

УДК 330

Колесник Тетяна Василівна

*кандидат економічних наук, доцент,
завідувач кафедри адміністративного менеджменту
та альтернативних джерел енергії
Вінницький національний аграрний університет*

Kolesnyk Tetiana

*PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Administrative Management and Alternative Energy Sources
Vinnytsia National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-2061-3184*

Поліщук Ігор Вікторович

*аспірант
Вінницького національного аграрного університету*

Polishchuk Igor

*Postgraduate Student of the
Vinnytsia National Agrarian University
ORCID: 0009-0001-1111-9205*

**МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГО-
ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
КУЛЬТУРИ**

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE
ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF ENERGY CROP
PRODUCTION**

Анотація. Вступ. Сучасні виклики зумовили необхідність збереження природних ресурсів та забезпечення енергетичної безпеки, тому питання виробництва енергетичних культур набуває особливої актуальності. Вирощування енергетичних культур сприяє розвитку екологічно чистих джерел енергії, зменшенню залежності від традиційних викопних ресурсів, а також покращенню екологічного стану навколишнього середовища. Однак для забезпечення ефективного впровадження зазначених технологій в економічну діяльність необхідно проаналізувати науково обґрунтовані методичні підходи до оцінки їхньої еколого-економічної ефективності. У зв'язку з цим постає необхідність дослідження та обґрунтування методичних засад для комплексної оцінки еколого-економічних результатів вирощування енергетичних культур.

Мета. Метою статті є проведення комплексного аналізу методичних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур, виявлення основних критеріїв, які дозволяють оцінити економічні вигоди від вирощування енергетичних культур та їхній вплив на довкілля.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: нормативно-правова база, що стосується регулювання вирощування та оцінки еколого-економічної ефективності енергетичних культур; наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів, які вивчають питання екологічної та економічної ефективності виробництва енергетичних культур; аналітичні матеріали щодо впливу вирощування енергетичних культур на зміну структури земельного фонду; статистичні дані щодо виробництва біомаси, економічних витрат на вирощування енергетичних культур, а також екологічних наслідків їх вирощування.

У процесі дослідження було застосовано наступні наукові методи, зокрема аналіз і синтез, метод теоретичного узагальнення та систематизації — для вивчення та структурування наявних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур; метод порівняльного аналізу — для аналізу та зіставлення економічної ефективності різних видів енергетичних культур та їх екологічних переваг; системно-структурний аналіз — для визначення економічних та екологічних компонентів, які впливають на загальну ефективність системи виробництва енергетичних культур; метод логічного узагальнення — для формулювання висновків щодо економічних та екологічних вигод вирощування енергетичних культур.

Результати. У науковій статті проведено систематизацію енергетичних культур за типами, циклом вирощування та кінцевими продуктами, що дає змогу більш ефективно планувати їхнє використання для виробництва диференційованих біопалив, враховувати економічні та екологічні фактори при виборі оптимальних енергетичних культур. Встановлено, що кожен методичний підхід до визначення еколого-економічної ефективності виробництва енергетичної культури має свої специфічні переваги та недоліки, що взаємопов'язані з обсягом врахованих параметрів і деталізацією розрахунків, оскільки деякі формули орієнтовані на простий економічний аналіз, в той час як інші включають більше екологічних і соціальних аспектів, що у свою чергу підкреслює важливість комплексного підходу до оцінки ефективності, що враховує як матеріальні, так і нематеріальні аспекти. На основі проведеного дослідження встановлено, що вирощування енергетичних культур демонструє значні еколого-економічні переваги, які можуть сприяти як збереженню природних ресурсів, так і підвищенню енергоефективності.

Перспективи. В подальших наукових дослідженнях пропонується зосередити увагу на: детальному вивченні впливу енергетичних культур на екологічні системи, зокрема на стан ґрунтів і водних ресурсів; оцінити нові технології вирощування та переробки, які можуть сприяти зменшенню витрат і підвищенню продуктивності, а також важливо провести аналіз економічної доцільності енергетичних культур, включаючи вивчення ринкових цін і впливу державної політики на розвиток цього сектору.

Ключові слова: *еколого-економічна ефективність, енергетичні культури, виробництво біомаси, методичні підходи.*

Summary. *Introduction. Modern challenges have led to the need to preserve natural resources and ensure energy security, so the issue of energy crop production is becoming particularly relevant. Cultivation of energy crops contributes to the development of ecologically clean energy sources, reducing dependence on traditional fossil resources, and improving the ecological state of the environment. However, in order to ensure the effective implementation of these technologies in economic activity, it is necessary to analyze scientifically based methodological approaches to the assessment of their ecological and economic efficiency. In this connection, there is a need to research and justify the methodological principles for a comprehensive assessment of the ecological and economic results of growing energy crops.*

Purpose. The purpose of the paper is to carry out a comprehensive analysis of methodological approaches to assessing the ecological and economic efficiency of the production of energy crops, identifying the main criteria that allow assessing the economic benefits of growing energy crops and their impact on the environment.

Materials and methods. The materials of the research are: regulatory and legal framework related to the regulation of cultivation and assessment of the ecological and economic efficiency of energy crops; scientific works of domestic and foreign authors studying the issues of ecological and economic efficiency of the production of energy crops; analytical materials regarding the impact of growing energy crops on changing the structure of the land fund; statistical data on biomass production, economic costs of growing energy crops, as well as the environmental consequences of their cultivation.

In the research process, the following scientific methods were applied, including analysis and synthesis, the method of theoretical generalization and systematization — to study and structure existing approaches to assessing the ecological and economic efficiency of the production of energy crops; the method of comparative analysis — to analyze and compare the economic efficiency of various types of energy crops and their environmental benefits; system-structural analysis - to determine the economic and environmental components that affect the overall efficiency of the energy crop production system; the method of logical generalization — for formulating conclusions about the economic and ecological benefits of growing energy crops.

Results. The scientific paper systematizes energy crops by types, growing cycle and final products, which makes it possible to more effectively plan their use for the production of differentiated biofuels, take into account economic and environmental factors when choosing optimal energy crops. It has been established that each methodical approach to determining the ecological and economic efficiency of energy crop production has its own specific advantages and disadvantages, which are interconnected with the volume of parameters taken into account and the detail of calculations, since some formulas are focused on simple economic analysis, while others include more environmental and social aspects,

which in turn emphasizes the importance of a comprehensive approach to performance evaluation that takes into account both material and non-material aspects. On the basis of the conducted research, it was established that the cultivation of energy crops demonstrates significant ecological and economic advantages, which can contribute both to the preservation of natural resources and to the increase of energy efficiency.

Discussion. In further scientific research, it is proposed to focus attention on: a detailed study of the impact of energy crops on ecological systems, in particular on the condition of soils and water resources; evaluate new cultivation and processing technologies that can contribute to cost reduction and productivity growth, and it is also important to conduct an analysis of the economic feasibility of energy crops, including the study of market prices and the impact of public policy on the development of this sector.

Key words: *ecological and economic efficiency, energy crops, biomass production, methodical approaches.*

Постановка проблеми. Збільшення вартості викопного пального та стрімкий розвиток сучасних технологій стали ключовими факторами, що сприяють активному впровадженню енергетичних систем на основі застосування біомаси. Дані умови визначають нові вимоги до енергетичного сектору, зокрема до переходу на відновлювальні джерела енергії. Оскільки енергетичні системи забезпечують генерацію енергії через процеси спалювання, піролізу або газифікації біомаси, що у свою чергу суттєво підвищує енергоефективність та екологічну безпеку енергетичного сектору. Варто відзначити, що після значного зростання цін на природний газ у 2014 році, в Україні спостерігається різке збільшення кількості котелень, що використовують відновлювальні джерела енергії, зокрема, твердопаливні

котли, де даний приріст попиту на біопаливо створює проблему забезпечення сировини за економічно вигідними цінами [1]. Аналогічна ситуація спостерігається і у 2024 році, коли знову відзначається підвищення цін на викопне паливо, що веде до подальшого збільшення попиту на альтернативні джерела енергії та створює додаткові виклики для забезпечення стабільних поставок біомаси.

Ключовим чинником для успішного переходу на тверде біопаливо та розвитку біоенергетики є наявність локальних ресурсів біомаси. У країнах Західної Європи, а також у Скандинавських країнах (Фінляндія, Швеція, Норвегія), Польщі та Данії, енергетичні культури, такі як верба, тополя, павловнія, а також трав'яні культури, такі як міскантус, успішно використовуються як ефективна альтернатива лісовій біомасі [2]. Зазначені країни продемонстрували, що інтеграція енергетичних культур у енергетичні системи може істотно зменшити залежність від традиційних джерел палива, тим самим сприяючи скороченню викидів парникових газів і підвищенню екологічної стійкості. Використання місцевих біомасових ресурсів не лише сприяє розвитку біоенергетики, але й підтримує стійкий розвиток сільських регіонів, забезпечуючи додаткові економічні та екологічні вигоди. У цьому контексті стає особливо актуальним і необхідним проведення огляду наявних методичних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про зростаючий інтерес наукової спільноти до проблематики еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур. У роботі Кочара Г. і Чиваша Н. розглянуто поточний стан і перспективи розвитку біопалив, отриманих з енергетичних культур. Варто відзначити, що науковці акцентують увагу на важливій ролі цих культур у зменшенні залежності від

викопних паливних ресурсів і мінімізації екологічних наслідків їх використання, що є критичним чинником для забезпечення стійкого розвитку [1]. Столарський М. Ю., Нікса Д., Кшижаніак М., Творковський Ю. та Щуковський С. зосереджують своє дослідження на продуктивності верби в Польщі, аналізують довгострокові результати експериментальних плантацій і роблять висновки про економічну доцільність масштабного впровадження енергетичних культур, що має важливе значення для практичної реалізації таких технологій [2].

Українські дослідники також активно вивчають потенціал енергетичних культур. Чайка Т.О. та Яснолоб І.О. акцентують увагу на еколого-соціо-економічних перевагах вирощування енергетичних культур, підкреслюючи їхній внесок у збереження родючості ґрунтів і зменшення викидів парникових газів [5]. Зеленчук Н.В. досліджує фактори, що впливають на еколого-економічну ефективність виробництва біогазу в Україні, а також методи оцінки ефективності виробництва біопалив [6; 12]. Товстуха І.О. розглядає складники еколого-економічної ефективності отримання біопалив з біомаси, наголошуючи на важливості комплексної оцінки життєвого циклу енергетичних культур [7]. Публікації таких авторів, як Пришляк Н.В. [8], Романчук С.В. [9], та Логоша Р., Прилуцький А., Пронько Л., Колесник Т. [14], доповнюють методичні підходи до оцінки екологічної та економічної ефективності енергетичних культур, а також акцентують увагу на впровадженні інноваційних технологій і їхньому впливі на сільськогосподарське виробництво та енергетичний сектор. Проте, незважаючи на велику кількість оригінальних та змістових праць як зарубіжних, так і вітчизняних вчених з досліджуваної проблематики, слід визначити, що необхідно провести оцінку еколого-економічної ефективності

виробництва енергетичних культур, який має враховувати як економічні, так і екологічні аспекти.

Постановка завдання. Метою статті є проведення дослідження методичних підходів до визначення еколого-економічної ефективності виробництва енергетичної культури. Для досягнення мети визначено наступні завдання: провести класифікацію енергетичних культур за диференційованими ознаками; визначити методику розрахунку еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур; проаналізувати основні економічні та екологічні переваги виробництва енергетичних культур. При проведенні дослідження були використані загальнонаукові й спеціальні методи дослідження, зокрема аналіз і синтез, метод теоретичного узагальнення та систематизації, метод порівняльного аналізу, системно-структурний аналіз, метод логічного узагальнення тощо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Трактуювання категорії «енергетичні культури» в науковій літературі демонструє значну варіативність, що, в свою чергу, ускладнює формулювання єдиного підходу до стимулювання їх виробництва та використання. У загальноприйнятому розумінні, енергетичні культури визначаються як рослини, які спеціально вирощуються з метою використання їх як пального або для виробництва біопального. Ці культури становлять частину енергетичного землеробства, яке є новим підходом до сільськогосподарської діяльності, яке зосереджено на виробництві біомаси для енергетичних потреб [1].

Слід підкреслити, що енергетичні культури володіють значними перевагами, серед яких необхідно відзначити зменшення енергетичних витрат, зниження залежності від природного газу, декарбонізацію та покращення стану ґрунтів на деградованих територіях. Окрім цього, дана категорія культур протегує стимулюванню економічного розвитку шляхом

забезпечення підтримки сільських регіонів [2]. Важливою характеристикою цих культур є їх здатність вирощуватися на землях із низькою родючістю, що не створює конкуренції з продовольчими культурами, при цьому відповідаючи вимогам стійкості, передбаченим Директивою 2009/28/ЄС [3].

Країни ЄС демонструють значний інтерес до розвитку сектору з вирощування енергетичних культур. Лідером за кількістю земельних площ, виділених під енергетичні плантації, є Італія (57 тис. га), за якою слідують Польща (13 тис. га), Швеція (12 тис. га), Німеччина (11 тис. га), Данія (10 тис. га) та Фінляндія (8 тис. га) [4]. Застосування енергетичних культур у якості сировини для виробництва біопалива є ефективним та результативним засобом, що протегує оптимізації функціонування сільських територій. Значна чисельність таких культур є багаторічними, добре адаптованими до місцевих умов вирощування, а також спроможними забезпечувати високий рівень урожай біомаси, яка багата на лігнін, целюлозу, а у деяких видів — також на цукри та крохмаль, що робить їх перспективними для виробництва енергоємного біопалива [2].

Ключовим критерієм вибору енергетичних культур для культивування є їх продуктивність, яка визначається кліматичними, ґрунтовими та іншими факторами. Рациональне використання цих ресурсів здатне суттєво підвищити енергоефективність та забезпечити економічну доцільність вирощування біомаси для біоенергетики. В умовах розвитку біоенергетики надзвичайно важливим постає питання оптимального вибору енергетичних культур для забезпечення виробництва біомаси, придатної для переробки на біопаливо. В таблиці 1. представлена класифікація енергетичних культур, яка надає змогу систематизувати диференційовані види енергетичних культур у відповідності до їх біологічних особливостей, циклу вирощування, а також кінцевого продукту, що може бути отриманий внаслідок їх переробки.

Таблиця 1

Класифікація енергетичних культур за диференційованими ознаками

Ознака	Групи культур	Приклади культур	Призначення/Продукт
Цикл вирощування	Однорічні	Ріпак, соняшник, амарант, гірчак гострокінцевий, просо лозове	Культури з коротким циклом вирощування надають змогу одержувати сировину для біоенергетики протягом одного сезону, зокрема для виробництва біодизелю та біоетанолу.
	Багато-річні	Верба, тополя, біла акація, міскантус, цукровий очерет, горець сахалінський, румекс, мальва пенсильванська	Багаторічні культури, що забезпечують стабільний та тривалий вихід біомаси для виробництва твердого біопалива, електроенергії та рідких біопалив протягом кількох циклів вирощування.
Тип рослин	Дерево-подібні	Верба, біла акація, тополя	Застосовуються для виробництва лігноцелюлозної біомаси, що переробляється у тверде біопаливо, а також для генерації теплової та електричної енергії.
	Трав'янисті	Міскантус, просо прутіподібне, конопі, цукровий очерет, амарант, гірчак гострий, горець сахалінський, румекс	Трав'янисті культури застосовуються для одержання біоетанолу, твердих біопалив і біогазу, забезпечуючи високий вихід енергетичної сировини при низькій собівартості вирощування.
	Водорості	Хлорела, дуналієлла, батріококкус	Мікро- та макроводорості визначаються як перспективні джерела біомаси для виробництва біопалива, зокрема біодизелю, та застосовуються у технологіях біоконверсії вуглецю.
Характеристика та кінцевий продукт	Олійні	Ріпак, соняшник	Основні джерела олій для виробництва біодизелю, що мають високий вміст жирних кислот, необхідних для процесів трансестерифікації.
	Крохмале- та цукрововмісні	Цукровий буряк, кукурудза, пшениця, жито	Застосовуються як сировина для виробництва біоетанолу шляхом ферментації цукрів та крохмалю, що містяться у цих культурах.
	Лігноцелюлозні	Верба, тополя	Рослини, багаті на лігноцелюлозу використовуються для виробництва теплової та електричної енергії, а також для отримання рідких біопалив другого покоління.

Походження	Класичні енергетичні культури	Міскантус, двокісточник тростиноподібний	Спеціалізовані енергетичні культури, селекційно виведені для отримання високого рівня біомаси та енергії, використовувані переважно для виробництва твердих біопалив та біогазу.
	Сільсько-господарські культури подвійного призначення	Ріпак, цукровий буряк, кукурудза	Культури, що вирощуються для продовольчих цілей, а також для виробництва біопалив, що дозволяє оптимізувати їхнє використання на різних етапах життєвого циклу.

Джерело: узагальнено автором на основі [5; 6]

Отже, систематизація енергетичних культур за типами, циклом вирощування та кінцевими продуктами дає змогу більш ефективно планувати їхнє використання для виробництва диференційованих біопалив. Варто відзначити, що дана класифікація надає змогу враховувати економічні та екологічні фактори при виборі оптимальних культур, сприяючи підвищенню ефективності використання ресурсів і розвитку біоенергетики.

У сучасній економічній літературі концепція еколого-економічної ефективності характеризується неоднозначністю та недостатньою розробленістю. Зазвичай еколого-економічну ефективність визначають за допомогою спеціального індикатора [7], який має обмеження, оскільки враховує лише два аспекти еколого-економічної ефективності: економічний та екологічний. Зазначений підхід не бере до уваги нематеріальні ефекти, такі як соціальні наслідки, втрати біорізноманіття, а також погіршення якості водних ресурсів і атмосферного повітря, які не завжди можуть бути виражені у фінансових показниках. Вважаємо, що еколого-економічну ефективність виробництва енергетичних культур необхідно трактувати як інтеграцію матеріальних (економічних) та нематеріальних (екологічних, природно-

кліматичних, соціальних) результатів, що виникають внаслідок використання енергетичних культур як джерела енергії [8].

Еколого-економічна ефективність характеризується застосуванням різноманітних підходів і моделей, що відображають складність і багатовимірність цього поняття. Оцінка еколого-економічної ефективності відіграє ключову роль у визначенні екологічного впливу та економічної доцільності впровадження новітніх технологій. Врахування різних аспектів, зокрема економічних наслідків, екологічних витрат та соціальних ефектів, дозволяє сформулювати цілісне бачення ефективності виробництва та застосування енергетичних культур. В таблиці 2. представлені ключові методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва енергетичної культури.

Таблиця 2

Методика розрахунку еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур

Назва методу	Формула	Розшифрування показників	Опис
Еколого-економічний індикатор	$E = E0 - (A + B + C)$	$E0$ – загальноекономічний ефект суб'єкта господарювання;	Застосовується для оцінки економічної ефективності з урахуванням екологічних витрат і втрат, але не враховує нематеріальних екологічних ефектів.
		A – витрати на природоохоронні заходи;	
		B – втрати від пошкодження природного середовища;	
		C – вартість природних ресурсів.	
Методика визначення еколого-економічної ефективності (Романчук С.В.)	$EE = a * ((P - CB) * 3C) + (b * EK) + (c * 3B) / TC * 100\%$	a, b, c – вагові коефіцієнти для показника;	Оцінює комплексні економічні та екологічні ефекти, включаючи витрати на виробництво та економічні
		P – ціна реалізації природного газу на цукровому заводі з врахуванням усіх податків та зборів, транспортування тощо, грн/1 тис. м ³ ;	
		CB – собівартість виробництва	

		власного біогазу, грн/1 тис. м ³ ; ЗС – загальне споживання газу, необхідного для функціонування підприємства, тис. м ³ ; ТС – загальні витрати на виробництво продукції, грн; ЕК – економія коштів на зберігання та утилізацію відходів, грн; ЗВ – зменшення викидів CO ₂ (недопущені витрати, у зв'язку із застосуванням біогазу), грн.	вигоди, 3 урахуванням вагових коефіцієнтів для різних показників.
Енергетичний потенціал відходів сільськогосподарського виробництва	$P_e = c_r * k_r * k_t * k_e * k_{ce}$	P_e – енергетичний потенціал, тис. т у.п.; c_r – валовий збір с/г культури, тис. т; k_r – коефіцієнт відходів, який є різним для кожного виду культури; k_t – коефіцієнт технічної доступності відходів, який описує кількість соломи, котра може бути одержана за існуючої технології збирання культур; k_e – коефіцієнт енергетичного застосування відходів, що відображає частину відходів (соломи), яку можна застосувати з метою одержання енергії; k_{ce} – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.	Визначає потенціал відходів сільського господарства для використання в енергетичних цілях, враховуючи різні коефіцієнти, що характеризують доступність і ефективність використання відходів.
Оцінка впливу інновацій на прибуток	$АП = ХАЦП + АЦП + АЦ + АЦЕ + (АЕ/еК)$	АП – зміна прибутку; ХАЦП – зміна вартості і-го виду палива; АЦП – зміна вартості купленої теплової енергії; АЦ – зміна вартості спожитої електроенергії; АЦЕ – зміна частки платежів за забруднення довкілля; АЕ – зміна експлуатаційних витрат; е – внутрішня норма ефективності; К – капітальні витрати на реалізацію інновацій.	Аналізує зміни в прибутку підприємства в результаті впровадження енергозберігаючих технологій, враховуючи витрати на паливо, енергію, забруднення та експлуатацію.

Оцінка еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур на підприємствах АПК	$C_{\text{екон-екол}} = (E_{\text{в.е.}} + E_{\text{о.в.}} + B_{\text{р.д.}} + E_{\text{е.з.}} + B_{\text{р.}} + O_{\text{д.д.}}) - (B_{\text{м./T}} + B_{\text{в.}})$	$E_{\text{в.е.}}$ – економія витрат на енергоносіях, млн грн;	Оцінює комплексну економічну та екологічну ефективність виробництва біогазу, враховуючи економію витрат, вартість продукції, модернізацію та державні дотації.
		$E_{\text{о.в.}}$ – економія витрат основного виробництва за рахунок застосування енергетичних культур, млн грн;	
		$B_{\text{р.д.}}$ – вартість реалізованого дигестату, млн грн;	
		$E_{\text{е.з.}}$ – економія на екологічних заходах (утримання відстійників, зниження екологічних податків), млн грн;	
		$B_{\text{р.}}$ – вартість реалізованого біогазу або енергії, млн грн;	
		$B_{\text{м.}}$ – витрати на модернізацію підприємства, млн грн;	
		$B_{\text{в.}}$ – витрати на виробництво енергетичних культур, млн грн;	
		$O_{\text{д.д.}}$ – обсяг державних дотацій, грн;	
		T – амортизаційний строк використання установок, років.	
Індикатор зменшених витрат (RC)	$RC = C + E_n \cdot K$	C – поточні витрати;	Формула враховує поточні витрати (C) та капітальні інвестиції (K) із використанням нормативного коефіцієнта (E_n), що дозволяє визначити загальні зменшені витрати.
		K – капітальні інвестиції;	
		E_n – нормативний коефіцієнт абсолютної економічної ефективності.	

Джерело: узагальнено автором на основі [7; 9-15]

Аналіз представлених методичних підходів до визначення еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур надає змогу оцінити їхню дієвість та обмеження. Вважаємо за необхідність відзначити, що кожен методичний підхід має свої специфічні переваги та недоліки, що взаємопов'язані з обсягом врахованих параметрів і деталізацією розрахунків, оскільки деякі формули орієнтовані на простий економічний аналіз, в той час

як інші включають більше екологічних і соціальних аспектів, що у свою чергу підкреслює важливість комплексного підходу до оцінки ефективності, що враховує як матеріальні, так і нематеріальні аспекти.

Зазначимо, що культивування енергетичних культур відкриває широкий спектр суттєвих еколого-економічних переваг, які мають вагоме значення для забезпечення сталого розвитку аграрної галузі, раціонального використання природних ресурсів і підвищення економічної результативності енергетичного сектору. Основні переваги вирощування енергетичних культур полягають у можливості залучення малопродуктивних земель до господарського обороту, мінімізації екологічного впливу на довкілля та зниженні залежності від викопних паливних ресурсів (див. рис. 1).

Таким чином, вирощування енергетичних культур демонструє вагомі еколого-економічні переваги, які можуть сприяти збереженню природних ресурсів і підвищенню ефективності енергетичного виробництва. Використання низькопродуктивних земель, зменшення викидів парникових газів та інтеграція біомаси у сільськогосподарський цикл дозволяє забезпечити сталий розвиток біоенергетики в умовах сучасних викликів [16].

ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ	ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ
1. Використання низькопродуктивних і непродуктивних земель. Енергетичні культури (далі – ЕК) демонструють високу адаптивність до умов неродючих ґрунтів, що дозволяє їх вирощування на деградованих або малопродуктивних землях, які за інших умов залишалися б непридатними для с/г цілей. 2. Відновлення продуктивності земель. ЕК, зокрема багаторічні, сприяють покращенню ґрунтових умов за рахунок перегнивання опалого листя, яке діє як природне добриво, що може призвести до поступового відновлення продуктивності земель. 3. Запобігання збідненню ґрунтів. Використання соломи як сировини для біопалива сприяє виведенню значної кількості поживних речовин з ґрунту, що може призводити до його виснаження. Вчені відзначають, що щорічне вилучення близько 4 млн тонн соломи з полів України позбавляє ґрунт 168 кг/га азоту, фосфору та калію, що без належної компенсації призводить до засолювання та втрати родючості. Для попередження цих наслідків рекомендуємо замінити соломі ЕК, які сприяють збереженню ґрунтових ресурсів. 4. Збереження клімату та навколишнього середовища. Використання ЕК знижує залежність від природного газу та вугілля, що сприяє зменшенню забруднення довкілля та захисту клімату. 5. Зменшення викидів парникових газів. Вирощування ЕК сприяє скороченню викидів парникових газів, оскільки біомаса є відновлюваним джерелом енергії з нижчим вмістом вуглецю порівняно з традиційними викопними видами палива. 6. Скорочення вирубки лісів. Враховуючи низький рівень лісистості в Україні (близько 15% порівняно з 27% у Польщі та 70% у Фінляндії), вирощування ЕК може допомогти зменшити тиск на лісові ресурси	1. Висока ефективність вирощування та переробки. Енергетичні культури (далі – ЕК) забезпечують високий вихід біомаси на одиницю площі, що дозволяє отримувати значну кількість енергії на гектар. Використання всієї рослини, зокрема для виробництва біогазу, підвищує її економічний потенціал. Особливо ефективним є поєднання ЕК з органічними відходами, такими як гній, для виробництва біогазу, що підвищує загальну продуктивність біогазових заводів. 2. Скорочення витрат на логістику. Виробництво біоенергії на місцевому рівні дозволяє мінімізувати витрати на транспортування та зберігання сировини. Створення регіональних циклів переробки біомаси, зокрема через ферментацію відходів, сприяє підвищенню економічної ефективності та сталого розвитку. 3. Інтеграція у виробничий процес сільського господарства. ЕК можуть бути органічно інтегровані у традиційний с/г процес, використовуючи органічні рештки для виробництва біоенергії, що сприяє покращенню економічної ефективності с/г виробництва та зменшенню витрат на утилізацію відходів. 4. Заміна викопних видів палива. Масштабне вирощування ЕК, таких як міскантус, здатне замінити значну кількість вугілля та газу. Наприклад, 500 тис. гектарів міскантусу відповідають 6,5 млн тонн вугілля, що дозволяє суттєво знизити залежність від традиційних джерел

Рис. 1. Ключові економічні та екологічні переваги культивування енергетичних культур

Джерело: розроблено автором

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі проведеного дослідження можна дійти висновку, що методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур є ключовим інструментом для збалансованого розвитку аграрного сектору та енергетичної незалежності держави. Представлені в статті методичні підходи дозволяють інтегрувати економічні вигоди та екологічні наслідки у єдину систему оцінки, яка протегує прийняттю більш обґрунтованих рішень щодо розвитку біоенергетики. Встановлено, що виробництво енергетичних культур має значний потенціал для покращення енергетичної незалежності країни за рахунок виробництва відновлюваної енергії, ефективного використання непродуктивних земель та зменшення антропогенного впливу на довкілля.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розробки та вдосконалення методичних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур; аналізу потенціалу енергетичних культур у контексті їх економічної доцільності та екологічних переваг тощо. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні методичних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур, зокрема шляхом удосконалення моделей оцінки та інтеграції нових даних. Вважаємо за необхідність провести аналіз впливу різних типів енергетичних культур на довкілля і економіку в довгостроковій перспективі. Подальше вдосконалення методичних підходів до оцінки еколого-економічної ефективності виробництва енергетичних культур та їх широке впровадження у практику є важливим кроком для підвищення екологічної та економічної стійкості національної економіки.

Література

1. Koçar G., Civaş N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 28. P. 900–916.
2. Stolarski M.J., Niksa D., Krzyżaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S. Willow productivity from small- and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 101. P. 461–475.
3. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *European Union: website*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028> (дата звернення: 11.09.2024).
4. Eurostat: official website. 2020. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (дата звернення: 11.09.2024).
5. Чайка Т.О., Яснолоб І.О. Еколого-соціо-економічні переваги вирощування енергетичних культур. *Економіка АПК*. 2017. № 12. С. 28–34.
6. Зеленчук Н.В. Фактори впливу на еколого-економічну ефективність виробництва біогазу на підприємствах та в домогосподарствах України. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2024. Вип. 3(12). С. 47–51. doi: <https://doi.org/10.32782/dees.12-8>.
7. Товстуха І.О. Складники еколого-економічної ефективності отримання біопалива з біомаси. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2017. № 5(61). С. 166–171.
8. Пришляк Н.В. Методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва біопалив із агробіомаси. *Агросвіт*. 2021. № 12. С. 58–67. doi: [10.32702/23066792.2021.12.58](https://doi.org/10.32702/23066792.2021.12.58).
9. Романчук С.В. Методичні підходи до оцінки екологічної та економічної ефективності переробки відходів. *Економіка*

природокористування та охорони навколишнього середовища. 2015. Т. 5(167). С. 321–327.

10. Звіт «Енергетичний потенціал Миргородського району та оцінка наявних методик розрахунку». *Миргородська міська рада: вебсайт*. URL: <http://myrgorod.pl.ua/files/images/Madem/2.pdf> (дата звернення: 11.09.2024).

11. Hryhoruk I. Assessment of energy potential of agricultural residues. *Socio-Economic Problems of the Modern Period of Ukraine*. 2019. Vol. 140(6). P. 57–62. doi: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2019-6-10>.

12. Зеленчук Н.В. Методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на переробних підприємствах АПК України. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2023. № 27. С. 5–8. doi: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.27.2023.297212>.

13. Зеленчук Н.В. Оцінка сировинного потенціалу АПК для виробництва біогазу. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 23. С. 15–19. doi: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264623>.

14. Логоша Р., Прилуцький А., Пронько Л., Колесник Т. Організація системи внутрішнього маркетингу та маркетингу взаємодії сільськогосподарських підприємств з виробництва біодизеля на основі аналізу ланцюга створення вартості. *Журнал екологічного менеджменту та туризму*. 2023. Том XIV, Вип. 3(67). С. 823–841. doi: [https://doi.org/10.14505/jemt.v14.3\(67\).21](https://doi.org/10.14505/jemt.v14.3(67).21).

15. Мазур К.В., Гонтарук Я.В. Перспективи виробництва біогазу з відходів підприємств та домогосподарств на полігонах твердих побутових відходів. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2022. Вип. 2(35). С. 63–71. doi: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.35-9>.

16. Підвальна О.Г., Колесник Т.В. Впровадження інновацій в маркетингу агропромислових підприємств. *Приазовський економічний вісник*. 2022. № 2(31). С. 66–73. doi: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2022-2-11>.

References

1. Koçar, G., & Civaş, N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 900–916.

2. Stolarski, M.J., Niksa, D., Krzyżaniak, M., Tworowski, J., & Szczukowski, S. (2019). Willow productivity from small- and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 461–475.

3. Website of the European Union. (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>.

4. Eurostat: official website. (2020). Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.

5. Chaika, T.O., & Yasnolob, I.O. (2017). Ekoloho-sotsio-ekonomichni perevahy vyroshchuvannya enerhetychnykh kultur [Ecological, socio-economic advantages of growing energy crops]. *Ekonomika APK*, 12, 28–34 [in Ukrainian].

6. Zelenchuk, N.V. (2024). Faktory vplyvu na ekoloho-ekonomichnu efektyvnist vyrobnytstva biohazu na pidpriemstvakh ta v domohospodarstvakh Ukrainy [Factors affecting the ecological and economic efficiency of biogas production at enterprises and households in Ukraine]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka*, 3(12), 47–51. doi: <https://doi.org/10.32782/dees.12-8> [in Ukrainian].

7. Tovstukha, I.O. (2017). Skladnyky ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti otrymannia biopalyva z biomasy. [Components of the ecological and economic efficiency of obtaining biofuel from biomass]. *Problemy systemnoho pidkhodu v ekonomitsi*, 5(61), 166–171 [in Ukrainian].

8. Pryshliak, N.V. (2021). Metodychni pidkhody do vyznachennia ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti vyrobnytstva biopalyv iz ahrobiomasy [Methodical approaches to determining the ecological and economic efficiency of the production of biofuels from agrobiomass]. *Ahrosvit*, 12, 58–67. doi: 10.32702/23066792.2021.12.58 [in Ukrainian].

9. Romanchuk, S.V. (2015). Metodychni pidkhody do otsinky ekolohichnoi ta ekonomichnoi efektyvnosti pererobky vidkhodiv [Methodical approaches to assessing the ecological and economic efficiency of waste processing]. *Ekonomika pryrodokorystuvannia ta okhorony navkolyshnoho seredovyscha*, 5(167), 321–327 [in Ukrainian].

10. Myrhorod City Council website. Zvit "Enerhetychnyi potentsial Myrhorodskoho raionu ta otsinka naiavnykh metodyk rozrakhunku" [Report "Energy potential of Myrhorod district and assessment of available calculation methods"]. Retrieved from <http://myrgorod.pl.ua/files/images/Madem/2.pdf> [in Ukrainian].

11. Hryhoruk, I. (2019). Assessment of energy potential of agricultural residues. *Socio-Economic Problems of the Modern Period of Ukraine*, 140(6), 57–62. doi: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2019-6-10>.

12. Zelenchuk, N.V. (2023). Metodychni pidkhody do vyznachennia ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti vyrobnytstva biohazu na pererobnykh pidpriemstvakh APK Ukrainy [Methodical approaches to determining the ecological and economic efficiency of biogas production at the processing enterprises of the agricultural sector of Ukraine]. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi*

instytut», 27, 5–8. doi: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.27.2023.297212> [in Ukrainian].

13. Zelenchuk, N.V. (2022). Otsinka syrovynnoho potentsialu APK dlia vyrobnytstva biohazu [Assessment of the raw material potential of the agricultural sector for biogas production]. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*, 23, 15–19. doi: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264623> [in Ukrainian].

14. Lohosha, R., Prylutskyi, A., Pronko, L., & Kolesnyk, T. (2023). Orhanizatsiia systemy vnutrishnoho marketynhu ta marketynhu vzaiemodii silskohospodarskykh pidpriemstv z vyrobnytstva biodyzelia na osnovi analizu lantsiuha stvorennia vartosti [Organization of the system of internal marketing and marketing of interaction of agricultural enterprises for the production of biodiesel based on the analysis of the value chain]. *Zhurnal ekolohichnoho menedzhmentu ta turyzmu*, XIV, 3(67), 823–841. doi: [https://doi.org/10.14505/jemt.v14.3\(67\).21](https://doi.org/10.14505/jemt.v14.3(67).21) [in Ukrainian].

15. Mazur, K.V., & Hontaruk, Ya.V. (2022). Perspektyvy vyrobnytstva biohazu z vidkhodiv pidpriemstv ta domohospodarstv na polihonakh tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Prospects for the production of biogas from the waste of enterprises and households at solid household waste landfills]. *Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia*, 2(35), 63–71. doi: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.35-9> [in Ukrainian].

16. Pidvalna, O.H., & Kolesnyk, T.V. (2022). Vprovadzhennia innovatsii v marketynhu ahropromyslovykh pidpriemstv [Implementation of innovations in the marketing of agro-industrial enterprises]. *Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk*, 2(31), 66–73. doi: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2022-2-11> [in Ukrainian].