

## УРАХУВАННЯ ФАКТОРУ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ БАГАТОФАКТОРНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА INCORPORATION OF ECOSYSTEM SERVICES INTO AGRICULTURAL MULTIFACTOR PRODUCTIVITY CALCULATION

У більшості досліджень, які вивчають багатофакторну продуктивність сільського господарства, як правило, враховано лише продуктивність праці або землі, а вплив екологічних чинників залишено поза увагою. Мета цього дослідження – розробити концептуальний підхід до інтеграції екологічних впливів у методику оцінювання багатофакторної продуктивності сільського господарства та розробити рекомендації щодо впровадження розробленого підходу. Удосконалий економіці з конкурентною рівновагою величина випуску продукції дорівнює значенню використаних ресурсів. Розбиваючи вхідні дані на три компоненти (капітал, матеріали та праця), ми можемо розрахувати підвищення продуктивності праці, спричинене зростанням або зменшенням кожного з факторів. Екологічні зовнішні впливи можуть бути включені в рамки методики шляхом обчислення загальної продукції як сукупності реалізованої продукції та обсягів екологічного впливу.

**Ключові слова:** багатофакторна продуктивність у сільському господарстві, сукупна факторна продуктивність, екологічні чинники, вплив екосистеми, зростання в сільському господарстві.

В большинстве исследований, изучающих многофакторную производительность сельского хозяйства, как правило, учтена только производительность труда или земли, а влияние экологических факторов оставлено без внимания. Цель этого исследования – разработать концептуальный подход к интеграции экологических воздействий в методику оценки многофакторной производительности сельского хозяйства и разработать рекомендации по внедрению разработанного подхода. В совершенной экономике с конкурентным равновесием величина выпуска продукции равна значению использованных ресурсов. Разбивая входные ресурсы на три компонента (капитал, материалы и труд), мы можем рассчитать рост производительности труда, вызванный повышением или уменьшением соответствующего фактора. Экологические внешние воздействия могут быть включены в рамки методики путем вычисления общей продукции как совокупности реализованной продукции и объемов экологического воздействия.

**Ключевые слова:** многофакторная производительность в сельском хозяйстве, совокупная факторная производительность, экологические факторы, влияние экосистемы, рост в сельском хозяйстве.

УДК 338.433

DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.48-62>

**Лесняк О.Ю.**

к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства  
Національний університет водного господарства та природокористування

**Lesniak Olexandr**

National University of Water and Environmental Engineering

*According to the current realities of climate change and the growing demand for food around the world, an understanding of the environment's ability to support agricultural production is the most worrisome worldwide. This article summarizes the available information on gross agricultural product growth measurements and provides preliminary conclusions regarding several key measurement and analytical components. In this study, we argue that conventional methods of measuring agricultural productivity, using only information on sold outputs and inputs, do not provide a correct idea of how sustainable the sector is. The concept of MFP – multifactor productivity also known as TFP – Total Factor Productivity – is used to measure the efficiency of agricultural production. Total Factor Productivity measures the increase in the total output, which is not caused by increases in the total inputs. There are many studies that examine agricultural multifactor productivity, typically measure only labor or land productivity, but impact of environmental externalities caused by agricultural systems is not typically accounted for in conventional measures of productivity and efficiency change. The purpose of this study is to create a conceptual approach to integrate ecosystem impacts into standard methods of multifactor agricultural productivity measures, to describe the current research of measurement methods and recommendations for implementing this approach. In the study we use the approach in which the value of output is equal to the value of factors used to produce the output. In a perfect economy with competitive equilibrium the quantity balance will be hold in all cases. By disaggregating the inputs into three components - capital, materials and labor inputs, we can calculate improvements in productivity. Environmental externalities can be incorporated into the framework by redefining total output as the aggregation of marketed output and pollution. Using this model we can avoid overestimation and underestimation in computing the conventional Total Factor Productivity indices. We compare the conventional and environmentally adjusted Total Factor Productivity and prove that this approach can give us the true representation how sustainable the growth in the sector is.*

**Key words:** agricultural multifactor productivity, total factor productivity, environmental externalities, ecosystem impacts, agricultural growth, ecosystem services.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва – отримання більшого обсягу виробництва від тієї ж кількості ресурсів – є вирішальним для підвищення продовольчої безпеки. Для вимірювання ефективності аграрного виробництва використовується поняття багатофакторної продуктивності, відоме також як сукупна факторна продуктивність. БФП – це показник ефективного використання сільськогосподарських земель, робочої сили, капіталу та матеріалів для виробництва сільськогосподарської продукції. Він обчислюється як відношення валової продукції сільського господарства до загального обсягу залучених ресурсів.

Поліпшення багатофакторної продуктивності сільського господарства має не лише велике значення для життєздатності сільськогосподарського сектору, а й є основною передумовою сталого економічного зростання. Багатофакторна продуктивність є показником збільшення випуску продукції, не зумовленого зростанням обсягів виробничих ресурсів, який ураховує ступінь зміни обсягу всіх вкладень у виробництво щодо зміни обсягів виробництва. Надлишок багатофакторної продуктивності відображає зміни в технічному прогресі, тобто ту частину приросту обсягу виробництва, яку неможливо пояснити зростанням обсягів вхідних ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Базовий концептуальний підхід до обліку зростання

був розроблений Солоу (1957 р.) [1], Йоргенсоном (1993 р.) [2] та іншими вченими і постійно вдосконалюється. Основні методичні підходи до оцінювання багатофакторної продуктивності у сільському господарстві розроблені Кумар (2008 р.) та Фуглі (2010 р.) [3; 5]. Останні дослідження вказують на сповільнення зростання продуктивності в сільському господарстві в розвинених країнах, особливо у зерновій галузі (Балл та ін., 2014 р.) [4], що актуалізує завдання пошуку джерел для її подальшого підвищення, одним з яких може бути врахування фактору природних ресурсів.

Багатофакторні моделі аналізу продуктивності розглядаються у багатьох наукових роботах, проте особливості врахування екологічних факторів у цих працях висвітлено недостатньо.

Хоча продуктивність праці і повинна враховувати екологічні наслідки економічної діяльності, проте сьогодні не існує загально визнаної концептуальної моделі інтеграції впливів навколишнього середовища у стандартні методики визначення багатофакторної продуктивності. Фактично, підходи відображають підхід від конкретних випадків із застосуванням різних методів залежно від екологічного чинника, що розглядається.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є опрацювання концептуального підходу до інтеграції екосистемних впливів у стандартні методи оцінки багатофакторної сільськогосподарської продуктивності та опис поточного стану досліджень методів вимірювання і напрямів удосконалення цього підходу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Коли більший обсяг виробництва виробляється з незмінної кількості ресурсів, багатофакторна продуктивність збільшується. Заходи щодо поліпшення землекористування та підвищення продуктивності праці – заходи часткової факторної продуктивності – обчислюються як відношення загальної продукції до загальної сільськогосподарської площі (продуктивність землі) та кількості економічно активних людей у сільському господарстві (продуктивність праці). Ці заходи, як правило, демонструють більш високі темпи зростання, ніж загальна факторна продуктивність, оскільки зростання продуктивності землі та праці може також бути наслідком більш інтенсивного використання інших ресурсів (наприклад, добрив чи машин та обладнання). Показник багатофакторної продуктивності сприяє розумінню процесів у сільському господарстві, які є передумовою прийняття зважених політичних та інвестиційних рішень. Оскільки аграрний сектор є однією з визначальних галузей національних економік, підвищення продуктивності сільського господарства стало пріоритетною політикою та перспективним напрямом наукових досліджень. Підвищення продуктивності праці, зумовлене інноваціями та удосконаленням техно-

логій, давно визнано найважливішим джерелом економічного зростання сільського господарства.

Для включення до розрахунку впливу широкого спектру екологічних чинників на багатофакторну продуктивність необхідні статистичні дані про використання природних ресурсів, які включаються як додатковий складник капіталу за отримання комбінованого обсягу вкладень ресурсів поруч із працею та капіталом. У разі коли земля вже включена як фактор розрахунку, мають бути враховані зміни в якості сільськогосподарських земель.

Включення природних ресурсів у розрахунки продуктивності можна розглядати на декількох етапах, включаючи різні види природних ресурсів. Передусім слід використати можливості прямого розрахунку, коли присутнє безпосереднє використання природних ресурсів, наприклад забір води для зрошення, запилення сільськогосподарських культур природними запилювачами, поглинання ґрунтових поживних речовин і т.д.

Другим етапом інтеграції екологічного фактору є врахування відходів, скидів та викидів, що утворюються в результаті сільськогосподарського виробництва. Приклади відповідних вихідних потоків включають викиди забруднюючих речовин та надходження надлишків азоту та фосфору в місцеві водозбори. У цьому разі відповідні екосистеми, приймаючи такі забруднення, фактично надають послугу сільськогосподарським виробникам, оскільки завдяки абсорбційним властивостям екосистеми виробник уникає витрат на знешкодження цих впливів.

Третім етапом розширення врахування природних ресурсів є визнання існування низки позитивних зовнішніх ефектів сільськогосподарського виробництва. Оцінювання продуктивності сільського господарства має, таким чином, включати вплив на навколишнє середовище та з боку навколишнього середовища. Без урахування екологічного чинника оцінка продуктивності може бути або заниженою або завищеною.

Можна назвати кілька порівнюваних методів розрахунку індексів загальної факторної продуктивності, один із найбільш практичних – це оцінювання розрахунковим методом, за якого величина випуску продукції дорівнює значенню факторів виробництва, використаних для її виготовлення.

$$\sum_{i=1}^N P_i Q_i = \sum_{j=1}^J R_j I_j; \quad PQ = RI, \quad (1)$$

де  $P_i$  і  $Q_i$  – це ціни на продукцію та обсяги її виробництва відповідно,  $R_i$  і  $I_i$  – це ціни на вхідні ресурси і обсяги вхідних ресурсів відповідно, тоді як  $Q$  і  $I$  – це вектори обсягу. Таке облікове співвідношення означає лише те, що вхідні ресурси  $I_j$  мають бути оплачені за ставкою  $R_j$  щоб зрівняти загальний обсяг виробництва продукції  $\sum_{i=0}^N P_i Q_i$ . На відміну від інших методів цей підхід не

передбачає умови повного використання ресурсів і досягнення максимальної економічної ефективності виробництва. Якщо висловити рівняння (1) у формі похідної, ми отримаємо такий результат:

$$\sum_{i=1}^N P_i \frac{\partial Q_i}{\partial t} \dot{t} + \sum_{i=1}^N Q_i \frac{\partial P_i}{\partial t} \dot{t} = \sum_{j=1}^J R_j \frac{\partial I_j}{\partial t} \dot{t} + \sum_{j=1}^J I_j \frac{\partial R_j}{\partial t} \dot{t} \quad (2)$$

Відзначимо, що похідна змінної виражена через  $X = \frac{1}{X} \frac{\partial X}{\partial t}$ , а частка витрат на фактор  $j$  дана у формі

$$c_j = \frac{I_j R_j}{\sum I_j R_j}$$

. Припускаючи, що багатofакторна продуктивність є сталою, ми можемо для зручності переставити умови, поділивши обидві сторони рівняння (2) на  $\sum P_j Q_j dt$  і перемноживши праву сторону рівняння на  $R_j/R_j$  та  $I_j/I_j$ , тоді отримаємо:

$$P + Q = \sum_j c_j \dot{R} + \sum_j c_j \dot{I} = \dot{R} + \dot{I} \quad (3)$$

У закритій економіці з існуванням конкурентної рівноваги багатofакторна продуктивність може бути розрахована двома альтернативними шляхами:

$$TFP = R - P \text{ або } TFP = Q - I, \quad (4)$$

де  $TFP$  – зростання багатofакторної продуктивності. Рівняння, що використовує ціни, не завжди буде відповідати дійсності, проте рівняння на основі обсягів буде дотримане у всіх випадках. Отже, розділяючи вхідні ресурси на три компоненти, ми можемо порахувати підвищення продуктивності як:

$$Q(t) = A(t) \times f(K(t), M(t), L(t)), \quad (5)$$

де  $Q(t)$  означатиме реальне виробництво продукції в році  $t$ ,  $K(t)$ ,  $M(t)$  і  $L(t)$  відобразатимуть обсяги капіталу, матеріалів та праці, відповідно, а  $A(t)$  – індекс продуктивності. Із цієї функції похідна індексу продуктивності може бути визначена як:

$$\frac{\dot{A}(t)}{A} = \frac{\dot{Q}(t)}{Q} - \left[ \frac{s_k \dot{K}(t)}{K} + \frac{s_m \dot{M}(t)}{M} + \frac{s_l \dot{L}(t)}{L} \right], \quad (6)$$

де обсяги, позначені крапками, показують темп зростання з урахуванням часу. Іншими словами, темп зростання продуктивності визначається як різниця між темпом зростання індексу виробництва продукції та темпом зростання розподіленого індексу вхідних ресурсів. Своєю чергою, індекс вхідних ресурсів виводиться визначенням ваги кожного фактора виробництва в пропорційній зміні виробництва, яке відбувається внаслідок зміни самого фактору. Технічно це можна вважати еластичністю продукції. Позначимо її як  $s_k$ ,  $s_m$  і  $s_l$ . Якщо припустити існування досконалої конкуренції як на ринку факторів виробництва, так і на ринку вихідної продукції та незмінність віддачі, то ці вагові коефіцієнти дорівнюють частці окремих факторів у загальних витратах, а їхня сума становитиме одиницю. Екологічні зовнішні ефекти можуть бути включені

в модель шляхом визначення загальної вихідної продукції  $W$  як суми збутої продукції та обсягів забруднення. Тоді загальний вихідний обсяг продукції покаже темп зростання, що дорівнюватиме:

$$\frac{\dot{W}(t)}{W} = \frac{s_q \dot{Q}(t)}{Q} + \frac{s_e \dot{E}(t)}{E} \quad (7)$$

Згідно з рівнянням (7), темп зростання загального обсягу продукції рівний середньозваженому коефіцієнту приросту випуску та зростання забруднення. Вагові коефіцієнти рівні часткам обсягів продукції та обсягів забруднення в загальному обсязі вихідної продукції. Оскільки забруднення знижує загальний обсяг, воно характеризується негативною тінювою ціною. Фактично розрахунок впливу обсягів забруднення на загальну продуктивність є аналогічним урахуванню впливу вхідних факторів виробництва. Якщо індекс продуктивності для об'єднаної функції виробництва продукції  $W$  з урахуванням обсягів забруднення позначити як  $A^*$ , то темп зростання  $A^*$  дорівнюватиме:

$$\frac{\dot{A}^*(t)}{A^*} = \frac{s_q \dot{Q}(t)}{Q} + \frac{s_e \dot{E}(t)}{E} - \left[ \frac{s_k \dot{K}(t)}{K} + \frac{s_m \dot{M}(t)}{M} + \frac{s_l \dot{L}(t)}{L} \right] \quad (8)$$

Якщо припустити, що  $s_q = 1 - s_e$ , тоді за об'єднання нерівностей (6) і (8) отримаємо:

$$\frac{\dot{A}^*(t)}{A^*} = \frac{\dot{A}(t)}{A} + s_e \left[ \frac{\dot{E}(t)}{E} - \frac{\dot{Q}(t)}{Q} \right], \quad (9)$$

де  $s_e$  – вага забруднень в загальному обсязі вихідної продукції,  $\dot{E}$  – зміна обсягів забруднень,  $E$  – рівень забруднень,  $\dot{Q}$  – зміна обсягів збутої продукції, а  $Q$  – обсяги збутої продукції. Рівняння (9) показує зв'язок між двома індикаторами продуктивності. Перша частина правої сторони нерівності (9) – це те, що традиційно оцінюється під час проведення аналізу продуктивності, тоді як інша частина враховує екологічну поправку.

Використовуючи запропоновану формулу (9), можна помітити, що якщо  $s_e$  негативне, а забруднення зростають повільніше від обсягів виробництва, а саме вираз у дужці  $\frac{\dot{E}(t)}{E} - \frac{\dot{Q}(t)}{Q}$  є від'ємним,

то індекс продуктивності, скоригований на фактор екології, зростатиме швидше, ніж індекс, розрахований традиційним способом, і навпаки.

#### Висновки з проведеного дослідження.

У цьому дослідженні ми стверджуємо, що звичайні методи вимірювання продуктивності сільськогосподарства, які використовують лише інформацію про виготовлену продукцію та вхідні ресурси, не дають правдивого уявлення про те, наскільки стійкою є діяльність сектору. Якщо забруднення зростатиме швидше, ніж обсяги збутої на ринку продукції, то індекс, розрахований традиційним способом, завищуватиме реальні



темпи зростання. Якщо обсяги будуть зростати або ж залишатися сталими, то будь-яке зниження забруднення призводитиме до отримання вищих темпів зростання продуктивності порівняно з темпами, отриманими традиційним методом.

Таким чином, запропоноване нами коригування підходів до оцінювання загальної факторної продуктивності у сільському господарстві дає змогу залучити до методики розрахунку екологічні джерела динаміки продуктивності і досягнути поліпшення розуміння процесів економічного зростання у цій галузі, враховуючи вплив на нього екологічних чинників.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Solow Robert M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957. Volume 39(3). P. 312–320. URL: <https://www.jstor.org/stable/1926047?origin=JSTOR-pdf&seq=1> (дата звернення: 10.03.2019).

2. Dale W. Jorgenson, Frank M. Productivity Growth in U.S. Agriculture: A Postwar Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*. 1992. Vol. 74. № 3. P. 745–750. URL: <https://www.jstor.org/stable/1242588?seq=1> (дата звернення: 03.05.2019).

3. Fuglie Keith. Total factor productivity in the global agricultural economy: evidence from FAO Data. *The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide*, The Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, Iowa State University, Ames, Iowa, 2010. P. 63–95. URL: [https://www.card.iastate.edu/products/books/shifting\\_patterns/pdfs/chapter4.pdf](https://www.card.iastate.edu/products/books/shifting_patterns/pdfs/chapter4.pdf) (дата звернення: 12.10.2018).

4. Ball E., Wang S.L., Nehring R. Productivity and Economic Growth in U.S. Agriculture: A New Look. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 2016. Vol. 38. Issue 1. P. 30–49. URL: <https://doi.org/10.1093/aep/ppv031> (дата звернення: 27.01.2019)

5. Praduman Kumar, Surabhi Mittal, Mahabub Hossain. Agricultural Growth Accounting and Total Factor Productivity in South Asia: A Review and Policy Implications *Agricultural Economics Research Review*. 208. Vol. 21. P. 145–172. URL: <https://econpapers.repec.org/article/agsaerrae/47669.htm> (дата звернення: 20.01.2019)

6. Chuku, Chuku. Incorporating Environmental Externalities in Total Factor Productivity Analysis: The Case of Soil Erosion in Nigerian Agriculture MPRA Paper 68165, University Library of Munich, Germany.

2015. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68165/> (дата звернення: 28.11.2019).

7. Статівка Н.В. Методологічні основи оцінки багатфакторної продуктивності в аграрній сфері. *Державне регулювання процесів економічного та соціального розвитку*. 2009. Вип. 4(27). URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/tpdu/2009-4/doc/3/11.pdf> (дата звернення: 28.11.2019).

#### REFERENCES:

1. Solow, Robert M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*. Volume 39(3). 1957. pp. 312-320. URL: <https://www.jstor.org/stable/1926047?origin=JSTOR-pdf&seq=1>. (accessed 10 March 2019).

2. Dale W. Jorgenson, Frank M. Productivity Growth in U.S. Agriculture: A Postwar Perspective. *American Journal of Agricultural Economics* Vol. 74, No. 3 (Aug., 1992), pp. 745-750. URL: <https://www.jstor.org/stable/1242588?seq=1>. (accessed 03 May 2019).

3. Fuglie, Keith. Total factor productivity in the global agricultural economy: evidence from FAO Data. *The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide*, The Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, Iowa State University, Ames, Iowa, 2010. pp. 63–95 URL: [https://www.card.iastate.edu/products/books/shifting\\_patterns/pdfs/chapter4.pdf](https://www.card.iastate.edu/products/books/shifting_patterns/pdfs/chapter4.pdf). (accessed 12 October 2018).

4. Ball E., Wang S.L., Nehring R. Productivity and Economic Growth in U.S. Agriculture: A New Look. *Applied Economic Perspectives and Policy*, Volume 38, Issue 1, March 2016, Pages 30–49. URL: <https://doi.org/10.1093/aep/ppv031>. (accessed 27 January 2019).

5. Praduman Kumar, Surabhi Mittal, Mahabub Hossain. Agricultural Growth Accounting and Total Factor Productivity in South Asia: A Review and Policy Implications *Agricultural Economics Research Review* Vol. 21 July-December 2008 pp 145-172. URL: <https://econpapers.repec.org/article/agsaerrae/47669.htm>. (accessed 20 January 2019).

6. Chuku, Chuku. *Incorporating Environmental Externalities in Total Factor Productivity Analysis: The Case of Soil Erosion in Nigerian Agriculture* MPRA Paper 68165, University Library of Munich, Germany. 2015. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68165/>. (accessed 28 November 2019).

7. Stativka N.V. Metodolohichni osnovy otsinky bahatofaktornoyi produktyvnosti u agrarniy sferi. *Derzhavne rehulyuvannya protsesiv ekonomichnoho ta sotsialnoho rosvytku [Government regulation of economic and social development processes]*, 2009/4 (27). URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/tpdu/2009-4/doc/3/11.pdf> (in Ukrainian). (accessed 28 November 2019).