

УДК 519.86

Т.С. Вакарчук

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК СУСПІЛЬСТВА З УРАХУВАННЯМ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ

При використанні виробничих функцій та побудові моделей економічного зростання важливу роль відіграє функція науково-технічного прогресу (далі – НТП). На підставі удосконалення запропонованого академіком А.А. Акаєвим підходу одержано аналітичні вирази «нейтральної», за Хіксом, НТП-функції для України та Російської Федерації і проведено їх детальний порівняльний аналіз.

Ключові слова: функція науково-технічного прогресу, темп зростання, темп приросту, залишок Солоу.

Вступ. Макромоделі економічного зростання досить широко наведені в економічних дослідженнях, оскільки на їх основі вирішуються різні завдання аналізу та прогнозування розвитку національних економік. Сучасні моделі економічного зростання враховують можливість інвестицій не тільки у фізичний капітал, але й низку інших виробничих ресурсів, оскільки зростанню ефективності їх використання сприяє велика кількість технологічних, організаційних та інших факторів, сукупність яких охоплюється поняттям науково-технічного прогресу (далі – НТП). Під НТП звичайно розуміють сукупність усіх явищ, які приводять до зростання випуску продукції або послуг без зростання ресурсів, що використовуються.

Серед методів опису НТП в агрегованих моделях, які використовуються при аналізі довгострокового розвитку економіки, можна виділити чотири основні підходи (наприклад [1]) на основі:

- «нейтрального», або «автономного» НТП, в якому зростання ефективності використання ресурсів вважається незалежним від капіталовкладень та динаміки робочої сили;
- «уречевленого» НТП, коли прогрес привноситься разом з новим, більш сучасним обладнанням і новою, більш кваліфікованою робочою силою;
- «індуцированого» НТП, коли прогрес пов'язується з попереднім розвитком економіки і є наслідком цього розвитку;
- виокремлення в економічній системі особливої галузі, продуктом якої є НТП.

Звичайно у моделях економічного зростання використовується «нейтральний» НТП як задане ззовні покращання якості основних фондів (K) або кваліфікації робочої сили (L). Нагадаємо, що розрізняють три основні випадки «нейтрального» НТП. Це НТП «нейтральний»:

- за Хіксом, коли зростають як ефективність використання основних фондів, так і ефективність використання трудових ресурсів з часом пропорційно;

– за Харродом, коли зростає ефективність використання трудових ресурсів, а ефективність використання основних фондів залишається на тому ж рівні;

– за Солоу, коли зростає ефективність використання основних фондів, а ефективність використання трудових ресурсів залишається незмінною.

Питання про джерела походження НТП та його аналітичний опис є надзвичайно важливим елементом побудови гнучкої макроекономічної моделі зростання економіки. Зазначене стає зрозумілим, якщо згадати про те, що в розвинутих індустріальних країнах світу темпи зростання ВВП значною мірою визначаються автономним НТП.

Метою цього дослідження є подальше вдосконалення запропонованого А.А. Акаєвим підходу до отримання аналітичного виразу нейтрального за Хіксом науково-технічного прогресу з урахуванням фактора людського капіталу та апробація розробленого підходу на прикладах економік України та Російської Федерації.

Основна частина. Досить важко виявити та підрахувати внесок НТП в економічне зростання, оскільки НТП є довгостроковим фактором і його важко спостерігати в короткостроковий або середньостроковий проміжки часу. НТП як екзогенний фактор економічного зростання звичайно виявляється неявно та опосередковано через покращання якості факторів виробництва. Тому достатньо плідними виявилися підрахунки внеску НТП у зростання виробництва за допомогою «залишкових» методів, запропонованих Р. Солоу та Е. Денісоном (наприклад, [2, ст. 102]).

Використовуючи метод Р. Солоу, отримуємо аналогічну формулу внеску приросту певних факторів у зростання загального обсягу виробництва. Для цього розглянемо неокласичну виробничу функцію:

$$Y(t) = A(t)F(K(t), H(t), L(t)), \quad (1)$$

яка описує ВВП країни у момент часу t . У формулі (1) $K(t)$ – капітал (основні виробничі фонди), $H(t)$ – людський капітал (витрати на освіту тощо), $L(t)$ – кількість зайнятих у народному господарстві, $A(t)$ – «нейтральний» НТП за Хіксом.

Обчислимо похідну першого порядку функції (1):

$$\frac{dY}{dt} = F(K(t), H(t), L(t)) \frac{dA}{dt} + A(t) \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{dK}{dt} + \frac{\partial F}{\partial H} \frac{dH}{dt} + \frac{\partial F}{\partial L} \frac{dL}{dt} \right). \quad (2)$$

Поділивши обидві частини співвідношення (2) на Y , з урахуванням формули (1) перепишемо отриманий вираз у диференціалах:

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dA}{A} + \frac{\partial Y}{\partial K} \frac{dK}{Y} + \frac{\partial Y}{\partial H} \frac{dH}{Y} + \frac{\partial Y}{\partial L} \frac{dL}{Y}. \quad (3)$$

Слід зазначити, що $\frac{\partial Y}{\partial K} \frac{K}{Y} = w_K$ є відносною часткою капіталу, а $\frac{\partial Y}{\partial L} \frac{L}{Y} = w_L$ є відносною часткою праці у виробленому продукті. Аналогічним чином величину $\frac{\partial Y}{\partial H} \frac{H}{Y} = w_H$ можна розглядати як відносну частку

людського капіталу у виробленому продукті. З урахуванням позначень перерахованих відносних часток формулу (3) перепишемо у такому вигляді:

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dA}{A} + w_K \frac{dK}{K} + w_H \frac{dH}{H} + w_L \frac{dL}{L}. \quad (4)$$

Замінюючи диференціали d приростами Δ відповідних функцій, з рівності (4) отримаємо функцію темпів приросту обсягу виробництва:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta A}{A} + w_K \frac{\Delta K}{K} + w_H \frac{\Delta H}{H} + w_L \frac{\Delta L}{L}.$$

У цьому співвідношенні $\Delta A/A$ показує внесок приросту сукупної продуктивності факторів K, H, L у зростання загального обсягу виробництва. Таким чином, ми отримуємо можливість оцінити частку НТП у прирості обсягів виробництва залишковим методом, а саме:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta Y}{Y} - w_K \frac{\Delta K}{K} - w_H \frac{\Delta H}{H} - w_L \frac{\Delta L}{L}. \quad (5)$$

Нагадаємо, що показник $\Delta A/A$ ще називають залишком Солоу і використовують як міру участі НТП у економічному зростанні. Надалі одержане рівняння (5) буде використане для коригування показника експоненти у функції НТП. На нашу думку, воно має і самостійний інтерес для досліджень, пов'язаних з вимірюванням НТП.

Використовуючи дані часових рядів стосовно Y, K, H, L , побудуємо графіки залишків Солоу для України та Російської Федерації (рис. 1).

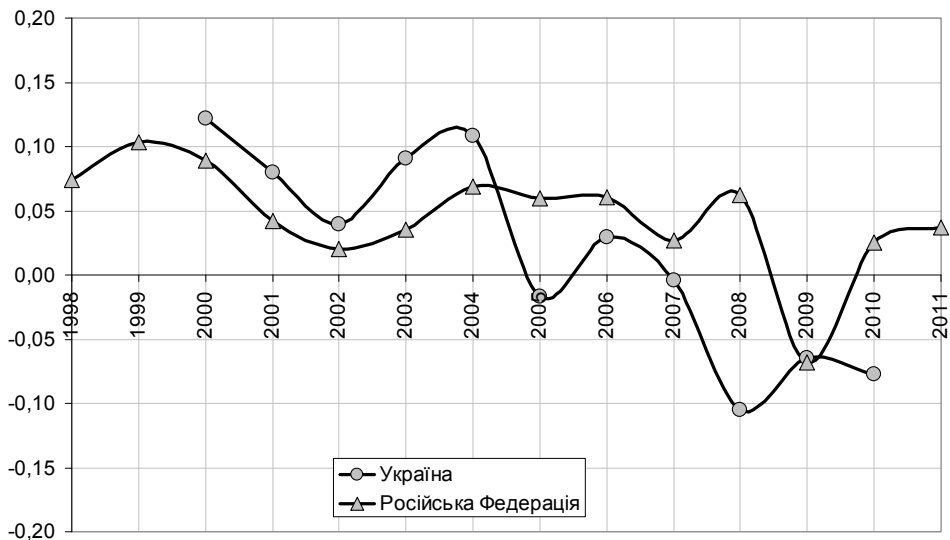


Рис. 1. Графіки залишків Солоу для України та Російської Федерації

Примітка: при розрахунках та побудові графіків використано статистичні дані Федеральної служби державної статистики Російської Федерації та Державної служби статистики України [3], [4].

Великого значення при побудові макроекономічних моделей економічного зростання має використання функції науково-технічного прогресу. Виходячи з викладених далі міркувань, отримаємо аналітичний вираз зазначеної функції і побудуємо її для України та Російської Федерації.

У деяких моделях економічного зростання для опису довгострокової динаміки розвитку технологій використовується функція Кузнеця – Кремера:

$$\frac{dT}{Tdt} = \hat{a}N,$$

де T – рівень технологічного розвитку, N – кількість населення, \hat{a} – постійний коефіцієнт.

Ідея побудови цього рівняння базована на припущенні щодо пропорційності кількості інноваторів до загальної кількості населення, з одного боку, та їх пропорційності відносним темпам технологічного розвитку країни – з іншого. Однак Ч. Джоунс показав, що у сучасних умовах, коли НТП стає важливим елементом політики багатьох країн світу, замість рівняння Кузнеця – Кремера доцільно використовувати так зване НДДКР-рівняння, тобто рівняння, яке враховує науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи в країні через кількість зайнятих у цій сфері. Нехай L_A – кількість зайнятих у НДДКР, $l_A = L_A/L$ – частка зайнятих у НДДКР у загальній кількості зайнятого в економіці населення (L). Тоді НДДКР-рівняння має такий вигляд:

$$\frac{dA}{Adt} = al_A, \quad (6)$$

де a – стала.

Однак через деякий час Джоунс виявив певні вади рівняння (6) і висловив побажання стосовно того, щоб знайти спосіб щодо збереження його базової структури. Зазначену проблему вдалося вирішити А.А. Акаєву, А.В. Коротаєву, С.Ю. Малкову та Ю.В. Божевольнову [5] шляхом урахування універсального принципу спадання віддачі від масштабу (чим більшою є чисельність зайнятих у сфері НДДКР, тим меншою є віддача від додаткових ресурсів або працівників; для кожної країни існує своя оптимальна частка зайнятих у НДДКР, за якої темпи НТП мають максимальне значення).

Запишемо запропоноване авторами [5] узагальнене диференційне рівняння (6):

$$\frac{d}{dl_A} \left(\frac{dA}{AdA} \right) = a(l_M - l_A), \quad (7)$$

де l_M – величина частки зайнятих у НДДКР у режимі насичення, тобто певна стала для кожної конкретної країни, a – стала.

Перевірка рівняння (7) для низки країн підтвердила його відповідність фактичним даним [5].

З формули (7) маємо:

$$d \left(\frac{dA/dt}{A} \right) = al_A (l_M - l_A) dl_A. \quad (8)$$

Позначимо:

$$\varphi_A(t) = \frac{dA/dt}{A(t)}; \quad \varphi_A(t_0) = \frac{A'(t_0)}{A(t)}, \quad (9)$$

де $A'(t) = dA/dt$.

Інтегруючи обидві частини співвідношення (8) у межах від t_0 до t , де t_0 – деяка довільна фіксована точка (початковий момент відліку часу), одержимо:

$$\varphi_A(t) = \frac{a}{6} \left[l_A^2(t)(3l_M - 2l_A(t)) - l_A^2(t_0)(3l_M - 2l_A(t_0)) \right] + \varphi_A(t_0). \quad (10)$$

З (9) маємо:

$$\frac{dA}{A(t)} = \varphi_A(t) dt.$$

Ураховуючи, що диференціал функції наближено дорівнює її приросту, а диференціал незалежної змінної t є сталою, маємо $dA \approx \Delta A$, де $\Delta A = A(t + \Delta t) - A(t)$, $dt \approx \Delta t$. Покладаючи $\Delta t = 1$ і враховуючи зазначене, з рівняння (10) одержимо теоретичний вираз для знаходження $\Delta A/A$, а саме:

$$\frac{\Delta A}{A} \approx \varphi_A(t) = \frac{a}{6} \left[l_A^2(t)(3l_M - 2l_A(t)) - l_A^2(t_0)(3l_M - 2l_A(t_0)) \right] + b, \quad (11)$$

де a та b – певні сталі, які визначаємо за допомогою формули (5) так, щоб крива (11) найкращим чином апроксимувала залежність (5).

У праці [5] було запропоновано апроксимувати величину l_A – частку зайнятих у НДДКР у країні, за допомогою логістичної кривої. Ми застосували дещо інший порівняно з [5] вид логістичної кривої [6], який дозволив більш адекватно згладити експериментальні дані для України та Російської Федерації, а саме ми використали залежність виду:

$$l_A(t) = d + \frac{l_M}{1 + \exp(\alpha + \beta t)}. \quad (12)$$

У формулі (12) α та β є невідомими параметрами, а величини d та l_M задаються. Шляхом логарифмічного перетворення рівняння (12) набуває такого вигляду:

$$\ln \left(\frac{l_M}{l_A(t) - d} - 1 \right) = \alpha + \beta t.$$

Позначивши $z(t) = \ln \left(\frac{l_M}{l_A(t) - d} - 1 \right)$, отримаємо рівняння лінійної регресії:

$$z(t) = \alpha + \beta t.$$

Точкові оцінки $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ невідомих параметрів α , β знаходимо із системи нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} \hat{\alpha} n + \hat{\beta} \sum t = \sum z, \\ \hat{\alpha} \sum t + \hat{\beta} \sum t^2 = \sum t z. \end{cases}$$

Підставляючи одержані значення у формулу (12), одержимо вибірккову парну нелінійну регресію:

$$\hat{l}_A(t) = d + \frac{l_M}{1 + \exp(\hat{\alpha} + \hat{\beta} t)}. \quad (13)$$

Використовуючи статистичні дані щодо зайнятих у НДДКР в Україні та Російській Федерації, побудуємо криві (13) для кожної з цих держав (рис. 2, 3).

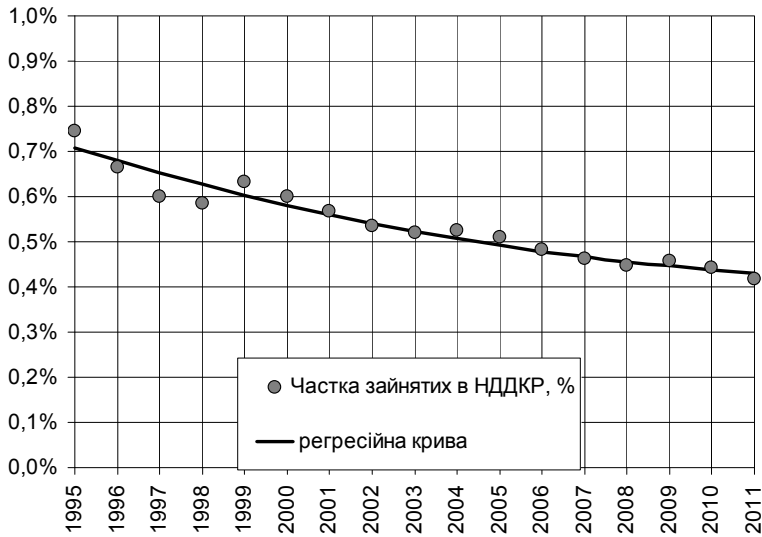


Рис. 2. Апроксимація експериментальних даних регресійною кривою ($R^2=0,95$) для України

Зазначена регресійна крива для України ($R^2=0,96$) має вигляд:

$$\hat{i}_A = 75 + \frac{400}{1 + \exp(0,06 + 0,17t)}$$

та для Російської Федерації ($R^2=0,94$):

$$\hat{i}_A = 700 + \frac{1700}{1 + \exp(0,37 + 0,18t)}$$

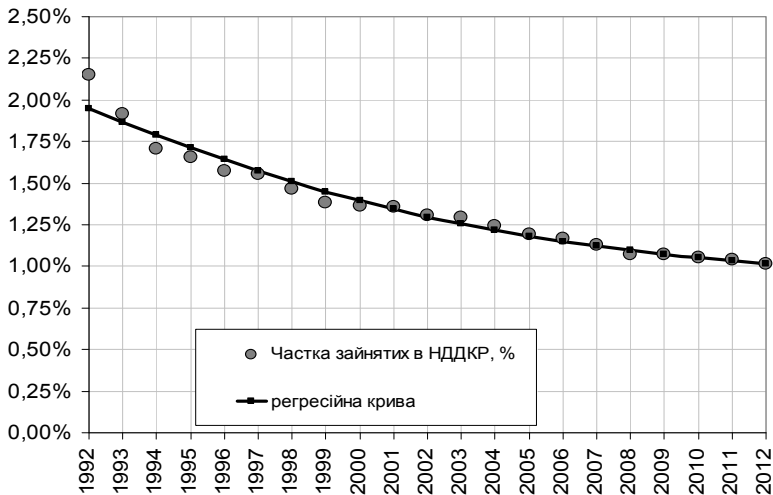


Рис. 3. Апроксимація експериментальних даних регресійною кривою ($R^2=0,98$) для Російської Федерації

Підставляючи вираз (13) у формулу (11) та визначаючи зазначеним вище засобом значення величин a та b у (11), одержимо функцію $\varphi_A(t)$ для України та Російської Федерації (рис. 4, 5).

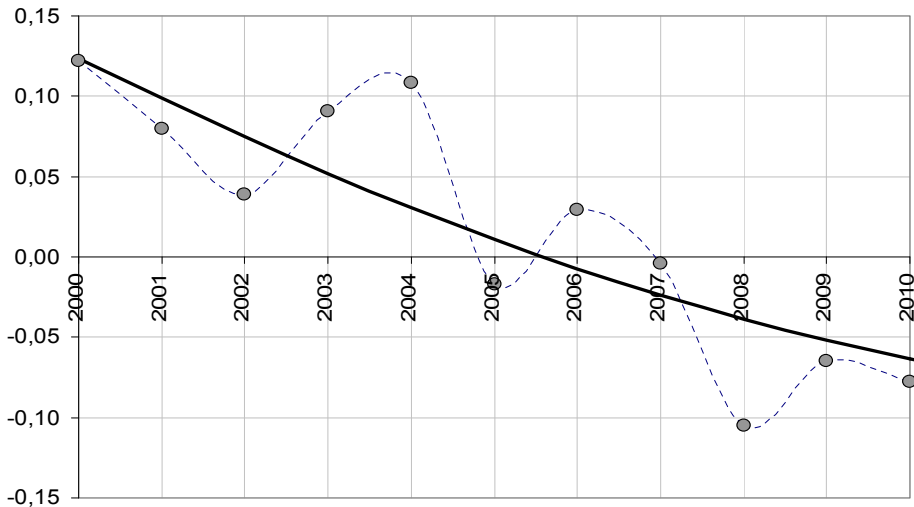


Рис. 4. Апроксимація експериментальних даних нейтрального за Хіксом НТП кривою $\varphi_A(t)$ для України

За допомогою співвідношень (9) – (11), (13) отримаємо вираз функції НТП $A(t)$, а саме:

$$A(t) = A_0 \exp \left\{ \frac{a}{6} \int_{t_0}^t \hat{l}_A^2(\tau) (3l_M - 2\hat{l}_A(\tau)) d\tau + \left[b - \frac{a}{6} \hat{l}_A^2(t_0) (3l_M - 2\hat{l}_A(t_0)) \right] (t - t_0) \right\}, \quad (14)$$

де $A_0 = A(t_0)$ – значення функції НТП у початковий момент часу t_0 . Зазначимо, що інтеграл в аргументі експоненти обчислюється у квадратурах. Кінцевий вигляд формули (14) ми свідомо не наводимо, оскільки він є громіздким. Після проведення відповідних розрахунків побудуємо графіки кривих $A(t)/A_0$ для України та Російської Федерації, зафіксувавши, наприклад, $t_0 = 2001$.

Відомо, що темп зростання зазначає, у скільки разів аналізований рівень динамічного ряду змінюється порівняно з рівнем, прийнятим за базу порівняння. З графіків, наведених на рис. 6, випливає, що крива базисного темпу зростання НТП в Україні спочатку зростає від 1 (2001 р.) до 1,21 (2005 р.), а з часом монотонно спадає до 0,83 (2013 р.). Для Російської Федерації спостерігається зростання темпу зростання НТП від 1 (2001 р.) до 1,28 (2013 р.).

Одним з ефективних показників динаміки зміни НТП є темп приросту, який характеризує абсолютний приріст у відносних величинах. Він може бути виражений у вигляді коефіцієнта або у відсотках. Темп приросту, об-

числений у відсотках, показує на скільки відсотків змінився рівень НТП у поточному році порівняно з базовим рівнем. Для аналізу динаміки економічних явищ застосовують базисний та ланцюговий темпи приросту. На основі одержаних даних наведемо криві базисного темпу приросту та ланцюгового темпу приросту для обох країн (рис. 7, 8).

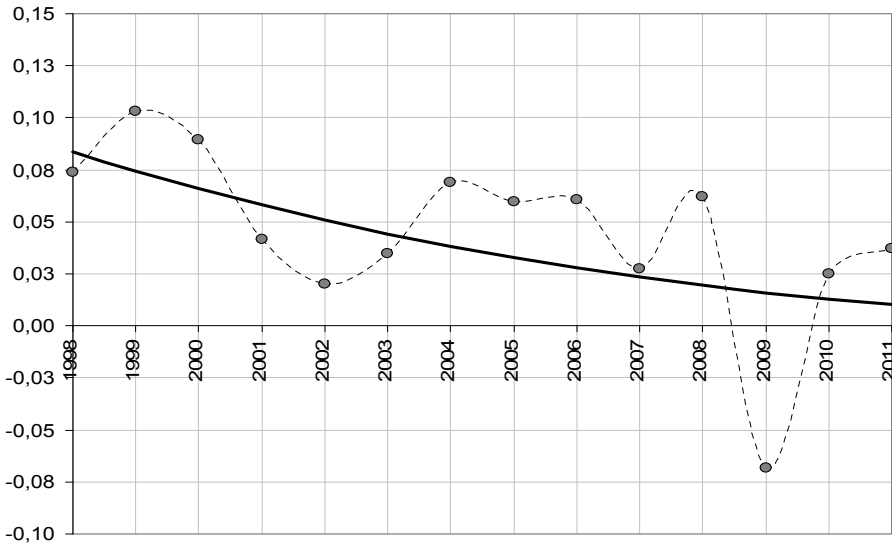


Рис. 5. Апроксимація експериментальних даних нейтрального за Хіксом НТП кривою $\varphi_A(t)$ для Російської Федерації

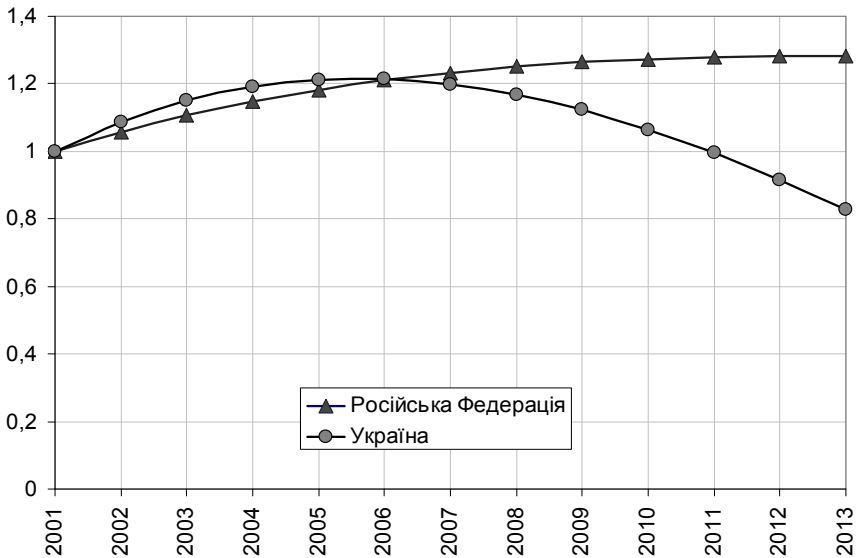


Рис. 6. Криві базисного темпу зростання НТП для України та для Російської Федерації (базовим є 2001 р.)

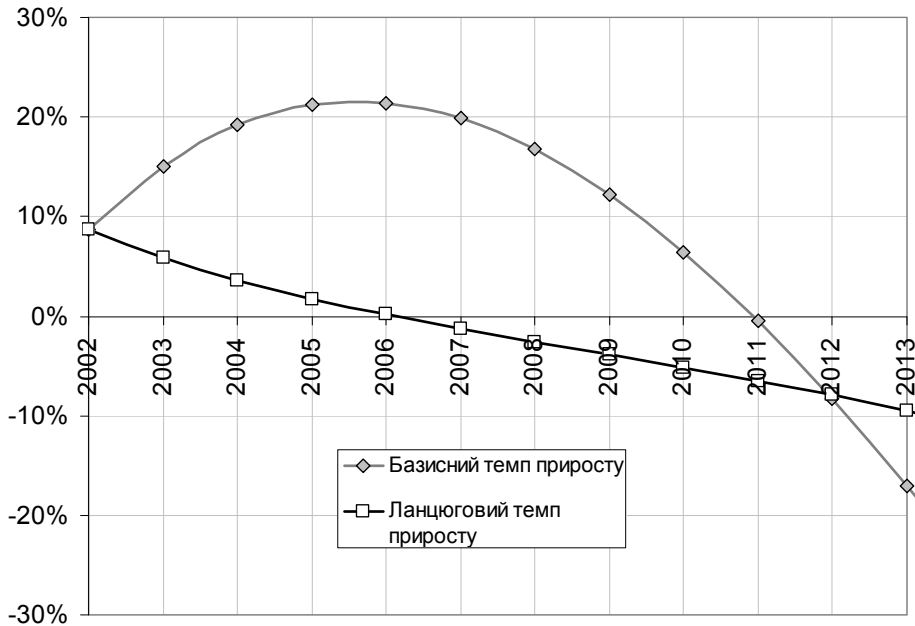


Рис. 7. Криві базисного та ланцюгового темпів приросту НТП для України

Як свідчать наведені на рис. 7 та 8 криві, для обох країн ланцюгові темпи приросту НТП є монотонно спадними. Причому для України з 2006 р. зазначений показник є від'ємний, що має небажані наслідки для економіки країни. Що ж стосується базисного темпу приросту НТП для Російської Федерації, то його зростання від 5,7 (2002 р.) до 28,2% (2013 р.) відбувається з певним гальмуванням процесу. Для України цей показник спочатку зростає від 8,7 (2002 р.) до 21,4% (2006 р.), а потім стрімко спадає: до -17% (2013 р.). Зазначені процеси зміни динаміки НТП мають певне економічне підґрунтя. Якщо спочатку структура світової економіки була індустріальною, тобто базованою здебільшого на отриманні великих прибутків завдяки експлуатації дешевих корисних копалин, то зараз – це економіка, якій притаманний інноваційний характер.

Збільшення темпу зростання НТП в Україні в період з 2001 по 2005 р. можна пояснити тим, що у 2000 р., за даними НАН України, у рамках євроінтеграції було проголошено головний і визначальний пріоритет держави – перехід її економіки на інноваційний шлях розвитку [7]. Однак незважаючи на певні зусилля держави, а саме на поступове зростання витрат на НДДКР з 0,96 ВВП у 2000 р. до 1,17% ВВП у 2005 р. (рис. 9), не відбулося суттєвих змін ані у сфері НДДКР, ані у впровадженні результатів НДДКР у виробництво. А починаючи з 2006 р., за даними Комітету Верховної Ради України з питань науки та освіти, частка асигнувань на НДДКР (по закону – 1,7% ВВП) різко зменшилася до 0,85% ВВП вже у 2007 р., і зменшувалася щорічно до 0,72% у 2011 р., що дало підстави порівнювати Україну за цим показником з деякими слаборозвинутими країнами «третього світу». Зазначені проце-

си знайшли своє відображення у стрімкому падінні як темпу зростання, так і темпу приросту НТП, починаючи з 2006 р. і до теперішнього часу (рис. 6, 7).

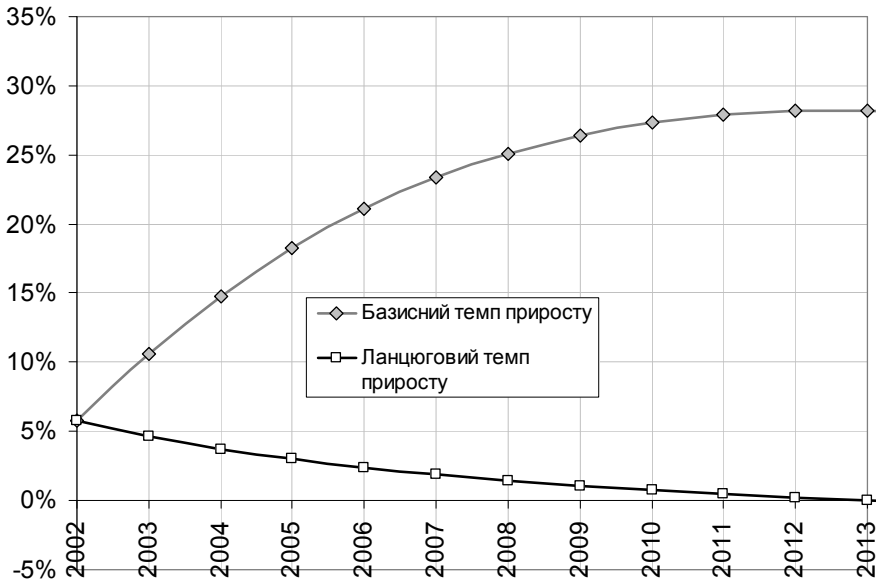


Рис. 8. Криві базисного та ланцюгового темпів приросту НТП для Російської Федерації

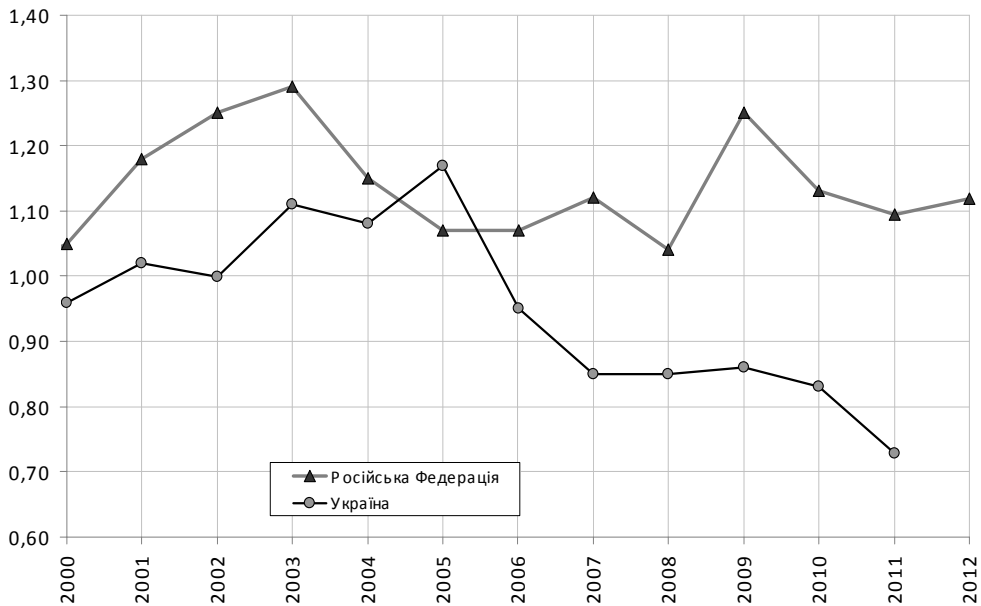


Рис. 9. Витрати на НДДКР, % ВВП

Джерело: World Development Indicators (WDI).

Що ж стосується Російської Федерації, то тут ситуація дещо інша. Пов'язана вона з непротими процесами переходу до інноваційної економіки. Так, спочатку спостерігалось зростання витрат на НДДКР з 1,05% ВВП у 2000 р. до 1,29% ВВП у 2003 р., далі витрати поступово зменшувалися до рівня приблизно 1,1% ВВП у 2004–2008 рр., а потім збільшилися до 1,25% ВВП у 2009 р. і знову зменшилися до рівня, близького до 1,1% від ВВП. Зазначеними коливаннями у фінансуванні НДДКР можна частково пояснити зростання з певним пригальмовуванням кривих темпу зростання та темпу приросту НТП в Російській Федерації.

Висновки. Отже, у статті:

– з урахуванням людського капіталу отримано залишок Солоу для нейтрального за Хіксом НТП, який було використано для коригування показника експоненти у функції НТП, виходячи з найкращого згладжування дискретної інформації;

– для апроксимації відносної частки зайнятих у НДДКР використано гнучкий вид логістичної кривої; який дозволив отримати більш якісний результат порівняно з відомим;

– за допомогою зазначеного отримано криві темпів зростання та темпів приросту функції НТП для економік України та Російської Федерації і зроблено їх порівняльний аналіз.

Запропонований у статті підхід до побудови функції НТП може бути використаний для подальшого вдосконалення моделей макроекономічної динаміки з метою якісного покращання прогнозування на їхній основі.

Список використаних джерел

1. Иванилов Ю.П. Математические модели в экономике / Ю.П. Иванилов, А.В. Лотов. – М.: Наука, 1979. – 303 с.
2. Браун М. Теория и измерение технического прогресса / М. Браун. – М.: Статистика, 1971. – 208 с.
3. Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cbsd.gks.ru/>; http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog
4. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrstat.org/uk/norm_doc/norm.htm; <http://www.ukrstat.gov.ua/>; http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm
5. Акаев А.А. К вопросу об учете особенностей технологического развития и человеческого капитала при моделировании и прогнозировании мировой динамики / А.А. Акаев, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков, Ю.В. Божевольнов // ред. А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г.Г. Малинецкий, С.Ю. Малков // Проекты и риски будущего. Концепции, модели, инструменты, прогнозы. – М.: Красанд/URSS, 2011. – С. 232–242.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 294 с.
7. Старокадомский Д.Л. Состояние развития высоких технологий в мире и в Украине / Д.Л. Старокадомский // Наука та інновації. – 2007. – № 5. – Т. 3. – С. 86–89.

При использовании производственных функций и построении моделей экономического роста важную роль играет функция научно-технического прогресса (далее – НТП). На основе усовершенствования предложенного академиком А.А. Акаевым подхода получены аналитические выражения «нейтральной», по Хиксу, НТП-функции для Украины и Российской Федерации, а также проведен их детальный сравнительный анализ.

Ключевые слова: *функция научно-технического прогресса, темп роста, темп прироста, остаток Солоу.*

At using of production functions and at construction of models of economic growth the function of scientific and technical progress (further – STP) plays the important role. On the basis of improvement of offered by academician A.A. Akaev of the approach analytical expressions «neutral» on Hicks STP-function have been obtained for Ukraine and Russian Federation, and also their detailed comparative analysis is carried out.

Key words: *function of the scientific-technical progress, rate of growth, rate of a gain, the rest Solow.*

Одержано 28.01.2014.