

Тема: «Моделирование влияния технологического развития на экономический рост в рамках моделей диффузии технологий»

Цель: выявление механизмов диффузии технологий и моделирование их влияния на темпы экономического роста.

Задачи:

1. Провести обзор литературы по данной тематике и составить классификацию теоретических и эмпирических работ.
2. Выявить основные механизмы процесса диффузии технологий и условия их функционирования.

Диффузия технологий – распространение технологических новшеств среди стран.

Основные механизмы технологической диффузии:

1. Прямые иностранные инвестиции
 - повышение квалификации рабочей силы страны-реципиента,
 - передача технологического трансферта, имитация технологий страной-реципиентом,
 - рост национальных сбережений и инвестиций,
 - рост конкуренции на национальном рынке товаров и услуг,
 - рост экспорта страны-реципиента.
2. Международная торговля
 - передача технологического трансферта, имитация технологий страной-импортером.

Классификация теоретических и эмпирических работ

Условия в стране-последователе Механизмы тех. диффузии	Уровень человеческого капитала	Другие факторы (Наличие финансовых ограничений, географическая удаленность и т.д.)
Прямые иностранные инвестиции (ПИИ)	Mumit A. (2008) (t,e), Todo Y. (2003) (t),	
Международная торговля (МТ)	Schiff M. (2009) (e), Cameron G. (2005) (e)	Connoly M. (2004) (t), Christiaans (2008) (t), Eatan J.(2002) (t,e)
ПИИ и МТ	Weng K. (2006) (t,e), Mingyong L. (2006) (t,e),	Mingyong L. (2006) (t,e), Xinshen D.(2005) (t,e)
Уровень человеческого капитала	Bowman K. (2007) (t,e), Kumar N.(2008) (e), Peantea M.(2007) (t,e), Gomes O. (2005) (t)	

Kong Weng Ho, Hian Teck Hoon, Growth Accounting for a Follower-Economy in a World of Ideas: The Example of Singapore, 2006

Модель эндогенного экономического роста страны-последователя

Производственная функция страны-последователя:

$$Y_t = A_t^\sigma K_t^\alpha H_{Y_t}^{1-\alpha}, \quad (1)$$

где $\sigma = 1 - \alpha$, поэтому научно-технический прогресс является нейтральным по Харроду.

H_{Y_t} - эффективная рабочая сила, A_t - накопление идей, адаптированных страной-последователем.

Накопление капитала:

$$\dot{K} = s_{K_t} Y_t - dK_t, \quad K_0 > 0, \quad (2)$$

где s_{K_t} - норма сбережений или инвестирования, d - норма амортизации, начальный запас капитала K_0 .

Эффективная рабочая сила:

$$H_{Y_t} = h_t L_{Y_t}, \quad (3)$$

где h_t - человеческий капитала на душу, L_{Y_t} - рабочая сила.

Человеческий капитал работников зависит от времени, затраченного на накопление человеческого капитала l_{ht} :

$$h_t = e^{\psi l_{ht}}, \quad \psi > 0. \quad (4)$$

Пусть темп роста рабочей силы в стране последователе равен n :

$$N_t = N_0 e^{nt}, \quad N_0 > 0. \quad (5)$$

Рабочая сила в стране-последователе:

$$L_{A_t} + L_{Y_t} = L_t = (1 - l_{ht}) N_t, \quad (6)$$

где L_t - совокупная занятость, L_{A_t} - занятость в секторе НИОКР,

$$l_A = \frac{L_A}{L} - \text{интенсивность исследований}$$

$$l_Y = \frac{L_Y}{L}.$$

Выпуск на единицу эффективной рабочей силы:

$$y_t^E = \frac{Y_t}{A_t H_{Y_t}}.$$

Учитывая что $y_t = \frac{Y_t}{L_t} = A_t h_t L_t y_t^E$:

$$g(y_t) = \alpha \left[g(A_t) + \psi \frac{dl_{ht}}{dt} - n - d \right] + \frac{(1 - \alpha) s_K^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[n + g(A_t) + \psi \frac{dl_{ht}}{dt} + d \right]^{1-\frac{\alpha}{1-\alpha}}}{\frac{y_t}{A_t h_t}}. \quad (7)$$

s_K, A_t, h_t - положительно влияют на $g(y_t)$.

Для того, чтобы $g(A_t)$ или $\frac{dl_{ht}}{dt}$ влияли положительно на $g(y_t)$ достаточным является

условие $\alpha \leq 0.5$. Таким образом, для того, чтобы тщательнее исследовать факторы роста доходов на душу населения, необходимо выявить факторы $g(A_t)$.

Определим эффективную мировую границу исследовательских усилий: (effective world research effort \tilde{H}_A):

$$\tilde{H}_{A_i} = \sum_{i=1}^M L_{A_i}, \quad (8)$$

где i – индекс для развитых стран (G5).

Экономика страны-последователя не приносит значительный вклад в развитие мировых исследований.

Накопление идей, адаптированных страной последователем:

$$\dot{A}_t = \delta \tilde{H}_{A_t}^\lambda A_t^\phi E_t^\beta \left(\frac{G5MT_t}{Y_t} \right)^\mu \left(\frac{G5FDI_t}{K_t} \right)^\kappa, \quad A_0 > 0, \quad (9)$$

где \tilde{H}_{A_t} - эффективная граница мировых исследовательских усилий, измеренная как сумма работников науки и инженеров в G5,

$$\delta > 0,$$

$$0 < \lambda \leq 1 \text{ (возможно дублирование научных открытий научными сотрудниками),}$$

$\phi < 1$ (может быть положительной (предшествующие исследования увеличивают текущий поток новых идей) или отрицательной (уменьшаю его)),

$$\beta > 0, \quad \mu > 0, \quad \kappa > 0,$$

$G5MT_t$ - импорт оборудования, машин и транспорта из G5,

$G5FDI_t$ - накопление прямых иностранных инвестиций из G5,

E_t - отношение численности населения, поступившего на высшую ступень образования к численности занятых,

$A_0 > 0$ - начальный уровень технологий.

В формуле (9) представлены три канала роста A_t в малой стране-последователе:

1) качество обучения E_t ;

2) связь с передовыми импортными технологиями $\frac{G5MT_t}{Y_t}$;

3) качество накопления капитала $\frac{G5FDI_t}{K_t}$.

Динамика границы накопления идей страны-лидера T_t :

$$\dot{T}_t = \delta \tilde{H}_{A_t}^\lambda T_t^\phi, \quad T_0 > 0,$$

это производственная функция идей, предложенная Jones (2002) для технологического лидера. Следовательно, темпы роста идей страны-лидера:

$$g(T_t) = \frac{\dot{T}_t}{T_t} = \delta \tilde{H}_{A_t}^\lambda T_t^{\phi-1}. \quad (10)$$

Используя (10), преобразуем (9):

$$g(A_t) = \frac{\dot{A}_t}{A_t} = g(T_t) \left(\frac{T_t}{A_t} \right)^{1-\phi} E_t^\beta \left(\frac{G5MT_t}{Y_t} \right)^\mu \left(\frac{G5FDI_t}{K_t} \right)^\kappa, \quad A_0 > 0. \quad (11)$$

Накопление идей, адаптированных страной-последователем, растет тем быстрее

- чем выше темп роста накопления идей на эффективной границе идей,

- когда страна-последователь расположена дальше от эффективной границы идей,

- чем существеннее действие каналов трансмиссии идей.

В стационарном состоянии расстояние до границы идей определяется как отношение накопления идей в стране-лидере к накоплению идей в стране-последователе, когда

$$g(T_t) = g(A_t):$$

$$\left(\frac{T}{A}\right)^* = E^{\frac{-\beta}{1-\phi}} \left(\frac{G5MT}{Y}\right)^{\frac{-\mu}{1-\phi}} \left(\frac{G5FDI}{K}\right)^{\frac{-\kappa}{1-\phi}}. \quad (12)$$

Следовательно, расстояние до границы идей в стационарном состоянии отрицательно зависит от трех каналов трансмиссии.

В результате некоторых преобразований получим:

$$g(A_t) = g(T_t) + (1-\phi) \left[\frac{\left(\frac{T_t}{A_t}\right)}{\left(\frac{T_t}{A_t}\right)^*} - 1 \right] g(T_t). \quad (14)$$

Содержательные выводы формулы (14) представлены в таблице 2.

Перепишем формулу (1) в терминах единицы рабочей силы:

$$y_t = \frac{Y_t}{L_t} = \left(\frac{K_t}{Y_t}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} l_{Yt} h_t A_t^{1-\alpha}. \quad (15)$$

Используя (2) и (9), (15) получим:

$$y_t = \left(\frac{s_{Kt}}{n_t + g(k_t) + d}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} l_{Yt} h_t \left(\frac{\delta}{g(A_t)}\right)^{\frac{\gamma}{\lambda}} \tilde{H}_{At}^{\gamma} \left[E_t^{\beta} \left(\frac{G5MT_t}{Y_t}\right)^{\mu} \left(\frac{G5FDI_t}{K_t}\right)^{\kappa} \right]^{\frac{\gamma}{\lambda}}, \quad (16)$$

$$\text{где } k = \frac{K}{L} \text{ и } \gamma = \frac{\sigma}{1-\alpha} \frac{\lambda}{1-\phi}.$$

Таким образом, темп роста экономики-последователя в стационарном состоянии зависит от темпов роста численности рабочей силы в G5: $g(y) = \gamma \tilde{n}$.

Однако, вне сбалансированной траектории - от интенсивности использования капитала, расстояния до технологической границы, трех каналов передачи идей: качества обучения, импортируемых технологий, прямых иностранных инвестиций из G5.

Эмпирическое исследование

Оценивается влияние трех каналов на совокупную факторную производительность (или накопление адаптированных идей).

Используя (2) и (4) можно переписать уравнение (16) следующим образом:

$$y_t = \left(\frac{K_t}{Y_t}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} l_{Yt} e^{\psi l_{ht}} \left(\frac{\delta}{g(A_t)}\right)^{\frac{\gamma}{\lambda}} \tilde{H}_{At}^{\gamma} \left[E_t^{\beta} \left(\frac{G5MT_t}{Y_t}\right)^{\mu} \left(\frac{G5FDI_t}{K_t}\right)^{\kappa} \right]^{\frac{\gamma}{\lambda}}. \quad (18)$$

Прологарифмировав выражение (18) и взяв производную по времени, имеем:

$$g(y_t) = \frac{\alpha}{1-\alpha} g\left(\frac{K_t}{Y_t}\right) + g(l_{Yt}) + \frac{\gamma}{\lambda} g(g(A_t)) + \psi \Delta l_{ht} + \gamma g(\tilde{l}_{At}) + \gamma \tilde{n} + \\ + \frac{\beta}{1-\phi} g(E_t) + \frac{\mu}{1-\phi} g\left(\frac{G5MT_t}{Y_t}\right) + \frac{\kappa}{1-\phi} g\left(\frac{G5FDI_t}{K_t}\right). \quad (19)$$

Предполагая, что $l_{Yt} = 1$, $l_{At} = 0$, а также, что $g(g(A_t)) = 0$, $\mu = \kappa = \eta$ (чтобы найти совместное влияние двух каналов, т.к. трудно выделить отдельное влияние каждого), упростим выражение (19):

$$g(y_t) = \frac{\alpha}{1-\alpha} g\left(\frac{K_t}{Y_t}\right) + \psi \Delta l_{ht} + \gamma g(\tilde{l}_{At}) + \gamma \tilde{n} +$$

$$+\frac{\beta}{1-\phi}g(E_t)+\frac{\eta}{1-\phi}g\left(\frac{G5MT_t}{Y_t}\cdot\frac{G5FDI_t}{K_t}\right). \quad (20)$$

Предполагается также, что $\psi = 0.07$, α варьируется от 1/3 до 0.53.

Необходимо эмпирически оценить параметры: γ , $\frac{\beta}{1-\phi}$, $\frac{\eta}{1-\phi}$.

Оценивание проводилось для уравнения с объясняемой переменной в виде совокупной факторной производительности:

$$\Delta \ln B_{t+1} \approx \beta_0 + \lambda g(B) \left[\ln \tilde{H}_{A_t} + \frac{\beta}{\lambda} \ln E_t + \frac{\eta}{\lambda} \ln \left(\frac{G5MT_t}{Y_t} \frac{G5FDI_t}{K_t} \right) - \frac{1}{\gamma} \ln B_t \right] + \pi_{t+1}.$$

Затем оцененные значения γ , $\frac{\beta}{1-\phi}$, $\frac{\eta}{1-\phi}$ подставляются в уравнение (20).

Результаты эконометрического оценивания уравнения (20) (Сингапур, 1970-2002):

Таблица 1

Описание переменной	Объясняющая переменная	Оценка коэффициента
Интенсивность использования капитала	$\frac{\alpha}{1-\alpha}g\left(\frac{K}{Y}\right)$	0.006584 (16.56%)
Число лет обучения населения в возрасте 25 лет	Δl_n	0.010298 (25.90%)
Интенсивности НИОКР в G5	$\gamma g(\tilde{l}_A)$	0.001337 (3.36%)
Темп роста рабочей силы в G5	$\gamma \tilde{n}$	0.000939 (2.36%)
Отношение численности населения, поступившего на высшую ступень образования к численности занятых	$\frac{\beta}{1-\phi}g(E)$	0.013414 (33.74%)
Прямые иностранные инвестиции и импорт из G5	$\frac{1}{1-\phi}g\left(\frac{G5MT}{Y}\frac{G5FDI}{K}\right)$	0.008092 (20.36%)
Необъясненный остаток		-2.29%

* $\alpha = 1/3$

33.74% + 20.36% - 2.29% = 51.81% вариации $g(y)$ объясняется трансмиссией технологий.

33.74% > 20.36%, следовательно подтверждается гипотеза Нельсона-Фелпса (1966).

Значительная роль высшего образования в успехе процесса диффузии технологий.

Таблица 2

Результирующая переменная	Показатель	Механизм влияния показателя на результирующую переменную
$g(A_t)$ (формула 14)	$g(T_t)$	Темп роста идей в стране-лидере оказывает положительное влияние на темп роста идей в экономике-последователе.
	$\frac{T_t}{A_t}$	Чем дальше страна-последователь отстоит от границы идей, тем выше темп роста идей в данной стране.
	$\left(\frac{T}{A}\right)^*$	Чем больше значение расстояния до границы идей в стационарном состоянии, тем ниже темп роста идей в стране-последователе.
	E	Чем выше качество обучения E (отношение численности населения, поступившего на высшую ступень образования к численности занятых), тем меньше значение расстояния до границы идей в стационарном состоянии и больше темп роста идей в стране-последователе.
	$\frac{G5MT}{Y}$	Рост доли импорта оборудования, машин и транспорта из G5 к ВВП приводит к снижению расстояния до границы идей в стационарном состоянии и увеличению темпов роста идей в стране-последователе.
	$\frac{G5FDI}{K}$	Рост доли прямых иностранных инвестиций из G5 в общем накоплении капитала приводит к снижению расстояния до границы идей в стационарном состоянии и увеличению темпов роста идей в стране-последователе.
y_t (формула 16)	s_{Kt}	Норма инвестирования положительно влияет на темпы экономического роста в стране-последователе.
	l_{Yt}	Доля населения занятого в производственной сфере положительно влияет на темпы экономического роста в стране-последователе.
	h_t	Уровень человеческого капитала на душу населения оказывает положительное влияние на темпы экономического роста в стране-последователе.
	$g(A_t)$	Темп роста идей в стране-последователе положительно влияет на выпуск на одного работника.
	\tilde{H}_{At}	Эффективная мировая граница исследовательских усилий положительно влияет на выпуск на одного рабочего в стране-последователе.
	E_t	Качество обучения E (отношение численности населения, поступившего на высшую ступень образования к численности занятых) оказывает положительное влияние на выпуск на одного рабочего в стране-последователе.
	$\frac{G5MT_t}{Y_t}$	Доля импорта оборудования, машин и транспорта из G5 к ВВП оказывает положительное влияние на выпуск на одного рабочего в стране-последователе.
	$\frac{G5FDI_t}{K_t}$	Доля прямых иностранных инвестиций из G5 в общем накоплении капитала положительно влияет на выпуск на одного рабочего в стране-последователе.

Выводы:

- 1) К основным механизмам диффузии технологий относятся прямые иностранные инвестиции и международная торговля. Рост ПИИ, а также доли технологичного импорта оказывают положительное влияние на темпы экономического роста в развивающихся странах.
- 2) Степень влияния механизмов технологической диффузии на экономический рост в странах-последователях зависит от уровня человеческого капитала, степени близости к технологической границе, наличия ограничений по заимствованию, географической удаленности, темпов роста численности населения, накопления физического капитала и т.д.

Список литературы:

- 1) Mumit A, Level of Growth, which is more important? Influence of Human Capital on spillovers from FDI, North-South University Working Paper, January 2008;
- 2) Schiff M., Wang Y., North-South Trade-related Technology Diffusion, Brain Drain and Productivity Growth, The World Bank Development Research Group, January 2009;
- 3) Kumar N., Level of Education Attainment and Its Impact on Technology Diffusion in Developing Countries, 2008
- 4) Connolly M., North-South Technological Diffusion and Dynamic Gains From Trade, www.ssrn.com, December 2004;
- 5) Bowman K., Knowledge Stocks By Distance To Frontier: Linking Low Education Inequality To High Growth In Developing Countries, Journal of Asian Economics 18, February 2007;
- 6) Peantea M., Technological Complexity and Economic Growth, January 2007;
- 7) Cameron G., Proudman J., Technological Convergence, R&D, Trade and Productivity Growth, European Economic Review 49, 2005;
- 8) Todo Y., Empirically Consistent Scale Effects: An Endogenous Growth Model With Technology Transfer To Developing Countries, Journal of Macroeconomics 25, 2003;
- 9) Christiaans T., International Trade and Industrialization in Non-scale Model of Economic Growth, Structural Change and Economic Dynamics 19, 2008;
- 10) Petez-Sebastian F., Public Support to Innovation and Imitation in a Non-Scale Growth Model, Journal of Economic Dynamics & Control 31, 2007;
- 11) Mingyong L., Shuijun P., Technology Spillovers, Absorptive Capacity and Economic Growth, China Economic Review 17, 2006;
- 12) Xinshen D., Ekroll H., International Spillover, Productivity Growth and Openness in Thailand; an Intertemporal General Equilibrium Analysis, Journal of Development Economics 76, 2005;
- 13) Connolly M., The Dual Nature of Trade: Measuring Its Impact On Imitation And Growth, Journal of Development Economics 72, 2003;
- 14) Eaton B., Kortum S., Technology, Geography and Trade, Econometrica 70, September 2002;
- 15) Kong Weng Ho, Hian Teck Hoon, Growth Accounting for a Follower-Economy in a World of Ideas: The Example of Singapore, June, 2006;
- 16) Gomes O., Knowledge Creation And Technology Diffusion: A Framework to Understand Economic Growth, Journal of Macroeconomics 20, 2005;
- 17) Comin D., Hobijn B., An Exploration of Technology Diffusion, www.ssrn.com, 2008;
- 18) Jones C., Sources of U.S. Economic Growth in a World of Ideas, American Economic Review, vol. 92, no.1, 2002