы на 1% уровне (табл. 4). Как и уравнение для Китая, регрессия в данном случае лучше описывает более современные данные, что говорит о постепенном распространении процессов диффузии техники (рис. 3). В полученном уравнении регрессии коэффициент при предыдущем уровне собственных разработок Сингапура имеет положительный знак — у страны наблюдается «инертность» в развитии технического прогресса. Если в прошедшем году технический уровень был высокий, то в текущем это даст дополнительный толчок к развитию, если же уровень был низкий, то и темп роста НТП в текущем году будет невысокий. Как и в других моделях, достаточно сильно на темп роста НТП влияют уровни развития технологий в странах-лидерах (Китае и Японии), меньше всего (из положительного влияния) оказывают воздействие иностранные инвестиции. Отрицательный коэффициент при константе может говорить об устаревании части технологий.

Таблица 4

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F -статистика	t -статистика при регрессорах				
			$const$	$A_{t-1}^{Singapore}$	$\ln A_t^{China}$	$\ln A_t^{Japan}$	$\ln \left(\frac{FDI_t^{Sing}}{I_t^{Sing}} \right)$
Значение	0,728	10,723	-1,52	5,03	3,09	3,21	2,28

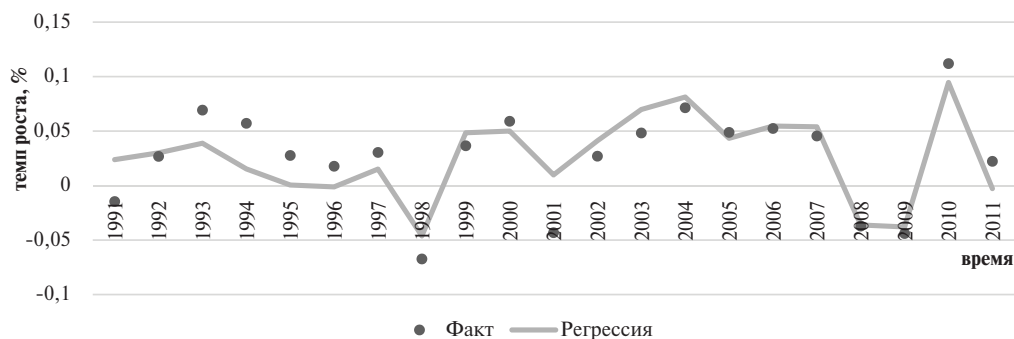


Рис. 3. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Сингапура

Анализ данных Мексики

Основными отраслями экономики Мексики являются добывающие (нефть, газ, полиметаллы). Однако быстрыми темпами развиваются и обрабатывающие производства. Определяющую роль в развитии этих компаний играют иностранные предприятия, в первую очередь американские. Большинство выпускаемых автомобилей в стране — продукция дочерних фирм американских корпораций «Форд», «Дженерал Моторс» или «Крайслер». Построенный окончательный вариант уравнения регрессии подтверждает влияние США на уровень развития технологии Мексики:

$$g_{A_t^{Mexico}} = 1,21 - 0,68 \ln A_{t-1}^{Mexico} + 0,38 \ln A_t^{USA} + e_t \tag{10}$$

$g_{A_t^{Mexico}}$ — темп роста технологического коэффициента ПФ для Мексики, A_t^{Mexico} , A_t^{USA} — технологические коэффициенты ПФ для Мексики и США в период t , e_t — ошибка регрессии. Коэффициенты при регрессорах значимы на 1% уровне, константа — не значима. Коэффициент детерминации равен 0,489, регрессия в целом значима (табл. 5).

Таблица 5

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F -статистика	t -статистика при регрессорах		
			$const$	$\ln A_{t-1}^{Mexico}$	$\ln A_t^{USA}$
Значение	0,489	8,617	1,61	-3,94	3,55

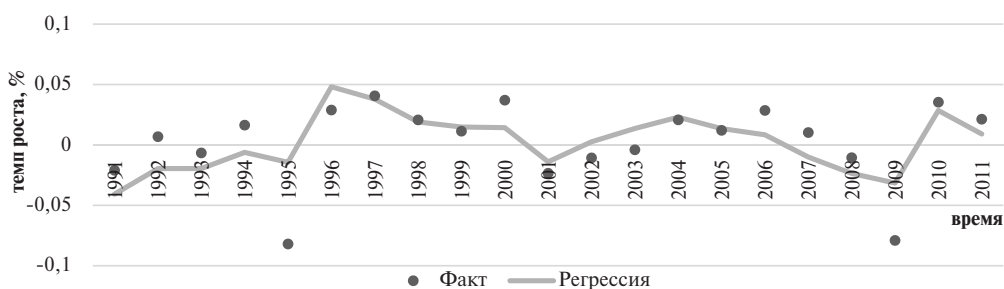


Рис. 4. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Мексики

Технический уровень страны-лидера — США положительно влияет на техническое развитие Мексики. Коэффициент при переменной, характеризующей собственное влияние данной страны на технический уровень имеет отрицательный знак и больше по модулю, чем коэффициент при переменной, характеризующей влияние США (при этом данные по технологическим коэффициентам обеих стран сопоставимы), а константа — положительная. Это может объясняться сильными политическими и экономическими факторами, воздействующими на экономику страны и не учитываемыми моделью. Возможно, по этой же причине коэффициент детерминации оказался невысоким, а линия регрессии плохо объясняет данные в периоды кризисов в 1995 и 2009 гг. (рис. 4).

Анализ данных европейских стран (Нидерланды, Бельгия) показал следующее.

В Нидерландах находятся штаб-квартиры и производственные мощности многих транснациональных корпораций, сильно развиты такие отрасли промышленности как машиностроение, электроника, авиастроение и нефтехимия. Основными партнерами Нидерландов по экспорту и импорту являются США, Германия, Великобритания, Бельгия и Франция. Окончательный вариант построенного уравнения регрессии для Нидерландов выглядит следующим образом:

$$g_{A_t^{Netherlands}} = 1,80 - 0,63 \ln A_{t-1}^{Netherlands} + 0,60 \ln A_t^{USA} + 0,30 \ln A_t^{Germany} + e_t, \quad (11)$$

где $g_{A_t^{Netherlands}}$ — темп роста технологического коэффициента для Нидерландов, $A_t^{Netherlands}$, A_t^{USA} , $A_t^{Germany}$ — значения этих коэффициентов в Нидерландах, США и Германии в период t , e_t — ошибка регрессии. Коэффициент детерминации равен 0,83, все коэффициенты и константа значимы на уровне 1%, регрессия значима в целом (табл. 6).

Таблица 6

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F -статистика	t -статистика при регрессорах			
			$const$	$\ln A_{t-1}^{Netherlands}$	$\ln A_t^{USA}$	$\ln A_t^{Germany}$
Значение	0,835	28,605	-5,93	-8,25	8,58	3,48

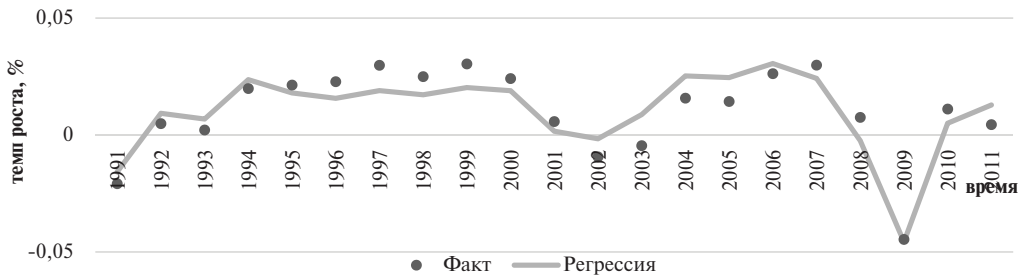


Рис. 5. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Нидерландов

Для Нидерландов в числе стран-лидеров выделены США и Германия. Отрицательный знак при константе в оцененном уравнении регрессии может указывать на темпы устаревания технологий в стране. Отрицательный коэффициент при прошлогоднем уровне технологического коэффициента отражает меры правительства по недопущению перегрева экономики. На темп роста уровня развития технологии в Нидерландах сильнее всего влияет США, слабее — Германия. В целом линия регрессии неплохо соответствует фактической динамике технологического коэффициента ПФ (рис. 5).

Один из районов Бельгии — Фландрия — является одним из ведущих регионов в индустрии высокотехнологичной продукции. Как и в Нидерландах, в Бельгии сосредоточены производства многих ТНК, особенно американских. Окончательный вариант уравнения регрессии подтверждает зависимость темпа технологического коэффициента ПФ Бельгии от уровня этого показателя США и Германии:

$$g_{A_t^{Belgium}} = -0,63 - 0,73 \ln A_{t-1}^{Belgium} + 0,22 \ln A_t^{USA} + 0,59 \ln A_t^{Germany} + e_t \quad (12)$$

где $g_{A_t^{Belgium}}$ — темп роста технологического коэффициента для Бельгии, $A_t^{Belgium}$, A_t^{USA} , $A_t^{Germany}$ — значения технологических коэффициентов Бельгии, США и Германии, соответственно, в период t , e_t — ошибка регрессии. Регрессия в целом значима, коэффициенты и константа значимы на 1% уровне, коэффициент детерминации равен 0,90 (табл. 7).

Таблица 7

Показатели качества регрессии

Показатель	R^2	F -статистика	t -статистика при регрессорах			
			$const$	$\ln A_{t-1}^{Belgium}$	$\ln A_t^{USA}$	$\ln A_t^{Germany}$
Значение	0,903	52,676	-4,05	-10,89	3,80	11,92

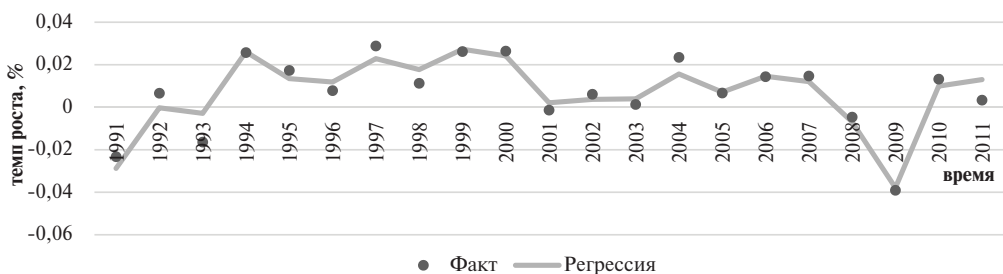


Рис. 6. Темп роста технологического коэффициента ПФ для Бельгии

Для Бельгии, как и для Нидерландов, в числе стран-лидеров оказались США и Германия. Как и в уравнении регрессии для Нидерландов, построенное уравнение регрессии для Бельгии имеет отрицательные знаки константы и коэффициента при предыдущем значении технологического коэффициента ПФ самой Бельгии. Отрицательная константа может указывать на устаревание уровня техники, отрицательный коэффициент при технологическом коэффициенте ПФ Бельгии с лагом в 1 год, указывает на определенное противодействие перегреву экономики. Если в Нидерландах на технический уровень больше воздействовала диффузия техники из США, то для Бельгии основное влияние на технический уровень оказывает Германия, а США — на втором месте. В целом линия регрессии, как в предыдущем примере неплохо соответствует фактической динамике технологического коэффициента ПФ Бельгии (рис. 6).

Заключение

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Технические и технологические инновации стран-лидеров через процессы диффузии техники оказывает существенное воздействие на технический уровень различных стран мира.

2. На темп развития технологий в стране оказывают влияние, во-первых, внутренние факторы (собственные разработки и технологии), во-вторых, внешние факторы (технологии, импортируемые из других стран с помощью внедрения на рынки иностранных фирм, промышленного шпионажа, покупки технологий и других способов) и, в-третьих, политика, проводимая государством (в том числе, по защите интеллектуальных прав собственности).

3. Иностранные компании являются одним из каналов проникновения в страну новых технологий. В то же время, в силу связанности с ними рыночными отношениями отечественных компаний, они также могут являться каналами проникновения в страну кризиса, возникшего в стране-новаторе. Поэтому данные компании требуют повышенного внимания со стороны государства для своевременного выявления ситуаций, подвергающих опасности отечественную экономику.

4. В современном мире экономика тесно связана с технологиями, скорость разработки которых все время возрастает, что способствует скачкам и падениям в темпах экономического роста, увеличивает степень неопределенности и, соответственно, уменьшает возможности моделирования данных процессов.

5. Основными лидерами по уровню НТП являются Япония, Китай, США и Германия. При этом техника в одной стране может заимствоваться из нескольких лидеров. Регрессии показывают, что влияние Китая и Японии сильнее прослеживается в Азии, в то время как Германии и США — в Европе.

6. Выполненные расчеты показали, что гипотеза о влиянии диффузии техники развитых стран на темпы роста технологического коэффициента производственной функции (ПФ) отдельных стран нашла свое подтверждение.

7. Лаг уровня развития техники рассматриваемой страны во всех регрессиях имеет отрицательный коэффициент. Это может объясняться тем, что если в один год уровень развития технологии достигает слишком высокого значения, принимаются меры по «охлаждению» экономики и замедлению темпов роста, и наоборот — если уровень технического прогресса низкий, то принимаются стимулирующие меры для его подъема.

8. Отрицательная константа в большинстве оцененных регрессионных уравнений может указывать на устаревание технологий и выбытие квалифицированных

кадров — при отсутствии инвестиций в развитие технологий и обучение принимаемые на работу выпускники будут иметь квалификацию ниже, чем уже работающие.

9. Поскольку технологические коэффициенты ПФ, используемые в процессе расчетов, отражают все факторы, которые не учитываются прямо в объемах затрат капитала и труда, в том числе и диффузию технологии, о которой идет речь в данной статье, то полученные результаты имеют предварительный аппроксимирующий характер. Получение более содержательных и однозначных выводов относительно влияния процессов диффузии технологии на экономический рост требует дальнейшего исследования.

Источники

Barro P. Дж., Sala-i-Martin X. Экономический рост / пер. с англ. М., 2010.

Данилин И. Глобальная диффузия технологий // Международные процессы: электронный журнал. 2013. Т. 11. № 2 (33). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.intertrends.ru/eighteenth/006.htm> (дата обращения: 25.04.2014).

Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / пер. с англ. Г. И. Жуковой, Ф. Я. Кельмана. М., 2002.

Лавров Е. И., Капогузов Е. А. Экономический рост. Теории и проблемы. Омск, 2006.

Моделирование экономического роста в условиях современной экономики / Воронцовский А. В., Дикарев А. Ю., Ахобадзе Т. Д., Дмитриев А. Л., Шеров-Игнатъев В. Г.; под ред. А. В. Воронцовский. СПб., 2011.

Современная макроэкономика: избранные главы: Учебник / под ред. А. В. Воронцовского. М., 2013.

Aiyar S., Dalgaard C. J. Total Factor Productivity Revisited A Dual Approach to Development Accounting / IMF Staff Papers. 2005. Vol. 52. N 1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.imf.org> (дата обращения: 15.02.2014).

Acemoglu D. Introduction to Modern Economic Growth. Princeton N. J., 2009.

Aghion P., Howitt P. A Model of Growth through Creative Destruction // *Econometrica*. 1972. Vol. 60. March. P. 323–351.

Barro-Lee Educational Attainment Dataset. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.barrolee.com> (дата обращения: 08.03.2014).

Benhabib J., Spiegel M. M. Human Capital and Technology Diffusion / FRBSF Working Paper N 2003–02. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.frbsf.org/economic-research> (дата обращения: 20.04.2014).

Delpachitra S., Van Dai P. The Determinants of TFP Growth in Middle Income Economies in ASEAN: Implication of Financial Crises // *International Journal of Business and Economics*. 2012. Vol. 11. P. 63–88.

Eurostat Dataset [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (дата обращения: 10.03.2014).

Helpman E. Innovation, Imitation, and Intellectual Property Rights // *Econometrica*. 1993. Vol. 61. N 6. P. 1247–1280.

Klenow P. J., Rodriguez-Clare A. The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far? // *N.B.E.R. Macroeconomics Annual*. 1997. Vol. 12. P. 73–114.

Mahmood A., Afza T. Total Factor Productivity Growth in East Asia: A Two Pronged Approach // *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*. 2008. Iss. 14. P. 93–113.

Mondal D., Gupta M. R. Endogenous Imitation and Endogenous Growth in a North–South Model: A Theoretical Analysis // *Journal of Macroeconomics*. 2009. Vol. 31. P. 668–684.

Nelson R. R., Phelps E. S. Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth // *The American Economic Review*. 1996. Vol. 56. N 1/2. P. 69–75.

The World Bank Dataset [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.data.worldbank.org> (дата обращения: 10.03.2014).