

УДК 338.436:330.46:339.9

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.217.119-127>**Скотний П.В.**

кандидат економічних наук

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Skotnyy Pavlo

PhD in Economic Sc.

Ivan Franko State Pedagogical University of Drohobych

<https://orcid.org/0000-0001-8150-8946>**Костецький Р.В.**

Національний університет «Львівська політехніка»

Kostetskyi Roman

Lviv Polytechnic National University

<https://orcid.org/0009-0003-5671-255X>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ DEA-МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСШТАБУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

У статті обґрунтовано методологічні засади побудови DEA-моделей оцінювання ефективності масштабу аграрного сектору в умовах євроінтеграції. Розкрито економічний зміст ефективності масштабу та її значення для підвищення конкурентоспроможності аграрного виробництва. Основну увагу зосереджено на непараметричних методах оцінювання, моделях із постійною та змінною віддачею від масштабу, а також індексі Малмквіста. Визначено можливості застосування цих підходів для оцінювання технічної ефективності та ефективності масштабу. Узагальнено переваги й обмеження непараметричного моделювання, зокрема його чутливість до якості вихідних даних. Обґрунтовано необхідність комплексного врахування ефекту масштабу під час оцінювання результативності аграрних підприємств та їх адаптації до умов європейського ринку.

Ключові слова: ефективність масштабу, аграрний сектор, непараметричні методи, DEA-моделі, індекс Малмквіста, євроінтеграція, економіко-математичне моделювання.

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR CONSTRUCTING DEA MODELS TO ASSESS SCALE EFFICIENCY IN THE AGRICULTURAL SECTOR UNDER EUROPEAN INTEGRATION

The article examines the theoretical and methodological foundations for modeling scale efficiency in the agricultural sector in the context of European integration. Particular attention is paid to the role of scale efficiency in assessing the relationship between resource use and production outcomes and in identifying potential opportunities for improving agricultural performance. The study systematizes contemporary approaches to efficiency assessment, with a particular focus on non-parametric methods. Data Envelopment Analysis (DEA) is considered an appropriate analytical framework for evaluating the relative efficiency of production units with multiple inputs and outputs without imposing a predefined functional form on the production technology. The methodological framework is based on the comparison of CCR and BCC models under constant (CRS) and variable (VRS) returns to scale, which enables technical efficiency to be distinguished from its scale component. Particular attention is also given to the economic justification of input and output selection, as the validity of DEA estimates largely depends on the relevance and comparability of the variables included in the model. The study emphasizes that the interpretation of scale efficiency requires consideration of the specific characteristics of agricultural production, including resource constraints, technological heterogeneity, and differences in production organization. The Malmquist productivity index is considered as a complementary tool for examining productivity changes over time. Its application extends the analytical framework by allowing static efficiency assessment to be supplemented with a dynamic perspective on productivity development. At the same time, the advantages of non-parametric modeling are considered together with its limitations, particularly its sensitivity to data quality and the specification of input and output variables. It is argued that scale efficiency assessment is particularly relevant under

European integration, which strengthens requirements for competitiveness, resource productivity, technological modernization, and adaptation of agricultural production to the European market.

Keywords: *scale efficiency, agricultural sector, non-parametric methods, DEA models, Malmquist index, European integration, economic and mathematical modeling.*

JEL Classification: C61, D24, Q12, F15.

Постановка проблеми. Оцінювання ефективності масштабу аграрного сектору набуває особливого значення в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів, що посилюють вимоги до конкурентоспроможності та раціонального використання ресурсного потенціалу. Водночас розвиток аграрного виробництва супроводжується структурними диспропорціями, зокрема невідповідністю фактичних масштабів діяльності окремих господарств економічно доцільному рівню. Надмірна фрагментація виробництва або, навпаки, його надмірна концентрація можуть зумовлювати втрати потенційної ефективності та обмежувати можливості підвищення продуктивності. За таких умов особливої актуальності набуває пошук оптимального співвідношення між масштабом виробництва, обсягами залучених ресурсів і досягнутими результатами. Додатковим чинником виступає обмеженість інвестиційних можливостей, що ускладнює технологічне оновлення аграрних підприємств та їх адаптацію до вимог європейського ринку.

Недостатній рівень технологічного розвитку стримує оптимізацію масштабів виробництва. Функціонування аграрного сектору значною мірою залежить від впливу зовнішніх чинників, серед яких особливе значення мають природно-кліматичні умови та зміни ринкової кон'юнктури. Така специфіка посилює потребу у використанні економіко-математичних методів, здатних забезпечити кількісне оцінювання ефективності та виявлення резервів оптимізації масштабу виробництва на основі емпіричних даних. Водночас практичне застосування відповідного аналітичного інструментарію в Україні залишається обмеженим, що зумовлює необхідність його подальшої адаптації до особливостей національного аграрного сектору та доступної статистичної бази. Отже, дослідження ефективності масштабу функціонування аграрного сектору має важливе наукове та практичне значення. Вирішення цієї проблеми сприятиме формуванню обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації структури аграрного виробництва і дозволить підвищити ефективність використання ресурсів та забезпечити сталий розвиток аграрного сектору в умовах євроінтеграції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні дослідження ефективності аграрного сектору охоплюють кілька взаємопов'язаних напрямів, серед яких важливе місце посідають питання раціонального використання ресурсного потенціалу, підвищення продуктивності та пошуку резервів удосконалення виробничих процесів. Проблематика ефективності використання ресурсів аграрних підприємств висвітлюється у працях Л. Костирко та ін. [13], тоді як методичні аспекти оцінювання ефективності із застосуванням непараметричних підходів представлені у дослідженнях Б. Кушакевича та ін. [9]. Значення економіко-

математичного моделювання для аналізу та обґрунтування рішень в аграрній сфері простежується також у працях Сіссіу В. та ін [5], С. Степенко та І. Лазаренка [15].

Окремий напрям формують питання технологічної модернізації та цифрової трансформації аграрного виробництва. Взаємозв'язок між цифровізацією та продуктивністю сільського господарства розглядається С. G. Vosean [1], а роль сучасних аграрних технологій у підвищенні продуктивності та ефективності землекористування акцентується Х. Chen [3]. Організаційно-управлінські аспекти впровадження цифрових і технологічних рішень розвивають Л. Chernyshova та К. Bondar [4], тоді як ширші проблеми цифрової трансформації підприємницького середовища висвітлюють Б. Ю. Кишакевич, Б. Т. Демедюк і В. І. Сисюк [11].

Важливе місце у сучасному науковому дискусії посідають питання структурної адаптації аграрного сектору до змін зовнішнього середовища. Трансформації експортної діяльності та посилення впливу зовнішніх ризиків розглядає S. Bondarenko [2], тоді як проблеми адаптації зовнішньоекономічної стратегії аграрного сектору до умов глобальної нестабільності висвітлюють Д. Козловський та А. Олішевська [12]. Стратегічні напрями розвитку агробізнесу в умовах структурних змін окреслюють В. Мамчур та ін. [14]. У контексті європейської інтеграції особливого значення набувають також проблеми стійкості, конкурентоспроможності та здатності аграрних систем функціонувати за підвищеної невизначеності, що знаходить відображення у працях R. V. Ionescu та ін. [8].

Поряд із традиційним трактуванням виробничої ефективності дедалі більшої ваги набуває комплексне оцінювання результативності аграрних систем із урахуванням економічних, ресурсних та екологічних характеристик. Такий підхід простежується у дослідженнях Р.-Л. Georgescu та ін. [7], що розширює методологічні межі аналізу та актуалізує питання співвідношення між масштабом виробництва, ресурсним забезпеченням, продуктивністю і стійкістю аграрних систем.

Незважаючи на значну увагу до ресурсної, технологічної та структурної складових ефективності, питання ефективності масштабу аграрного виробництва залишаються менш систематизованими. Особливо це стосується розмежування технічної та масштабної неефективності, оцінювання відповідності фактичного розміру виробництва економічно доцільному рівню та обґрунтування можливостей використання моделей із постійною і змінною віддачею від масштабу. Саме цей аспект формує методичне підґрунтя подальшого дослідження ефективності аграрного сектору в умовах євроінтеграційних змін.

Метою статті є обґрунтування методологічних

засад побудови DEA-моделей оцінювання ефективності масштабу аграрного сектору в умовах євроінтеграції на основі поєднання CCR- та BCC-моделей із постійною і змінною віддачею від масштабу та обґрунтування системи вхідних і вихідних змінних.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. Так, методи аналізу, синтезу, систематизації та узагальнення застосовано для опрацювання наукових підходів до оцінювання економічної та масштабної ефективності аграрного сектору; порівняльно-аналітичний метод використано для зіставлення підходів до оцінювання ефективності за умов постійної та змінної віддачі від масштабу; непараметричний метод Data Envelopment Analysis (DEA) застосовано для формування методологічних засад оцінювання відносної технічної та масштабної ефективності аграрного сектору; індексний метод (індекс Малмквіста) застосовано для методичного обґрунтування оцінювання динаміки сукупної факторної продуктивності та її складових у часі; таблицний і графічний методи використано для систематизації та наочного представлення результатів дослідження.

Виклад основних результатів дослідження. Наукові підходи до оцінювання ефективності розвивалися в межах різних економічних шкіл і відображають зміну уявлень про характер використання ресурсів та критерії результативності господарської діяльності. У класичній економічній теорії ефективність переважно пов'язувалася зі співвідношенням витрат і отриманих результатів, тоді як у межах неокласичного підходу основна увага зосереджується на оптимальному розподілі ресурсів і досягненні Парето-ефективного стану. Подальший розвиток економічної науки зумовив розширення методичного інструментарію та перехід до багатовимірного трактування ефективності. Важливе місце в цьому контексті посідає виробничо-функціональний підхід, що ґрунтується на аналізі виробничих залежностей і передбачає оцінювання ефективності через відхилення фактичних результатів від відповідної виробничої межі.

Серед сучасних інструментів оцінювання ефективності важливе місце посідають як параметричні, так і непараметричні методи. До параметричних підходів належить стохастичний фронтірний аналіз (SFA), що дає змогу відокремлювати вплив випадкових чинників від складової неефективності за умови попереднього визначення функціональної форми виробничої залежності. Альтернативу становлять непараметричні методи, які не потребують такого припущення. Найбільш поширеним серед них є Data Envelopment Analysis (DEA), що використовується для порівняльного оцінювання відносної ефективності виробничих одиниць на основі емпіричних даних. Важливою перевагою DEA є можливість одночасного врахування кількох видів ресурсів і результатів, що зумовлює доцільність його застосування під час дослідження багатофакторних виробничих процесів в аграрному секторі [9].

Динамічний аспект оцінювання ефективності представлений індексними методами, серед яких найбільш

поширеним у DEA-дослідженнях є індекс Малмквіста, що дає змогу простежити зміну продуктивності та розмежувати її основні складові у часі. У сучасних дослідженнях дедалі ширшого застосування набувають комбіновані підходи, що передбачають поєднання параметричних і непараметричних методів оцінювання ефективності. Їх використання дає змогу комплексніше враховувати особливості досліджуваних економічних процесів та підвищувати обґрунтованість отриманих результатів. Окремий напрям становлять багатокритеріальні методи, орієнтовані на одночасне врахування економічних, соціальних та екологічних аспектів ефективності, що узгоджується з принципами сталого розвитку [5]. Важливе місце в дослідженні ефективності посідає системний підхід, у межах якого результативність розглядається як наслідок взаємодії сукупності взаємопов'язаних економічних, організаційних і технологічних чинників. Інституційний підхід, своєю чергою, зосереджується на впливі формальних і неформальних правил, норм та механізмів регулювання, що формують умови функціонування економічних суб'єктів. Окремого значення набуває цифровізація аналітичних процесів, зокрема використання великих масивів даних і сучасних інструментів їх опрацювання, що розширює можливості для поглибленого оцінювання ефективності та виявлення складніших взаємозв'язків між досліджуваними показниками. Водночас існують проблеми інтерпретації результатів, оскільки різні підходи можуть формувати відмінні оцінки.

У табл. 1 узагальнено основні наукові підходи до оцінювання економічної ефективності та відображає їхні ключові характеристики. Кожен підхід має як свої переваги, так і обмеження, що зумовлює доцільність їх комбінованого використання. Особливу увагу привертають непараметричні та інтегровані методи, які забезпечують більш глибокий і комплексний аналіз ефективності в сучасних умовах.

Практичну значущість дослідження ефективності масштабу підтверджує неоднорідність структури аграрного сектору ЄС за розмірами господарств. Значні відмінності між часткою господарств окремих розмірних груп та обсягами сільськогосподарських угідь, що перебувають у їх використанні, свідчать про суттєву диференціацію масштабів виробництва. Згідно із даними Eurostat має місце значна неоднорідність аграрної структури ЄС за масштабами господарювання (рис. 1). У 2023 р. господарства площею до 5 га становили 63,8% їх загальної кількості, однак використовували лише 5,8% сільськогосподарської площі. Натомість на господарства площею 100 га і більше припадало лише 3,6% загальної кількості, проте вони акумулювали понад половину використовуваної сільськогосподарської площі. Така диспропорція між кількістю господарств і концентрацією земельних ресурсів підтверджує значну масштабну неоднорідність аграрного сектору ЄС та актуалізує питання оцінювання відповідності фактичних масштабів виробництва економічно ефективному рівню.

Таблиця 1

Наукові підходи до оцінювання економічної ефективності

Підхід	Сутність	Основні методи	Переваги	Обмеження
Класичний	Оцінка співвідношення витрат і результатів	Рентабельність, продуктивність, коефіцієнти	Простота, доступність	Обмежена багатофакторність
Неокласичний	Оптимальний розподіл ресурсів	Парето-ефективність, граничний аналіз	Теоретична обґрунтованість	Складність практичного застосування
Виробничо-функціональний	Аналіз виробничих функцій	Кобба–Дугласа, CES-функції	Врахування залежностей між змінними	Потреба у специфікації функції
Параметричний	Оцінювання через задану функцію	Стохастичний фронтірний аналіз (SFA)	Врахування випадкових факторів	Чутливість до вибору моделі
Непараметричний	Оцінювання без функціональних припущень	Data Envelopment Analysis, FDH	Гнучкість, багатофакторність	Чутливість до даних
Індексний	Аналіз змін ефективності у часі	Індекс Малмквіста	Динамічний аналіз	Складність інтерпретації
Багатокритеріальний	Оцінювання за кількома критеріями	АНР, TOPSIS	Комплексність	Суб'єктивність оцінок
Системний	Розгляд ефективності як системного явища	Системний аналіз	Комплексний підхід	Складність реалізації
Інтегрований	Поєднання різних підходів	DEA + SFA, DEA + економетрія	Висока точність	Висока складність

Джерело: розроблено авторами

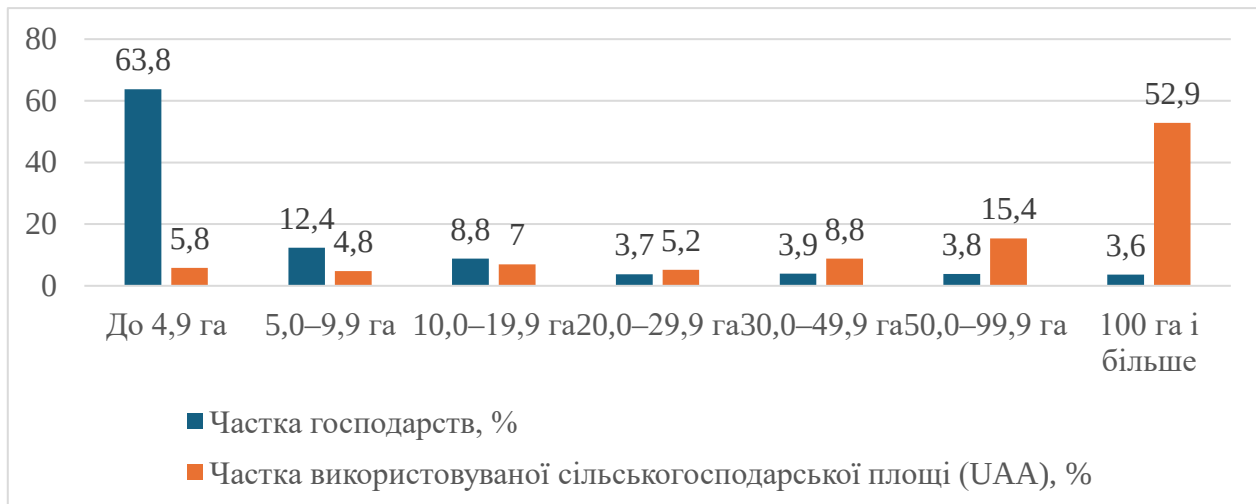


Рис. 1. Структура сільськогосподарських господарств ЄС за розміром та часткою використовуваної сільськогосподарської площі (UAA), 2023 р., %

Джерело: побудовано авторами на основі даних [6].

Дослідження ефекту масштабу в аграрному секторі є важливим напрямом сучасної економічної науки. Воно дозволяє визначити оптимальні розміри виробництва. Ефект масштабу відображає зміну обсягів випуску при зміні використання ресурсів [9]. У аграрному секторі цей ефект має специфічні особливості, які пов'язані з природно-кліматичними умовами та сезонністю виробництва. Дослідження ефекту масштабу дозволяє оцінити ефективність функціонування підприємств різного розміру, що є важливим при формуванні аграрної політики. В економічній теорії виділяють зростаючу, постійну та спадну віддачу від масштабу. Зростаюча віддача від масштабу свідчить про потенційну можливість підвищення результативності внаслідок розширення масштабу діяльності, тоді як спадна віддача вказує на можливе перевищення його ефективного рівня. Вона означає, що збільшення ресурсів

призводить до більш ніж пропорційного зростання випуску.

Постійна віддача передбачає пропорційне зростання результатів. Спадна віддача виникає при надмірному збільшенні масштабів виробництва. У аграрному секторі часто спостерігається поєднання різних типів віддачі, що зумовлює необхідність емпіричних досліджень. Для оцінювання ефекту масштабу застосовуються різні методи, серед яких важливе місце займає Data Envelopment Analysis. Такий підхід дозволяє визначити ефективність масштабу на основі реальних даних. Він базується на порівнянні виробничих одиниць. У межах DEA використовуються моделі з різними припущеннями щодо віддачі від масштабу, що дає змогу оцінити ефективність масштабу. Важливе значення має визначення оптимального масштабу виробництва, оскільки такий підхід сприяє підвищенню

продуктивності.

Для дослідження динамічних змін продуктивності в межах DEA-підходу доцільним є застосування індексу Малмквіста, який характеризує зміну сукупної факторної продуктивності виробничої одиниці між двома суміжними періодами. Його побудова ґрунтується на використанні функцій відстані від фактичних комбінацій вхідних і вихідних показників до відповідної межі виробничих можливостей. На відміну від статичних оцінок DEA, що характеризують відносну ефективність у певний момент часу, індекс Малмквіста дає змогу встановити напрям і величину зміни продуктивності в динаміці. Значення індексу більше одиниці свідчить про зростання продуктивності, менше одиниці — про її зниження, а значення, що дорівнює одиниці, вказує на відсутність змін між порівнюваними періодами.

Важливою аналітичною перевагою індексу Малмквіста є можливість декомпозиції загальної зміни продуктивності на дві основні складові: зміну технічної ефективності (efficiency change, EFFCH) та технологічну зміну (technical change, TECHCH), тобто $TFFCH = EFFCH \times TECHCH$. Перша складова характеризує наближення виробничої одиниці до межі ефективності або віддалення від неї, тоді як друга відображає зміщення самої виробничої межі внаслідок технологічних, організаційних чи інших змін. За використання моделей зі змінною віддачею від масштабу зміна технічної ефективності може додатково розкладатися на зміну чистої технічної ефективності та зміну

ефективності масштабу. Така декомпозиція є особливо корисною для аграрного сектору, оскільки дає змогу розмежувати підвищення продуктивності, пов'язане з ефективнішим використанням наявних ресурсів, і зміни, зумовлені технологічним розвитком та трансформацією масштабів виробництва.

Водночас на ефективність функціонування аграрного сектору істотно впливають інституційні чинники, що визначають умови господарювання, доступ до ресурсів і характер структурних трансформацій. Євроінтеграційні процеси посилюють вимоги до конкурентоспроможності аграрного виробництва та стимулюють пошук економічно обґрунтованих масштабів діяльності. Додаткові можливості для підвищення продуктивності створюють інновації та цифровізація, оскільки їх впровадження сприяє ефективнішому використанню ресурсів і вдосконаленню організації виробничих процесів. За таких умов дослідження ефективності масштабу набуває важливого значення для обґрунтування напрямів підвищення результативності аграрного сектору.

Нехай необхідно оцінити ефективність r -тої виробничої одиниці DMU_r , яка використовує m вхідних змінних x_{ip} ($i=1, \dots, m$) для формування k вихідних змінних y_{rp} ($r=1, \dots, k$). За наявності n виробничих одиниць задача CCR-моделі полягає у знаходженні такого коефіцієнта пропорційного скорочення ресурсів θ_r , за якого досліджувана одиниця може досягати поточного рівня виходів із мінімально можливим обсягом входів. Математично ця задача має вигляд [9]:

$$\text{Min} \theta_p \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta_p x_{ip} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rp} \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1 \dots n, i = 1 \dots m, r = 1 \dots k \quad (4)$$

де:

$\theta \in (0, 1]$ — коефіцієнт технічної ефективності. Якщо $\theta=1$, DMU є технічно ефективною.

BCC модель можна представити у свою чергу

наступним чином [9]:

$$\text{Min} \theta_p \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta_p x_{ip} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rp} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (8)$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1 \dots n, i = 1 \dots m, r = 1 \dots k \quad (9)$$

Для оцінювання ефективності масштабу можна використати DEA моделі із змінним VRS та сталим CRS

ефектами масштабу:

$$\text{Ефективність масштабу}(SE) = \frac{CRS \text{ ефективність}}{VRS \text{ ефективність}} \quad (10)$$

Економічний зміст ефективності масштабу в аграрному секторі полягає у визначенні того, наскільки розмір виробництва відповідає оптимальному рівню з погляду використання ресурсів. Показник SE відображає, чи функціонує підприємство або країна на оптимальному масштабі. Якщо $SE=1$, це означає, що аграрна система працює у точці оптимального масштабу, де досягається максимальна продуктивність ресурсів. У

такому випадку збільшення або зменшення розміру виробництва не призводить до покращення ефективності, що характерно для збалансованих аграрних структур із ефективною організацією виробництва. Якщо $SE < 1$, це свідчить про неефективність масштабу, тобто розмір виробництва є неоптимальним. У аграрному секторі це може означати або надто малий, або надто великий масштаб господарювання. За умов зростаючої

віддачі від масштабу (IRS) збільшення обсягів залучених ресурсів супроводжується більш ніж пропорційним приростом результату. Це свідчить про наявність потенціалу для розширення масштабів діяльності та підвищення ефективності використання ресурсів [10]. У практичному вимірі відповідні зміни можуть бути пов'язані з укрупненням виробництва, розвитком кооперації або поглибленням інтеграції ресурсів і виробничих процесів.

Спадна віддача від масштабу (DRS), навпаки, характеризує ситуацію, за якої подальше збільшення ресурсного забезпечення забезпечує менш ніж пропорційне зростання випуску. Такий результат може свідчити про перевищення економічно доцільного масштабу діяльності, що нерідко супроводжується ускладненням управління, зростанням координаційних і логістичних витрат та зниженням гнучкості виробничої системи [15].

Ефективність масштабу в аграрному секторі набуває особливого значення з огляду на специфіку виробничого процесу та обмеженість земельних ресурсів. Невідповідність фактичного масштабу господарювання економічно доцільному рівню може спричинити зниження результативності використання сільськогосподарських угідь, праці та капіталу. Важливу роль відіграє і технологічна складова, оскільки масштаби діяльності значною мірою визначають можливості підприємств щодо ефективного використання сучасної техніки, автоматизованих систем і ресурсозберігаючих технологій.

В умовах євроінтеграції проблематика ефективності масштабу набуває додаткового змісту, пов'язаного з адаптацією аграрного виробництва до вимог і стандартів європейського ринку. Раціонально сформований масштаб діяльності може сприяти зміцненню конкурентних позицій аграрних підприємств, підвищенню їх інвестиційної привабливості та створенню передумов для активнішого впровадження інновацій. У цьому контексті оптимізація масштабу виробництва виступає одним із важливих напрямів підвищення стійкості та результативності аграрного сектору.

Таким чином, ефективність масштабу в аграрному секторі відображає не лише технічні аспекти виробництва, але й стратегічні можливості розвитку. Вона слугує індикатором того, чи потрібно розширювати, скорочувати або реорганізовувати виробництво для досягнення максимальної економічної результативності.

Вхідні та вихідні змінні є базовими елементами моделей оцінювання ефективності, зокрема в межах Data Envelopment Analysis. Вони відображають процес трансформації ресурсів у результати діяльності. Вхідні змінні характеризують ресурси, які використовуються виробничими одиницями. До них належать усі фактори виробництва, що споживаються у процесі створення продукції. У аграрному секторі це можуть бути земля, праця та капітал. Також до входів відносять матеріальні витрати, енергію та добрива. Вхідні змінні визначають ресурсну базу виробництва. Вони формують витратну частину діяльності [9]. Їх правильний вибір є критично важливим для коректності оцінювання

ефективності. Вхідні показники повинні бути вимірюваними та порівнюваними. Водночас вони мають відображати реальні виробничі процеси. Вихідні змінні характеризують результати діяльності виробничих одиниць. Вони відображають обсяг отриманої продукції або послуг. У аграрному секторі це може бути валова продукція або додана вартість. Також до виходів належать врожайність та обсяги реалізації.

Вихідні змінні відображають досягнуті результати використання ресурсів. Вони формують дохідну частину діяльності. У DEA-моделях важливо забезпечити відповідність між входами та виходами. Це означає, що всі вибрані змінні повинні бути логічно пов'язані. Невідповідність може призвести до спотворення результатів. Вибір змінних залежить від мети дослідження. Під час оцінювання технічної ефективності доцільно орієнтуватися передусім на показники, що безпосередньо характеризують використання ресурсів і результати виробничого процесу. Для аналізу економічної ефективності ширше застосовуються вартісні характеристики витрат і результатів діяльності. Водночас вибір конкретного набору змінних значною мірою визначається доступністю та повнотою статистичних даних, оскільки обмеженість інформаційної бази може істотно впливати на коректність побудови моделі та інтерпретацію отриманих оцінок [9]. У сучасних дослідженнях використовують комбіновані набори змінних, що дає змогу більш повно відобразити процес виробництва. Окрему увагу приділяють нормалізації показників, оскільки такий підхід забезпечує їх порівняння.

У моделях оцінювання ефективності аграрного сектору особливого значення набуває обґрунтований вибір вхідних і вихідних змінних, оскільки саме вони визначають зміст виробничого процесу, що моделюється. До вхідних показників зазвичай відносять ресурси, безпосередньо залучені у виробництво: площу сільськогосподарських угідь, чисельність зайнятих, основний капітал, матеріальні та енергетичні витрати. Залежно від мети дослідження до складу ресурсних характеристик можуть також включатися інвестиції, державна підтримка та субсидії, якщо вони мають чітке економічне обґрунтування в межах обраної моделі.

Вихідні змінні характеризують результати використання ресурсного потенціалу. Найчастіше як результуючі показники застосовують обсяг валової продукції та додану вартість аграрного сектору. У розширених моделях можуть враховуватися також врожайність, обсяги експорту аграрної продукції, дохід або прибуток, а за відповідної постановки — екологічні характеристики як небажані результати виробництва. Водночас включення похідних показників, зокрема врожайності чи продуктивності праці, потребує окремого обґрунтування, особливо якщо до складу входів уже введено площу угідь або трудові ресурси.

Таким чином, формування системи вхідних і вихідних змінних має ґрунтуватися на меті дослідження, економічній логіці виробничого процесу, доступності та порівнянності статистичних даних. Коректно сформована структура показників є однією з основних передумов змістовної інтерпретації отриманих оцінок

ефективності.

У табл. 2 узагальнено ключові входні та вихідні

змінні, що використовуються для оцінювання ефективності аграрного сектору в межах DEA-підходу.

Таблиця 2

Рекомендована система входних та вихідних змінних для побудови DEA-моделей оцінювання ефективності аграрного сектору

Тип змінної	Показник	Економічний зміст	Одиниці виміру
Вхід	Площа сільськогосподарських угідь	Основний виробничий ресурс	га
Вхід	Кількість зайнятих	Трудові ресурси	осіб
Вхід	Основний капітал	Вартість техніки та обладнання	млн грн / євро
Вхід	Матеріальні витрати	Насіння, добрива, ЗЗР	млн грн / євро
Вхід	Енергетичні витрати	Паливо, електроенергія	тис. т н.е.
Вхід	Інвестиції	Капіталовкладення у сектор	млн грн / євро
Вхід	Державна підтримка	Субсидії, дотації	млн грн / євро
Вихід	Валова продукція	Загальний обсяг виробництва	млн грн / євро
Вихід	Додана вартість	Чистий економічний результат	млн грн / євро
Вихід	Врожайність	Результат з 1 га	ц/га або т/га
Вихід	Експорт агропродукції	Обсяг реалізації за кордон	млн дол.
Вихід	Прибуток	Фінансовий результат	млн грн / євро
Вихід	Продуктивність праці	Випуск на 1 працівника	грн/особу
Вихід	Обсяг виробництва продукції	Фізичний випуск	тис. тонн
Вихід	Викиди CO ₂	Негативний екологічний результат	тис. тонн

Джерело: розроблено авторами.

Моделювання ефективності масштабу функціонування аграрного сектору дозволяє виявити ключові резерви підвищення результативності використання ресурсів в умовах євроінтеграції. Ефективність масштабу функціонування аграрного сектору виступає важливим індикатором раціонального використання ресурсів. Вона дозволяє оцінити відповідність розміру виробництва оптимальним умовам господарювання. У сучасних умовах євроінтеграційних змін її значення суттєво зростає, що пов'язано з підвищенням вимог до конкурентоспроможності аграрної продукції.

Висновки. Проведене дослідження дало змогу обґрунтувати методологічні засади побудови DEA-моделей оцінювання ефективності масштабу аграрного сектору та визначити особливості їх застосування в умовах євроінтеграції. Показано, що непараметричний підхід Data Envelopment Analysis є доцільним для дослідження аграрного виробництва, оскільки дає змогу одночасно враховувати кілька видів ресурсів і результатів без попереднього задання функціональної форми виробничої залежності.

Поєднання CCR- та BCC-моделей забезпечує можливість розмежування технічної та масштабної складових ефективності. Порівняння оцінок, отриманих за припущень постійної та змінної віддачі від масштабу, дозволяє визначити ступінь відповідності фактичного масштабу виробництва його ефективному рівню та

виявити потенційні резерви підвищення результативності використання ресурсів. Важливою умовою коректного застосування DEA є обґрунтований вибір входних і вихідних змінних, їх економічна змістовність та порівнянність між досліджуваними виробничими одиницями.

У контексті євроінтеграції оцінювання ефективності масштабу набуває додаткового значення, оскільки оптимізація співвідношення між ресурсним забезпеченням і результатами виробництва безпосередньо пов'язана з підвищенням конкурентоспроможності аграрного сектору та його адаптацією до вимог європейського ринку. Запропонований методичний підхід може бути використаний як основа для подальших емпіричних досліджень із застосуванням фактичних даних аграрних підприємств, регіонів або країн та для визначення напрямів оптимізації масштабів виробництва.

Декларація щодо використання інструментів штучного інтелекту. У процесі підготовки статті було використано інструмент генеративного штучного інтелекту ChatGPT (OpenAI, версія GPT-5.6 Sol) виключно для технічних цілей, зокрема для уточнення перекладу англійської анотації та допомоги в оформленні списку використаних джерел. Автори несуть повну відповідальність за науковість, точність і цілісність змісту статті.

Список використаних джерел:

1. Bocean C. G. A cross-sectional analysis of the relationship between digital technology use and agricultural productivity in EU countries. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, No. 4. Art. 519. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14040519>
2. Bondarenko S. Transformation of Ukrainian agricultural exports in the context of military aggression. *Journal of Scientific Papers Social Development and Security*. 2024. Vol. 14, No. 3. Pp. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.9>

3. Chen X. The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Front. Plant Sci.* 2025. Vol. 16. Article 1675657. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
4. Chernyshova L., Bondar K. Formation of an innovative management model for agricultural enterprises based on modern production technologies and digital solutions. *Scientific Bulletin of the Odessa National Economic University*. 2025. Pp. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2025-10-335-7-17>
5. Cicciù B., Schramm F., Schramm V. B. Multi-criteria decision making/aid methods for assessing agricultural sustainability: A literature review. *Environmental Science & Policy*. 2022. Vol. 138. Pp. 85–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.09.020>
6. Physical size of farms by utilised agricultural area and legal form: dataset ef_fsi_physz. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ef_fsi_physz/default/table?lang=en (дата звернення: 04.05.2026).
7. Georgescu P.-L., Barbuta-Misu N., Zlati M. L., Fortea C., Antohi V. M. Quantifying the performance of European agriculture through the new European sustainability model. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, No. 2. Article 210. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15020210>
8. Ionescu R. V., Zlati M. L., Antohi V. M. A new approach on making European agriculture more efficient under uncertainty conditions. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 10. Article 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102559>
9. Kyshakevych B., Melnyk O., Maksyshko N., Maturin Y., Kotyk Y. Systemic issues and efficiency reserves in EU agriculture: a slack-based DEA approach. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2025. Vol. 11, No. 1. Pp. 46–73. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.02>
10. Sokol O., Frýd L. DEA efficiency in agriculture: Measurement unit issues. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2023. Vol. 86. Article 101497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101497>
11. Кишакевич Б. Ю., Демедюк Б. Т., Сисюк В. І. Цифровізація малого та середнього бізнесу: виклики та перспективи. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 2. С. 82–86. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.2.82>
12. Козловський Д., Олішевська А. Моделювання адаптивних сценаріїв до формування стратегії зовнішньоекономічної діяльності аграрного сектору України в умовах глобальної турбулентності. *Development Service Industry Management*. 2025. № 3. С. 42–49. DOI: [https://doi.org/10.31891/dsim-2025-11\(6\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2025-11(6))
13. Костирко Л., Соломатіна Т., Чернодубова Е., Хромьяк В. Аналіз і оцінка ефективності використання ресурсного потенціалу аграрних підприємств. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2020. Vol. 3, No. 34. Pp. 294–302. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptr.v3i34.215547>
14. Мамчур В., Осецький В., Білявська Ю., Уманців Г., Білявський В. Стратегічні напрями розвитку агробізнесу в Україні. *Економіка АПК*. 2025. Т. 32, № 1. С. 33–46. DOI: <https://doi.org/10.32317/ekon.apk/1.2025.33>
15. Степенко С., Лазаренко І. Застосування економіко-математичного моделювання для аналізу у галузі сільського господарства. *Економіка та суспільство*. 2021. № 33. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-33>

References:

1. Bocean, C. G. (2024). A cross-sectional analysis of the relationship between digital technology use and agricultural productivity in EU countries. *Agriculture*, 14(4), 519. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040519>
2. Bondarenko, S. (2024). Transformation of Ukrainian agricultural exports in the context of military aggression. *Journal of Scientific Papers Social Development and Security*, 14(3), 56–66. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.9>
3. Chen, X. (2025). The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, (16), Art. 1675657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
4. Chernyshova, L., & Bondar, K. (2025). Formation of an innovative management model for agricultural enterprises based on modern production technologies and digital solutions. *Scientific Bulletin of the Odessa National Economic University*, 7–17. <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2025-10-335-7-17>
5. Cicciù, B., Schramm, F., & Schramm, V. B. (2022). Multi-criteria decision making/aid methods for assessing agricultural sustainability: A literature review. *Environmental Science & Policy*, (138), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.09.020>
6. Eurostat. (2026). Physical size of farms by utilised agricultural area and legal form: Dataset ef_fsi_physz. Eurostat Data Browser. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ef_fsi_physz/default/table?lang=en
7. Georgescu, P.-L., Barbuta-Misu, N., Zlati, M. L., Fortea, C., & Antohi, V. M. (2025). Quantifying the performance of European agriculture through the new European sustainability model. *Agriculture*, 15(2), 210. <https://doi.org/10.3390/agriculture15020210>
8. Ionescu, R. V., Zlati, M. L., & Antohi, V. M. (2022). A new approach on making European agriculture more efficient under uncertainty conditions. *Agronomy*, 12(10), 2559. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102559>
9. Kyshakevych, B., Melnyk, O., Maksyshko, N., Maturin, Y., & Kotyk, Y. (2025). Systemic issues and efficiency reserves in EU agriculture: A slack-based DEA approach. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 11(1), 46–73. <https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.02>
10. Sokol, O., & Frýd, L. (2023). DEA efficiency in agriculture: Measurement unit issues. *Socio-Economic*

Planning Sciences, (86), 101497. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101497>

11. Kyshakevych, B. Yu., Demediuk, B. T., & Sysiuk, V. I. (2024). Tsyfrovizatsiia maloho ta serednoho biznesu: vyklyky ta perspektyvy [Digitalization of small and medium-sized businesses: challenges and prospects]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, (2), 82–86. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.2.82> [in Ukrainian].

12. Kozlovskiy, D., & Olishevskaya, A. (2025). Modeliuvannya adaptivnykh stsensariiv do formuvannya stratehii zovnishnoekonomichnoi diialnosti aharnoho sektoru Ukrainy v umovakh hlobalnoi turbulentnosti [Modeling adaptive scenarios for the formation of a foreign economic activity strategy of Ukraine's agricultural sector under global turbulence]. *Development Service Industry Management*, (3), 42–49. [https://doi.org/10.31891/dsim-2025-11\(6\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2025-11(6)) [in Ukrainian].

13. Kostyrko, L., Solomatina, T., Chernodubova, E., & Khromiak, V. (2020). Analiz i otsinka efektyvnosti vykorystannia resursnoho potentsialu aharnykh pidpriemstv [Analysis and assessment of the efficiency of using the resource potential of agricultural enterprises]. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 3(34), 294–302. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v3i34.215547> [in Ukrainian].

14. Mamchur, V., Osetskyy, V., Biliavska, Yu., Umantsiv, H., & Biliavskyy, V. (2025). Stratehichni napriamy rozvytku ahrobiznesu v Ukraini [Strategic directions for agribusiness development in Ukraine]. *Ekonomika APK*, 32(1), 33–46. <https://doi.org/10.32317/ekon.apk/1.2025.33> [in Ukrainian].

15. Stepenko, S., & Lazarenko, I. (2021). Zastosuvannya ekonomiko-matematychnoho modeliuvannya dlia analizu u haluzi silskoho hospodarstva [Application of economic and mathematical modelling for analysis in agriculture]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (33). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-33> [in Ukrainian].

Дата надходження статті: 06.08.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 18.09.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 01.10.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.