

О.М. Гаркушенко¹, С.І. Князєв²

¹ Інститут економіки промисловості НАН України,
вул. Желябова, 2, Київ, 03057, Україна,
+380 44 200 5571, harkushenko@nas.gov.ua

² Відділення економіки НАН України,
вул. Володимирська, 54, Київ, 01030, Україна,
+380 44 239 6646, ksi@nas.gov.ua

АНАЛІЗ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЦТВА: ЧИ ІСНУЄ ПАРАДОКС СОЛОУ?



Вступ. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) і цифровізація суспільства, що розповсюджується у світі через прискорений розвиток смарт-промисловості (Індустрії 4.0), зазвичай пов'язують з підвищенням обсягів виробництва та продуктивності праці, зменшенням відносних витрат на одиницю продукції та її кастомізацією.

Проблематика. Відповідно до парадоксу Солоу (1987 р.), інвестиції у комп'ютерну техніку та технології не знаходять відображення в економічній статистиці про підвищення продуктивності праці внаслідок комп'ютеризації виробництва, що підриває уявлення про позитивний вплив електроніки на виробництво та продуктивність праці.

Мета. Розробити вимоги щодо удосконалення економіко-математичних моделей визначення впливу ІКТ на виробництво на основі аналізу переваг та недоліків наявних моделей впливу комп'ютерної техніки та програмного забезпечення на результати виробництва з урахуванням особливостей розвитку ІКТ.

Матеріали й методи. Історичний метод для аналізу розвитку моделей впливу ІКТ на виробництво, порівняльний аналіз наявних економіко-математичних моделей щодо визначення підходів до відбору факторів впливу на результуючі показники, аналітична обробка масивів вихідної статистичної інформації.

Результати. Проаналізовані моделі у своєму розвитку свідчать про позитивний вплив ІКТ на виробництво та продуктивність праці. Виникнення парадоксу Солоу пояснюється тим, що в основних фондах підприємств частка комп'ютерної техніки та технологій була незначною наприкінці 1980-х — початку 1990-х рр., а також відсутністю на той час достовірної статистичної інформації та недосконалістю методології аналізу. З розвитком статистичної науки та поширенням комп'ютерної техніки та технології в нових моделях впливу ІКТ на результати виробництва парадокс Солоу було спростовано.

Висновки. Для уточнення впливу ІКТ на виробництво та продуктивність праці слід використовувати комплекс моделей, які враховуватимуть інституційні особливості розвитку економіки країни, етапи її життєвого циклу та ступінь впровадження в ній цифрових техніки та технологій. Моделі впливу ІКТ на результати виробництва потребують подальшого розвитку, зокрема й з урахуванням закономірностей розвитку сучасних інформаційних технологій.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, цифровізація, парадокс Солоу, моделювання, виробництво.

Наразі у світі відбуваються суттєві трансформації, пов'язані з переходом до нового тех-

нологічного укладу, що відбувається в рамках Четвертої промислової революції, відомої також як «розумна промисловість». Основу цього переходу заклали кіберфізичні системи,

інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) та обладнання, на яких вони функціонують [1, 2]. Таке масштабне проникнення електронного цифрового (на відміну від аналогового) обладнання у всі сфери суспільного життя отримало назву «цифровізація».

Розповсюдженою є думка, що цифровізація економіки сприяє поліпшенню суспільного добробуту через позитивний вплив на продуктивність праці, чому суперечить, так званий, парадокс Солоу, тобто, уявлення про те, що ІКТ, електронні пристрої не мають позитивного впливу на виробництво та/або продуктивність праці [3].

Усунути сумніви в економічній науці допомагають розрахунки та моделі. Проте явище цифровізації економіки є настільки новим, що у світі йдуть дебати щодо його визначення і понять, які використовують в його рамках (ІКТ, ІКТ-інфраструктура тощо). Це положення підтверджується регулярним проведенням конференцій та досліджень провідними організаціями світу (наприклад, Організацією Економічного Співробітництва та Розвитку (ОЕСР) [4], Міжнародним валютним фондом [5]).

Для конкретизації об'єкту дослідження, в рамках виконуваної роботи, цифрова економіка в широкому сенсі визначається як сукупність видів економічної та соціальної діяльності, що здійснюються в глобальному масштабі та у тісній взаємодії на базі сучасних ІКТ та кіберфізичних систем, з широким використанням продукції ІКТ-сектору та на основі ІКТ-інфраструктури [6], а у вузькому — як синомім сектору ІКТ [7, с. 6].

Попри проблеми з понятійним апаратом, у світі є економіко-математичні моделі, за допомогою яких здійснено спроби визначити вплив ІКТ на виробництво. Аналіз деяких з цих моделей, визначення та порівняння їх переваг та недоліків є основою для розробки вимог щодо економіко-математичних моделей визначення впливу ІКТ та електронних пристроїв на виробництво.

ДО ІСТОРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ НА ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК

Питання визначення впливу ІКТ на економічний розвиток не є новим. ІКТ можна розглядати як один з проявів науково-технічного прогресу (НТП), спроби точного встановлення впливу якого на виробництво започатковано в роботах Р. Солоу [8]. У 1956 р. він запропонував розширити виробничу функцію Кобба-Дугласа шляхом введення у неї технологічної змінної, наразі відомої як «залишок Солоу» — $A(t)$ [8, с. 85], припустивши, що ця величина змінює своє значення за експоненціальним законом.

На думку Р. Солоу, окремі зміни у техніці та технологіях не мають суттєвого впливу на виробництво, а тому ігноруються вченим. Вплив НТП на економіку є поступовим, плавним, тобто, НТП має нейтральний вплив на виробничу функцію.

Зазначені модифікації виробничої функції Кобба-Дугласа розроблено в рамках неокласичної економічної теорії, в якій вважається, що в економіці спостерігається повна зайнятість і навіть за умови зміни значення одного з виробничих факторів, з часом між ними встановлюється деякий баланс [8, с. 91].

У 1957 р. Р. Солоу зробив спробу кількісно дослідити вплив НТП на економічний розвиток [9]. За основу він взяв виробничу функцію Кобба-Дугласа зі своєю модифікацією, що враховує технологічні зміни. Дослідження також проводилося в рамках неокласичної теорії, проте, на відміну від попередньої роботи [8], вчений широко використав інструменти економетрики для знаходження коефіцієнтів виробничої функції та безпосередньо оцінки впливу НТП на продуктивність праці.

Розрахунки в цьому дослідженні було виконано для економіки США за період 1909—1949 рр. Статистичні дані (випуск продукції в розрахунку на одиницю праці (людино-годину), капітал в розрахунку на одиницю праці, частка капіталу в загальній вартості власності)

та розрахунки обмежувалися недержавною економічною активністю, окрім сільського господарства, що дозволяло оминати проблеми визначення обсягів випуску продукції державним сектором економіки та зробити вихідні статистичні дані більш однорідними. Тобто, в роботі [9] здійснено оцінку змін продуктивності праці в приватному секторі економіки США під впливом НТП.

Р. Солоу зазначав, що необхідні для побудови його моделі статистичні дані були приблизні, а іноді їх взагалі не було. Тому він корегував і змінював наявні статистичні дані для своїх потреб, що, як зазначав сам автор, було «без сумніву неправильно» [9, с. 314].

Вчений визначив, що НТП має деякий позитивний вплив на зростання виробництва, зокрема, в середньому за 40 років (1909–1949 рр.) технічний прогрес сприяв зростанню продуктивності праці у приватному секторі економіки США на 1,5 % щорічно. Проте глобальні кризи (Світові війни та ін.) викликали зворотні тенденції. Загалом, зазначене дозволило Р. Солоу зробити висновок про нейтральний вплив НТП на обсяги виробництва.

Роботи Р. Солоу [8, 9] стали першим важливим кроком на шляху визначення впливу НТП на виробництво продукції, але, з позицій сучасної економічної науки та статистики, в них є низка недоліків, які слід враховувати в сучасних економіко-математичних моделях.

Так, Р. Солоу зазначав, що він зіткнувся з приблизною статистичною інформацією, яку він довільно корегував для своїх потреб, а амортизацію та зношування він взагалі не враховував через відсутність на той час відповідних методик визначення сум амортизації. Наразі методи збору, формування статистичної інформації та її точність значно покращилися.

В моделях Р. Солоу не враховано інфляцію, статистичну інформацію для моделі наведено у фактичних цінах, що впливає на точність результатів моделювання, оскільки вплив фактору інфляції накопичуватиметься впродовж періоду моделювання.

Р. Солоу обрав для моделювання тривалий проміжок часу – 40 років, що, з позицій статистики, мало б забезпечити більшу відповідність результатів моделювання реальності, ніж за коротший період. Проте розвиток реальних економік відрізняється від математичних та статистичних систем. Так, в аналізованій період США зазнали наслідків впливу декількох форс-мажорних обставин, що позначилося на рівні зайнятості, можливостях приватного сектору інвестувати в капітал та на загальних обсягах виробництва приватним сектором. Для усунення статистичних похибок для моделювання більш доцільно обирати періоди з відносно стабільною економічною ситуацією.

Модель Р. Солоу побудовано на припущенні, що технології, НТП еволюціонують поступово, проте, як відомо з історії, це припущення не є вірним: технології та НТП загалом можуть розвиватися стрімкоподібно¹.

Оскільки в моделі йдеться про економіку країни в цілому, частково ці різкі зміни знівлено через існування одночасно багатьох технологічних кривих у всіх галузях економіки. Проте, як зазначає Р. Солоу в [9], в 1943–1949 рр. спостерігалось різке (порівняно з даними решти аналізованого часу) збільшення виробництва, яке дослідник пояснював неякісними статистичними даними або надмірним використанням капіталу під час Другої Світової війни. Але це також могло свідчити про перехід на нову технологічну криву всієї економіки країни.

У 1987 р. розвиток інформаційних технологій та електронного обладнання (аналогового, цифрового, цифрового з елементами аналогового) спричинив нову хвилю моделювання впливу НТП, а саме електроніки та програм-

¹ Р.Н. Фостер описував поступовий технологічний розвиток як рух вздовж S-подібної технологічної кривої, а різкий, стрімкоподібний розвиток – як технологічний розрив та перехід на іншу S-подібну технологічну криву [11, с. 78–89]. Далі буде використано термінологію технологічного розвитку, запропоновану Р. Фостером.

них продуктів, на обсяги виробництва. І знову ініціатором цих досліджень став Р. Солоу.

У рецензії на книгу С.С. Коена та Дж. Зісмана «Виробництво має значення: міф про постіндустріальну економіку» [10] Р. Солоу справедливо звинувачує авторів у тому, що вони висувують гіпотезу і бездоказово приймають її як вірну. Одним з положень зазначеної гіпотези є те, що розвиток і впровадження комп'ютерного обладнання та програм, стимулює підвищення продуктивності праці. Але в США цього з невідомих причин не спостерігається. Тобто, на думку цих авторів, проблема з недостатнім зростанням рівня продуктивності полягає не в електронному обладнанні та програмному забезпеченні (ПЗ), а в чомусь іншому.

На це Р. Солоу заперечує: «Ви можете побачити еру комп'ютерів скрізь навколо себе, окрім статистики з продуктивності» [3, с. 6]. Цей вислів, дещо вирваний з контексту, отримав назву «парадокс Солоу» та спричинив сплеск наукових публікацій, автори яких за допомогою економіко-математичних моделей намагалися довести або спростувати думку Р. Солоу та оцінити вплив сучасних ІКТ, електронного обладнання на економіку країни в цілому або окремі аспекти її розвитку (збільшення ВВП, доданої вартості, продуктивності праці тощо). Нижче наведено аналіз деяких із зазначених робіт.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВПЛИВУ ІКТ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЦТВА

Слід зазначити, що, окрім економіко-математичних моделей, автори яких намагалися перевірити, спростувати або підтвердити парадокс Солоу, є роботи, які з позицій логіки пояснюють, чому статистичні дані щодо продуктивності праці не показують позитивного впливу на них інвестицій в продукцію ІКТ сектору.

Ґрунтовну роботу в цьому напрямі провів Дж. Тріплетт, який також пояснив як зазна-

чені ним невраховані фактори позначаються на результатах економіко-математичних моделей низки інших авторів та подовжують життя парадоксу Солоу (модель Йоргенсона-Стіро 1994–1995 р., П. МакКарті 1995 р. тощо) [12]. Цей автор зазначив таке:

1. *Ми не бачимо комп'ютери «скрізь навколо себе» у значущому економічному сенсі.* Станом на 1998–1999 р. (час виходу праці) і до цього періоду електронне обладнання становило порівняно малу частку ВВП та основних фондів. Наприклад, його частка в основних фондах підприємств США в 1993 р. становила до 14 %. Тому при створенні економіко-математичних моделей вона просто нехтувалася, що не дозволяло отримати коректні результати [12, с. 311–313].

2. *Вам лише здається, що комп'ютери скрізь навколо нас.* Дж. Тріплетт зазначає, що у статистичній звітності, яку оприлюднював уряд США, щонайменше станом до 2000 р. індекс цін з року в рік скорочується надто швидко, тому при визначенні обсягів випуску комп'ютерів складається враження про їх стрімке зростання [12, с. 315–318].

3. *Можливо, ви і не бачите комп'ютери скрізь навколо нас, проте у видах діяльності, де їх найчастіше можна побачити, методологія визначення обсягів виробництва недосконала та сам випуск продукції вимірюється погано.* Прикладом таких видів економічної діяльності є страхові та фінансові установи, де активно та у значній кількості використовується електроніка, програмне забезпечення, проте концепція самого поняття, що становить продукцію в цих видах діяльності, ледь визначена [12, с. 318–321].

4. *Бачите ви комп'ютери крізь навколо себе або ні, дещо з того, що вони роблять, не враховується в економічній статистиці* [12, с. 321–322]. Багато інновацій в електроніці та ПЗ спрямовані на спрощення користування ними. Але такі «зручні для користувача» (англ. *user friendly*) інновації вимагають більшої потужності електронних пристроїв, на яких вони ре-

алізовані: більшого обсягу оперативної пам'яті, більшої кількості операцій за одиницю часу. Ці характеристики не відображуються щонайменше в тій економічній статистиці, що стосується продуктивності праці. Також важко оцінити в дійсності, наскільки зручними є такі «зручні» інновації, як вони сприяють підвищенню продуктивності праці, скільки часу та зусиль на оволодіння навичками з їх користування вони вимагають від працівників тощо.

Крім того, в умовах глобалізації та розповсюдження ІКТ, в підприємств є можливість переведення виробництв і частини фінансових операцій в інші країни для зменшення своїх податкових зобов'язань. В цьому випадку витрати на інновації в ІКТ і результати, отримані за допомогою таких інновацій, можуть знайти відображення в статистиці інших країн, де здійснюється виробництво або фінансові операції, а не в країні розташування головного підприємства, що керує процесом витрат та виробництвом. Національні статистичні служби та моделі з оцінки впливу ІКТ на економічний розвиток окремої країни таку поведінку підприємств не враховують, що також позначається на кінцевих результатах.

5. *Ви поки що не бачите впливу комп'ютерів на статистику продуктивності, але почекайте, і ситуація зміниться* [12, с. 310]. Нові технології вимагають часу на їх створення та доопрацювання до стадії корисного продукту, коли не варто чекати віддачі від інвестицій або позитивного впливу на економічні показники. Проте, коли почнеться висхідна ділянка S-подібної кривої, економічні результати від нової техніки та технології стануть більш наочними, що може знайти відображення у статистиці.

Крім того, з моменту появи нового явища (наприклад, ІКТ) та впродовж деякого проміжку часу (різного у різних випадках) відсутня методологія збору та аналізу статистичних даних, і навіть термінологія, що його характеризують. Тому вкрай складно моделювати явища, щодо яких існує стільки невизначенос-

тей. Наразі у сфері ІКТ ситуацію з термінологією та статистичними даними принаймні частково врегульовано і можна очікувати, що сучасні економіко-математичні моделі оцінки впливу ІКТ та електроніки на результати виробництва в цьому сенсі будуть більш адекватно відображувати реальність.

6. *Парадокс не існує: деякі економісти здійснюють моделювання інновацій та нових продуктів на основі арифметичної залежності, тоді як слід використовувати логарифмічну залежність*. Арифметична залежність дає можливість врахувати кількість «нових речей». Тому, порівнюючи минуле та сьогодення, в деяких дослідників виникає враження, що раніше створювалося більше нового за менші кошти, що підтверджує парадокс Солоу. Але доцільніше враховувати темпи технологічних змін за допомогою логарифмічних кривих. В цьому випадку ситуація змінюється на протилежну [12, с. 326–328].

Ці міркування знайшли відображення в нових моделях, запропонованих іншими дослідниками.

Однією з найбільш відомих (виходячи зі статистики цитування робіт) серед економіко-математичних моделей визначення впливу ІКТ на економічний розвиток є економетрична модель, запропонована Д. Йоргенсоном і К. Стіро [13, 14].

Її основу склала модифікована Р. Солоу виробнича функція Кобба-Дугласа. Модифікація Йоргенсена-Стіро полягала в деталізації складових частин виробничої функції та її логарифмізації. Зокрема, обсяг випуску продукції Y_t ці вчені наводять як суму інвестицій (випуск інвестиційних благ) в конкретному році I_t , накопиченого обсягу капіталу K_t , праці, задіяної до виробництва продукції, L_t та споживання (випуску споживчих благ) C_t [13, с. 6]. Сама ж виробнича функція має такий вигляд:

$$\overline{w_{I,t}} \Delta \ln I_t + \overline{w_{C,t}} \Delta \ln C_t = \overline{v_{K,t}} \Delta \ln K_t + \overline{v_{L,t}} \Delta \ln L_t + \Delta \ln A_t, \quad (1)$$

де A_t – змінна, що враховує вплив НТП на виробництво (технологічна змінна); $\overline{w_{L,t}}$ – середня частка інвестицій в розрахунку на номінальний випуск; $\overline{w_{C,t}}$ – середня частка споживання в розрахунку на номінальний випуск; $\overline{v_{K,t}}$ – середня частка капіталу в розрахунку на номінальний випуск; $\overline{v_{L,t}}$ – середня частка праці в розрахунку на номінальний випуск; $\overline{w_{L,t}} + \overline{w_{C,t}} + \overline{v_{K,t}} + \overline{v_{L,t}} = 1$; Δ – позначка, що символізує першу похідну.

Д. Йоргенсон та К. Стіро намагалися оцінити вплив праці, капіталу, інформаційної техніки та технологій на економічне зростання США. Розрахунки здійснювали за період 1973–1998 рр. для всієї економіки країни. Вартість ПЗ, комп’ютерного та телекомунікаційного устаткування було включено до вартості капіталу в цілому. Статистичну інформацію було зведено до зіставного вигляду (1996 р. – базовий) [13, с. 8].

Трансформували (1), та визначивши, що H_t – це відпрацьований час в періоді t , $y_t = \frac{Y_t}{H_t}$ – це сукупний випуск продукції (сума інвестицій та споживання) в розрахунку на відпрацьований час, а капітал в розрахунку на відпрацьований час – це $H_t = \frac{K_t}{H_t}$, Д. Йоргенсон та К. Стіро отримали рівняння середньої продуктивності праці:

$$\Delta \ln y_t = \overline{v_{K,t}} \Delta \ln k_t + \overline{v_{L,t}} (\Delta \ln L_t - \Delta \ln H_t) + \Delta \ln A_t. \quad (2)$$

Дослідниками було визначено, що у 1973–1995 рр. комп’ютери, ПЗ та телекомунікаційне обладнання сприяли економічному зростанню в середньому на 0,34 % за рік, в 1996–1998 рр. – на 0,99 %; з 1990 р. по 1999 р. середня продуктивність праці в США зростала, причому зростання вартості та обсягів капіталу сприяло цьому на 0,49 відсоткових пункти, тоді як використання ІКТ у виробництві – на 0,63 відсоткових пункти [13, с. 19].

Порівняно з попередніми працями, які критикував зокрема Дж. Тріплетт [12, с. 312], у аналізованій вище моделі Д. Йоргенсон та

К. Стіро у вартість капіталу додали ПЗ, комунікаційне обладнання та оновили статистичні дані, значної частини яких вони не мали раніше (1994–1995 рр.). Як наслідок – отримано більш оптимістичні, ніж в попередній моделі, результати, де внесок комп’ютерної техніки у збільшення виробництва за 1990–1996 рр. оцінювався на рівні 0,12 % на рік [13].

У 2003 р. Д. Йоргенсон, К. Стіро та М. Хо ще раз оновили свою модель, поширили розрахунки на низку країн-членів ОЕСР (Австралія, Канада, Фінляндія, Франція, Німеччина, Італія, Японія, Велика Британія, США) та зробили прогнози економічного розвитку цих країн завдяки впровадженню ІКТ. В новій моделі її автори до капіталу також включили комп’ютерну техніку, телекомунікаційне обладнання, ПЗ [14, с. 6] та врахували подвійну природу ІКТ та електроніки (для ІКТ-сектору вони є продукцією та частиною його основних фондів, а для решти секторів економіки – вони є частиною капіталу) [14, с. 5].

За допомогою зазначеної моделі дослідники зробили прогноз, що за період 2003–2013 рр. виробництво в аналізованих країнах ОЕСР в середньому зростатиме на 2,78 %, причому на 1,78 % на рік воно буде збільшуватися завдяки прогресу в ІКТ-секторі та інвестиціям в ІКТ-обладнання та ПЗ інших секторів економіки [14, с. 15].

Попри внесені, порівняно з моделлю 1994–1995 рр., вдосконалення, в моделі Йоргенсона-Стіро все ще можна виділити низку недоліків:

1. Автори аналізують тривалий проміжок часу (1973–1998 рр.), коли в світі спостерігалися періоди економічної нестабільності (наприклад, дві хвилі Енергетичної кризи). Такі форс-мажорні обставини могли позначитися на результатах моделювання: похибка могла накопичуватися, що могло відбитися на точності моделі.

2. У моделі Йоргенсона-Стіро не враховано наявність технологічних кривих, через що можливе значне зменшення реальної (а не балансової) вартості продукції ІКТ-сектору та

основних фондів, що відносяться до ПЗ та електронного обладнання та знаходяться на балансі підприємств. В самій моделі враховано індекси цін на продукцію ІКТ-сектору, проте вони стосуються нової продукції, а не тієї, що вже використовується.

Для сектору ІКТ та продукції, що ним випускається, врахування технологічних S-подібних кривих є вкрай важливим. Так, виходячи з закону Г. Муру та його оцінок, за 1970—2000 рр. лише процесори зазнали щонайменше 14 значних технологічних змін (продуктивність, мініатюризація та, відповідно, технології їх виробництва) [15, с. 22]. Можна припустити, що інші складові цифрового обладнання та ПЗ за цей час теж зазнали суттєвих змін, що вплинуло на їх вартість та відносну вартість їх старіших аналогів.

Водночас, у випадку з моделюванням впливу ІКТ на економіку країни або сукупність галузей, відсутність врахування часового лагу між моментом інвестування в ІКТ і часом, коли вони дійсно почнуть працювати (тобто, нижня ділянка технологічної кривої), що часом зазначають як недолік моделі (наприклад, в [16]), вбачається скоріше окремим випадком більш широкої проблеми неврахування технологічних кривих. Такий часовий лаг доцільно враховувати в моделях окремих підприємств або галузей, де моменти інвестування та віддачі можна порівняно точно зафіксувати та дослідити. В економіці, в цілому, одночасно існує значна кількість технологічних кривих, різні підприємства та навіть галузі економіки знаходяться на різних ділянках технологічних кривих або навіть різних технологічних кривих. Тому такий часовий лаг «розмивається», його межі важко точно встановити. В цьому випадку доцільніше орієнтуватися на частоту, швидкість, з якою відбуваються кардинальні технологічні зміни, тобто, масовий перехід підприємств та цілих галузей на нову технологічну криву.

Зважаючи на зазначене, те, що деякі автори ([16, 17]) наводять як врахування в моделях

впливу ІКТ на виробництво в масштабах економіки часового лагу, скоріше слід віднести на відображення в статистиці саме такого масового переходу з однієї технологічної кривої на іншу.

Ще одну особливість моделі Йоргенсона-Стіро виявив російський вчений В.В. Платонов [16]. Він зазначив, що економетричні дослідження панельних даних Дж. Йоргенсона та К. Стіро давали ще більш парадоксальний результат, ніж парадокс Солоу: вони показували, що ІКТ позитивно впливають на економічне зростання та продуктивність праці, але негативно впливають на загальну ефективність факторів виробництва (тобто, капіталу та праці) для США. Це протиріччя пояснюється недосконалістю методології кількісних досліджень, що існували на той час, зокрема тією, що стосується нестационарності часових рядів [16, с. 31].

З розвитком економетричної методології проведення досліджень це протиріччя вдалося подолати. Зокрема, подібне дослідження виконали М. О'Махоні та М. Веккі при визначенні впливу ІКТ на загальну продуктивність факторів виробництва [17]. Вони в своїй роботі взяли за основу існуючі модифікації моделі Солоу, зокрема модель Йоргенсона-Стіро. Для моделювання було обрано період 1976—2000 рр., 31 вид економічної діяльності у США та 24 види економічної діяльності у Великій Британії. До розгляду не входило сільське господарство.

В моделі О'Махоні-Веккі враховано, що підприємства, які належать до різних видів економічної діяльності, інвестують в ІКТ різні суми, тому частка ІКТ в структурі їх капіталу розрізнятиметься.

Під випуском продукції (Y в моделі Солоу та інших) в моделі О'Махоні-М. Веккі мається на увазі додана вартість, оскільки на момент створення моделі не було надійної статистичної інформації щодо валового випуску у Великій Британії. Капітал автори розділили на ІКТ-капітал (комп'ютери, ПЗ, комунікаційне

обладнання) та неІКТ-капітал (решта капіталу). На відміну від попередніх моделей, М. О'Махоні та М. Веккі зробили спробу врахувати знос основних фондів та те, що ІКТ-капітал старіє швидше, ніж неІКТ-капітал. Останнє враховано шляхом застосування в моделі індексів цін на ІКТ.

Автори моделі зазначають, що при аналізі значного проміжку часу (25 років) та різних видів економічної діяльності (55 найменувань) недоцільно використовувати метод найменших квадратів, використаний іншими авторами (зокрема, в моделях з аналізованих вище робіт [9, 13, 14]) через те, що він передбачає стаціонарність усіх досліджуваних змінних та однорідність підприємств, чого в реальності не спостерігається). М. О'Махоні та М. Веккі пропонують використовувати методологію, що враховує гетерогенність часових рядів з попередньою перевіркою даних на стаціонарність та коінтеграцію [17, с. 4].

Ці дослідники показали, що при використанні стандартної методики проведення розрахунків на основі зібраних даних, можна отримати результати моделювання, ідентичні до показників Дж. Йоргенсона та К. Стіро: у США та Великобританії за 1976–2000 рр. відбувалося збільшення доданої вартості в середньому на 2,28 % на рік завдяки інвестиціям в ІКТ, з яких загальна продуктивність факторів виробництва зростала на 1,22 % [17, с. 8]. Але при використанні більш досконалої методології розрахунків було встановлено, що, якщо прийняти весь обсяг зростання показника доданої вартості за 100 %, то у США та Великобританії за 1976–2000 рр. відбулося зростання на 40 % (а не 20 %, як визначено в попередніх моделях) завдяки інвестиціям в ІКТ [17, с. 19]. Гранична віддача на інвестиції в ІКТ-капітал за двома країнами у зазначений період складала 22 % сукупно, а в решту капіталу – лише 12 % [17, с. 20]. Причому в США, де інвестувати в ІКТ почали раніше та в більших обсягах, ніж у Великобританії, гранична віддача на ІКТ-капітал становила до

51 %, в той час як у Великобританії – 20 % [17, с. 21].

М. О'Махоні та М. Веккі зазначають, що результати їх розрахунків можуть видатися занадто оптимістичними через те, що вони відібрали мало підприємств та видів економічної діяльності. Але значним позитивним моментом їх роботи [17] стало доведення в реалістичному вигляді, що некоректна методологія проведення досліджень може негативно позначитися на кінцевих результатах. Також ці дослідники довели, що парадоксальні результати, отримані Дж. Йоргенсоном та К. Стіро, пояснюються відсутністю врахування в їх моделі часового проміжку між інвестуванням в ІКТ та періодом, коли ці інвестиції почнуть реально працювати, що знайде відображення в статистиці. Хоча, як зазначалося вище, якщо об'єктом моделювання виступає не окреме підприємство або галузь, скоріше, в статистиці буде відображено перехід на нову технологічну криву, технологічний розрив, а не часовий лаг між інвестиціями та віддачею на них. Тобто, в статистиці може бути відображено зміну самої природи інновації (наприклад, масовий перехід від аналогових пристроїв до гібридних або цифрових, але під загальною назвою «комп'ютери»). Такі нюанси технологічних змін потребують більшої уваги при створенні моделей, оскільки теж можуть позначитися на їх достовірності.

Водночас, як зазначає В. Платонов [16, с. 32], методологічний підхід М. О'Махоні та М. Веккі має обмеження:

- 1) він не може пояснити причинно-наслідкові зв'язки (тобто, не можна виявити, яке з явищ, що спостерігається, є причиною, а яке – наслідком);
- 2) в його рамках не має можливості проаналізувати канали та механізми впливу ІКТ на продуктивність;
- 3) ґрунтуючись на неокласичній теорії, він не дозволяє проаналізувати інноваційний розвиток.

Останній недолік пов'язаний з тим, що автори не усвідомлювали важливість технологіч-

них S-подібних кривих та не враховували в своїй моделі саме особливості технологічного розвитку.

Попри доведення М. О'Махоні та М. Веккі недоцільності використання застарілої методології аналізу статистичних даних, моделі Йоргенсона-Стіро та використовувана ними методика розрахунків все ще мають місце через більшу трудомісткість проведення розрахунків на основі методології, використаної М. О'Махоні та М. Веккі, або ж через більшу публічність праць Дж. Йоргенсона та К. Стіро. Наприклад, такий самий підхід до моделювання впливу ІКТ на виробництво на прикладі Німеччини було використано українськими дослідниками А. Мадихом та А. Охтенем [18].

Крім моделей, спрямованих на визначення та оцінку впливу ІКТ на економіку, економічний розвиток та продуктивність праці на рівні країни або групи країн, є моделі, що вирішують аналогічні завдання на мікрорівнях. Прикладом такої моделі є економетрична модель Е. Брінйолфссона та Л. Хітт [19], де в рамках неокласичної теорії визначається вплив комп'ютеризації на випуск продукції та продуктивність праці на основі інформації про діяльність 527 великих підприємств США за 1987–1994 рр.

Основу моделі цих авторів склала модифікація моделей Дж. Йоргенсона та К. Стіро ([13, 14], в якій вони в явному вигляді розділили капітал на комп'ютерний і решту капіталу², а також зазначили, що на результат впливає приналежність підприємства до галузі.

В загальному вигляді модель Брінйолфссона-Хітт має такий вигляд:

$$Q = A(i, j, t) K^{\beta_K} L^{\beta_L} C^{\beta_C}, \quad (3)$$

де Q – додана валова вартість підприємства; K – вартість звичайного (неІКТ) капіталу; C –

² На відміну від моделей Йоргенсона-Стіро та О'Махоні-Веккі, в цій моделі ІКТ- та неІКТ-капітал виступають як окремі змінні у функції з власними показниками ступеня, а не як частини (сума) однієї змінної (капіталу в цілому) з єдиним показником ступеня).

вартість ІКТ капіталу; L – праця; t – змінна часу, $t = 1987, 1994$; i – індекс, що відображує номер аналізованого підприємства, $i = 1, 527$; j – галузь промисловості (вид економічної діяльності), до якої належить підприємство i ; A – змінна, що відображує різницю в обсягах створення доданої вартості між підприємствами в часі, не пов'язану зі змінами у використанні вхідних ресурсів (праця, ІКТ-капітал та неІКТ-капітал); β – параметри еластичності неІКТ-капіталу (β_K), праці (β_L) та ІКТ-капіталу (β_C).

При аналізі автори моделі перейшли від фактичних величин до їх рівня, для чого виконали логарифмування (3). Для спрощення запису логарифмовані змінні було позначено малими літерами³, індексами, що позначають фірму (i), час (t) та галузь (j) знехтувано, окрім випадків, коли це дійсно потрібно для ясності:

$$q = a(i, j, t) \beta_K k \beta_L l \beta_C c. \quad (4)$$

В моделі Брінйолфссона-Хітт дані зведено до зіставного вигляду та скореговано на індекси цін. Також закладено можливість похибки через неточність статистичних даних, хоча автори і покладаються на коректність статистичної інформації.

Порівнюючи зміну значення показників a , q , l у часі, Е. Брінйолфссон та Л. Хітт дійшли таких висновків:

1) ІКТ-капітал істотно корелюється зі зростанням продуктивності праці; зі збільшенням часового проміжку (від року до 7 років) цей зв'язок посилюється, що може пояснюватися пристосуванням до нових технологій організаційної структури підприємства;

2) вид економічної діяльності, до якої належить підприємство, та період, впродовж якого використовується ІКТ-капітал, впливають на внесок комп'ютеризації у підвищення продуктивності праці;

³ Тобто, $\log K$ у позначках Е. Брінйолфссона та Л. Хітт має вигляд k .

3) яким би не був вид економічної діяльності, комп'ютери впливають на підвищення продуктивності праці в ньому;

4) інвестиції в ІКТ-капітал на рівні підприємств за досліджуваний період (7 років, 1987–1994 рр.) сприяли збільшенню обсягів створення доданої вартості на 0,25–0,5 %;

5) застарілі основні фонди, різниця у наявній технологічній інфраструктурі, підхід до інвестицій в ІКТ, що історично склався на конкретному підприємстві, може позначатися на бажанні його керівництва інвестувати у новий ІКТ-капітал або можливостях швидкого введення такого капіталу в експлуатацію на конкретному підприємстві.

Е. Брінйолфссон та Л. Хітт підкреслюють, що їх розрахунки впливу ІКТ-капіталу на продуктивність праці відображають лише ситуацію в приватному секторі економіки, включаючи пошук ренти, але не перетоки продуктивності праці. Тобто, на основі цих розрахунків не можна визначити, чи перевищує або чи є меншим за ситуацію у приватному секторі вплив ІКТ-капіталу на економіку країни в цілому.

Оскільки модель Е. Брінйолфссона та Л. Хітт побудовано за принципом та методологією моделі Йоргенсона-Стіро, тому їй притаманні ті ж самі недоліки, хоча автори додали у використовуваний ними інструментарій, окрім методу найменших квадратів, ще й кореляційно-регресійний аналіз. Крім цього, хоча Е. Брінйолфссон та Л. Хітт привели статистичні дані до зіставного вигляду та скорегували їх на індекси цін, проте вони не врахували знос основних фондів та технологічні цикли [19].

Ще одна група економіко-математичних моделей присвячена не стільки визначенню впливу цифровізації на економіку країни або діяльність підприємств, скільки визначенню розміру та тенденцій розвитку самої цифрової економіки. Зокрема, така модель запропонована пекінською медіа-групою *Caixin* (*Caixin Media Company Ltd.*) [20]. Метою її розробки є оцінка впливу цифрової економіки на ВВП

країни, порівняння масштабів цифрової економіки в різних країнах, надання рекомендацій щодо напрямів її подальшого розвитку [20, с. 2–3]. При цьому, в зазначеній моделі використано вузьке значення терміну «цифрова економіка», тобто сектор ІКТ.

Наведена в роботі [20] модель *Caixin* є варіацією виробничої функції Кобба-Дугласа у вигляді лінійної залежності. У самій функції використовуються пропорції та частки вхідних параметрів (труд, праця, технологічний розвиток), що дозволяє отримати деякий індекс, який, на думку авторів моделі, характеризує розвиток цифрової економіки Китаю. Модель має такий вигляд:

$$InDigitalEconomy = \alpha \cdot L + \beta \cdot C + (1 - \alpha - \beta) \cdot TI, \quad (5)$$

де *InDigitalEconomy* – індекс, що характеризує розвиток цифрової економіки; *L* – праця; *C* – капітал; *TI* – технологічні інновації; α , β – коефіцієнти, що характеризують частки вхідних параметрів у результуючому показнику.

Вхідні параметри моделі *Caixin* мають складну структуру. Так, показник «Капітал» складається з показників «частка венчурного капіталу в ІКТ-секторі», «частка капіталу, що розпродається», «частка зареєстрованого капіталу підприємства» та «частка нового зареєстрованого капіталу в ІКТ-секторі»; показник «технологічні інновації» – з показників «частка дослідників в ІКТ-секторі», «частка нових винаходів та патентів в ІКТ-секторі», «рівень реалізації патентованих винаходів на практиці в ІКТ-секторі» відповідно. Коефіцієнти, що характеризують частки вхідних параметрів у результуючому показнику, розраховано *Caixin* самостійно (методика не розголошується). Їх значення становлять 40 % – для показника «праця», 40 % – для «капіталу» і 30 % – для «технологічних інновацій».

Як зазначають А.Г. Ерреро та Дж. Сю, статистичну інформацію для моделі та розрахунків *Caixin* отримали за допомогою аналізу Великих даних (*Big data Analysis*) та у співпраці

з анонімною онлайн-платформою з підбору персоналу та пошуку вакансій.

В результаті всіх розрахунків було визначено, що в Китаї з січня 2016 р. до квітня 2017 р. спостерігалось зростання цифрової економіки на 176 %.

Попри позитивні оцінки розвитку цифрової економіки Китаю, А.Г. Ерреро та Дж. Сю зазначають, що робити порівняння розвитку цифрової економіки Китаю з іншими країнами не можна через різні переліки видів економічної діяльності: ті, які *Caixin* віднесли до ІКТ-сектору, відрізняються від використовуваних, наприклад, ОЕСР. Крім того, *Caixin* не наводить детальної методології збору та обробки статистичної інформації, розрахунку коефіцієнтів, що характеризують частки входних параметрів у результуючому показнику (α, β у (5)). Також не зазначено, чи враховано в моделі знос основних фондів, вплив інфляції на показники у грошовій формі, змін цін на продукцію ІКТ-сектору внаслідок переходу з однієї технологічної кривої до іншої, за який період було зібрано дані. Зважаючи на це, важко робити висновки про достовірність цієї запропонованої моделі.

Також, як зазначали Дж. Тріплетт [12, с. 326–328] та Р. Солоу [9, с. 318], модифікація функції Кобба-Дугласа у формі лінійної залежності, дає не самі точні результати.

Таким чином, щодо аналізованих вище економіко-математичних моделей оцінки впливу ІКТ на виробництво можна зазначити так:

1. Факт проведення такого моделювання свідчить про усвідомлення науковою спільнотою, виробниками продукції (послуг) та державними структурами важливості ІКТ для економічного розвитку.

2. Моделі оцінки впливу ІКТ на результати виробництва переважно засновані на виробничій функції Кобба-Дугласа з модифікаціями Р. Солоу до неї.

3. За допомогою моделей було встановлено, що комп'ютерна техніка та технології мають

позитивний вплив на виробництво. «Парадокс Солоу» пояснюється незначною часткою комп'ютерних техніки та технологій в основних фондах підприємств, відсутністю надійної статистичної інформації щодо впровадження комп'ютерних інновацій в економіку та їх використання економічними агентами та недосконалістю методології аналізу статистичних даних на час виникнення цього парадоксу. З розвитком статистичної науки та поширенням комп'ютерів та ІКТ в нових моделях парадокс Солоу було спростовано навіть попри те, що більшість авторів таких моделей все ще використовує застарілі методи аналізу статистичних даних. Наразі актуальним завданням є не лише визначення за допомогою моделей, чи мають комп'ютери та ІКТ вплив на виробництво, а й визначення масштабів такого впливу, порівняно з інвестиціями в ІКТ іншими країнами, а також сприятливих умов для подальшого розвитку ІКТ в конкретній країні.

4. Головним недоліком більшості проаналізованих моделей є неврахування в них зносу комп'ютерів та ІКТ, а також технологічних циклів, що позначається на достовірності результатів. Ці недоліки мають бути усунені при створенні нових моделей.

5. Практично всі проаналізовані моделі спрямовані на оцінку впливу ІКТ на результати виробництва в межах однієї країни. Проте на розвиток сектора ІКТ в конкретній країні та запровадження продукції ІКТ-сектору в діяльність економічних агентів впливає низка чинників: інститути, особливості економічного розвитку, наявна-інфраструктура кожної країни тощо [1]. Тому вбачається, що моделювання впливу ІКТ на економічний розвиток доцільніше проводити в порівнянні з іншими країнами, з урахуванням особливостей їхнього розвитку, що може потребувати розробки комплексу моделей для вирішення частин загальної проблеми та знаходження більш коректних її рішень.

Враховуючи переваги та недоліки вище проаналізованих в роботі моделей, вбачається, що

при розробці економіко-математичних моделей впливу ІКТ на економічний розвиток країни слід врахувати декілька нюансів.

По-перше, потрібно конкретизувати завдання, яке буде вирішуватися за допомогою економіко-математичних моделей (вплив ІКТ на ВВП, на результати діяльності окремих підприємств тощо).

По-друге, оскільки цифрова економіка та ІКТ є новими явищами, у визначенні яких у світі існують значні розбіжності, а завдання оцінки їх впливу на економіку та її складові ускладнюється такими чинниками: 1) недосконалістю та неповнотою статистичної інформації; 2) одночасним існуванням багатьох технологічних S-подібних кривих в різних видах економічної діяльності та їх швидкій зміні в рамках економіки однієї країни тощо. Тому проведення аналізу впливу цифрової економіки та/або ІКТ для економіки країни в ретроспективі наразі є недоцільним. Можливо, для оцінки того, який вплив вони мають на результати виробництва, як розвиваються цифрові технології та економіка країни у взаємному зв'язку та впливі, доцільно для моделювання обрати короткий проміжок часу (наприклад, 3–5 років, впродовж яких, за законом Г. Мура та аналізу змін у секторі ІКТ за останні 10–20 років, у світі не спостерігалось різких та масових переходів на

наступну технологічну криву) та здійснити порівняння з країнами з різним ступенем розвитку та інтеграції в їх економіку ІКТ.

По-третє, виходячи з кількості завдань і факторів, які потрібно врахувати, доцільно в подальшому при моделюванні впливу ІКТ на виробництво спиратися на комплекс моделей, а не на одне рівняння. В рамках цього комплексу моделей можливо буде встановити фактори, від яких залежить розвиток ІКТ; провести розділення країн на групи залежно від наявності в них таких факторів; провести параметризацію S-подібної кривої для кожної групи країн і вже на цій основі визначити вплив на виробництво та продуктивність праці у кожній групі країн.

Накладання S-подібних кривих, що описують вплив ІКТ на виробництво країн з різних груп, дозволить приблизно визначити, знаходяться країни з різних груп на одній S-подібній кривій, але на її різних ділянках, або на різних кривих. Перше означатиме, що техніко-технологічний розрив між країнами з різних груп існує, але він не суттєвий і є реальні можливості наздогнати лідерів. Другий варіант може стати свідомством значного техніко-технологічного відставання від лідерів і більш глибоких проблем розвитку економіки та інститутів країн з конкретної групи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаркушенко О.Н. Информационно-коммуникационные технологии в эпоху становления смарт-промышленности: проблемы определения и условия развития. *Экономика промышленности*. 2018. Т. 2, № 82. С. 50–75.
2. Вишневецький В.П., Князев С.І. Як підвищити готовність промисловості країни до смарт-трансформацій. *Наука innov*. 2018. Т. 14, № 4. С. 55–69.
3. Solow R. We'd better watch out. *The New York Times Book Review*. 1987. 12 July, Vol. 36.
4. OECD Observer ministerial roundtable: Digital economy. *OECD Observer*. 2016. URL: http://oecdoobserver.org/news/fullstory.php/aid/5590/OECD_Observer_ministerial_round_table:_Digital_economy.html (дата звернення: 15.12.2018).
5. Measuring the Digital Economy: Staff Report. *International Monetary Fund*. 2018, 28 February. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/Policy-Papers/Issues/2018/04/03/022818-measuring-the-digital-economy> (дата звернення: 15.12.2018).
6. Гаркушенко О.М. *Цифрова економіка: проблеми визначення*. Матеріали доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Стан та перспективи розвитку фінансово-економічного потенціалу сучасних підприємств» (23 серпня 2018 р., м. Дніпро). Дніпро: НО «Перспектива», 2018. С. 6–8.
7. Li J. Protecting the Tax Base in the Digital Economy. *UN Papers on Selected Topics in Protecting the Tax Base of Developing Countries*. 2014, June. Paper No. 9. 49 p.

8. Solow R. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 1956. V. 70, no. 1, P. 65–94.
9. Solow R. A Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957. V. 39, no. 3. P. 312–320.
10. Cohen S.S., Zysman, J. *Manufacturing Matters: Myth of the Post-Industrial Economy*. New York: Council on Foreign Relation/Basic Books, 1987. 297 p.
11. Фостер Р. *Обновление производства: атакующие выигрывают*. Москва: Прогресс, 1987. 272 с.
12. Triplett J.E. The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity? *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'Economie*. 1999. April. V. 32, no. 2. P. 309–320.
13. Jorgenson D.W., Stiroh K.J. Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age. *Brookings Papers on Economic Activity*. 2000. May, N 1, 188 p.
14. Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K.J. Lessons from the U.S. Resurgence. *Journal of Policy Modeling*. 2003. V. 25, no. 5. P. 453–470.
15. Moore G.E. *No Exponential is Forever: But "Forever" Can Be Delayed!* In "International Solid-State Circuits Conference (ISSCC). Digest of technical papers (10 February 2003, San Francisco). San Francisco, USA: IEEE. 2003. V. 1. P. 20–23.
16. Платонов В.В. «Парадокс Солоу» двадцать лет спустя или об исследовании влияния инноваций в информационных технологиях на рост производительности. *Финансы и бизнес*. 2007. № 3. С. 28–39.
17. O'Mahony M., Vecchi M. *Is there an ICT impact on TFP? A heterogeneous dynamic panel approach*. London: National Institute of Economic and Social Research, 2003. 32 p.
18. Мадых А.А., Охтеня А.А. Моделирование трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности. *Экономика промышленности*. 2018. Т. 4, № 84. С. 26–41.
19. Brynjolfsson E., Hitt L.M. Computing productivity: firm-level evidence. *Review of economics and statistics*. 2003. V. 85, no. 4. P. 793–808.
20. Herrero A.G., Xu J. How big is China's digital economy? Bruegel Working Paper. 17 May 2018. Issue 04. 14 p. URL: http://bruegel.org/wp-content/uploads/2018/05/WP04_Digital-economy_Bruegel.pdf (дата звернення: 10.09.2018).

Стаття надійшла до редакції 18.01.19

Статтю прорецензовано 21.01.19

Статтю підписано до друку 25.01.19

REFERENCES

1. Garkushenko, O. M. (2018). Information and communication technologies in the era of the smart industry development: problems of definition and conditions of development. *Econ. promisl.*, 2(82), 50–75 [in Russian].
2. Vishnevsky, V. P., Kniaziev, S. I. (2018). How to increase the readiness of Ukraine's industry to smart transformations. *Nauka innov.*, 14(4), 55–69 [in Ukrainian].
3. Solow, R. (1987, 12 July). We'd better watch out. *The New York Times Book Review*, Vol. 36.
4. OECD Observer ministerial roundtable: Digital economy. *OECD Observer*. 2016. URL: http://oecdobserver.org/news/fullstory.php/aid/5590/OECD_Observer_ministerial_roundtable:_Digital_economy.html (Last accessed: 15.12.2018).
5. Measuring the Digital Economy: Staff Report. *International Monetary Fund*. 2018, 28 February. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/Policy-Papers/Issues/2018/04/03/022818-measuring-the-digital-economy> (Last accessed: 15.12.2018).
6. Garkushenko, O. M. (2018, August). *Digital economy: problems of terminology*. Poster session presented at the International science and practical conference on State and prospects of development of financial and economic potential of modern enterprises, Dnipro [in Ukrainian].
7. Li, J. (2014, June). Protecting the Tax Base in the Digital Economy. *UN Papers on Selected Topics in Protecting the Tax Base of Developing Countries*. Paper No. 9. 49 p.
8. Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
9. Solow, R. (1957). A Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312–320.
10. Cohen, S. S., Zysman, J. (1987). *Manufacturing Matters: Myth of the Post-Industrial Economy*. New York: Council on Foreign Relation/Basic Books.
11. Foster, R. (1987). *Innovation: The attacker's advantage*. Moscow: Progress [in Russian].

12. Triplett, J. E. (1999, April). The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity? *Canadian Journal of Economics/ Revue canadienne d'Economique*, 32(2), 309–320.
13. Jorgenson, D. W., Stiroh, K. J. (2000, May). Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age. *Brookings Papers on Economic Activity*, No. 1, 188.
14. Jorgenson, D. W., Ho, M. S., Stiroh, K. J. (2003). Lessons from the U.S. Resurgence. *Journal of Policy Modeling*, 25(5), 453–470.
15. Moore, G. E. (2003, February). *No Exponential is Forever: But "Forever" Can Be Delayed!* Poster session presented at the International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, USA.
16. Platonov, V. V. (2007). «Paradox Solow» twenty years later or on the study of the impact of innovations in information technology on productivity growth. *Finansyi i biznes*, 3, 28–39 [in Russian].
17. O'Mahony, M., Vecchi, M. *Is there an ICT impact on TFP? A heterogeneous dynamic panel approach*. London: National Institute of Economic and Social Research, 2003. 32 p.
18. Madykh, A. A., Okhten, O. O. (2018). Modeling the transformation of the impact of production factors on the economy in the process of smart industry formation. *Econ. promisl.*, 4(84), 26–41 [in Russian].
19. Brynjolfsson, E., Hitt, L. M. (2003). Computing productivity: firm-level evidence. *Review of economics and statistics*, 85(4), 793–808.
20. Herrero, A. G., Xu, J. (2018, 17 May). *How big is China's digital economy?* Bruegel Working Paper, Issue 04. 14 p. URL: http://bruegel.org/wp-content/uploads/2018/05/WP04_Digital-economy_Bruegel.pdf (Last accessed: 10.09.2018).

Received 18.01.19

Revised 21.01.19

Accepted 25.01.19

Harkushenko, O.N.¹, and Kniaziev, S.I.²

¹ Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine,
2, Zheliabova St., Kyiv, 03057, Ukraine,
+380 44 200 5571, harkushenko@nas.gov.ua

² Department of Economics of the NAS of Ukraine,
54, Volodymyrska St., Kyiv, 01030, Ukraine,
+380 44 239 6646, ksi@nas.gov.ua

ANALYSIS OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS
OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY EFFECT
ON THE PRODUCTION OUTPUT: DOES THE SOLOW PARADOX EXIST?

Introduction. The development of information and communication technology (ICT) and digitalization of the society, which have been spreading around the world as a result of swiftly growing smart industry (Industry 4.0) are usually associated with an increase in production output and labour productivity and a reduction in manufacture and customization costs.

Problem Statement. According to the Solow Paradox (1987), investments in computer equipment and technology are not accounted in economic statistics on increasing labor productivity as a result of computerization, which undermines the conception of favorable impact of electronics on production output and labor productivity.

Purpose. To develop requirements for improving the economic and mathematical models for measuring the ICT effect on production output, based on the analysis of the advantages and shortcomings of the existing models of the computer technology and software effect on production output and the peculiarities of ICT development.

Materials and Methods. The historical method for analyzing the development of models of ICT effect on production output, the comparative analysis of existing economic and mathematical models to determine the approaches to the selection of factors influencing the performance indicators, and the analysis of arrays of the initial statistic data.

Results. Analyzed models and the course of their development have shown a favorable impact of ICT on production output and labor productivity. The Solow Paradox is explained by the fact that the share of computer equipment and technology in corporate fixed assets in the late 1980s – the early 1990s was insignificant, as well as by the lack of reliable statistics at that time and an imperfect methodology for its analysis. With the development of statistics as science and with the spread of computer equipment and technology, the Solow Paradox has been rejected in new models of ICT effect on production output.

Conclusions. A set of models that take into consideration the institutional features of the national economic development, the life cycle stages, and the degree of implementation of digital technologies shall be used in order to clarify the ICT

effect on production output and labor productivity. The models of ICT effect on production output need to be further elaborated for taking into consideration the specifics of development of cutting-edge information technologies.

Keywords: information and communication technology (ICT), digitalization, the Solow Paradox, modelling, and production.

О.Н. Гаркушенко¹, С.И. Князев²

¹ Институт экономики промышленности НАН Украины,
ул. Желябова, 2, Киев, 03057, Украина,
+380 44 200 5571, harkushenko@nas.gov.ua

² Отделение экономики НАН Украины,
ул. Владимирская, 54, Киев, 01030, Украина,
+380 44 239 6646, ksi@nas.gov.ua

АНАЛИЗ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЛИЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВА: СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ПАРАДОКС СОЛОУ?

Введение. Развитие информационно-коммуникационных технологии (ИКТ) и цифровизация общества, распространяющиеся в мире вследствие ускоренного развития смарт-промышленности (Индустрии 4.0), обычно связывают с повышением объемов производства и производительности труда, уменьшением удельных издержек на единицу продукции и ее кастомизацией.

Проблематика. Согласно парадоксу Солоу (1987 г.), инвестиции в компьютерную технику и технологии не отражаются в экономической статистике о повышении производительности труда вследствие компьютеризации производств, что подрывает представление о положительном влиянии электроники на производство и производительность труда.

Цель. Разработать требования по совершенствованию экономико-математических моделей определения влияния ИКТ на производство на основе анализа преимуществ и недостатков известных моделей влияния компьютерной техники и программного обеспечения на результаты производства и учета особенностей развития ИКТ.

Материалы и методы. Исторический метод для анализа развития моделей влияния ИКТ на производство, сравнительный анализ существующих экономико-математических моделей по определению подходов к отбору факторов влияния на результирующие показатели, аналитическая обработка массивов исходной статистической информации.

Результаты. Проанализированные модели в своем развитии свидетельствуют о положительном влиянии ИКТ на производство и производительность труда. Парадокс Солоу объясняется тем, что в основных фондах предприятий доля компьютерной техники и технологий была незначительной в конце 1980-х – начале 1990-х гг., а также отсутствием в то время достоверной статистической информации и несовершенством методологии анализа. С развитием статистической науки и распространением компьютерной техники и технологии в новых моделях влияния ИКТ на результаты производства парадокс Солоу был опровергнут.

Выводы. Для уточнения влияния ИКТ на производство и производительность труда следует использовать комплекс моделей, учитывающих институциональные особенности развития экономики страны, этапы ее жизненного цикла и степень внедрения в ней цифровых техники и технологий. Модели влияния ИКТ на результаты производства требуют дальнейшего развития, в частности и с учетом закономерностей развития современных информационных технологий.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, цифровизация, парадокс Солоу, моделирование, производство.