

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.
Ефективна економіка. 2026. № 5.
ISSN 2307-2105



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.5.117>

УДК 330.15:620.9:628.4

I. В. Мельничук,

*к. е. н., доцент, доцент кафедри прикладної економіки,
Івано-Франківський національний університет нафти і газу*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3425-2575>

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У СИСТЕМІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ РЕГІОНУ

I. Melnychuk,

*PhD in Economics, Associate Professor, Department of Applied Economics,
Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas*

ECONOMIC EFFICIENCY ASSESSMENT OF SECONDARY ENERGY RESOURCE UTILIZATION IN THE REGIONAL CIRCULAR ECONOMY

У статті досліджено економічну ефективність використання вторинних енергетичних ресурсів у системі циркулярної економіки регіону. Обґрунтовано методичний підхід, що поєднує оцінку енергетичного потенціалу відходів, економічних вигід від генерації енергії та уникнених витрат на їх захоронення. На прикладі Івано-Франківської області проведено розрахунок

інтегрального економічного ефекту впровадження технологій waste-to-energy. Встановлено, що використання ВЕР забезпечує значний позитивний економічний результат, зменшує екологічне навантаження та сприяє підвищенню енергетичної стійкості регіону. Водночас визначено високу капіталомісткість таких проєктів і необхідність залучення інвестиційних ресурсів та розвитку державно-приватного партнерства. Отримані результати можуть бути використані для формування ефективної регіональної політики у сфері управління відходами та розвитку циркулярної енергетики, а також для підтримки стратегічних інвестиційних рішень.

The article investigates the economic efficiency of secondary energy resources utilization within the circular economy framework at the regional level. The growing relevance of circular energy solutions is determined by the need to strengthen regional energy resilience, reduce dependence on conventional fossil-based energy sources, and minimize environmental pressures associated with waste disposal. The study substantiates a methodological approach to assessing the economic feasibility of waste-to-energy implementation based on the integration of energy potential estimation, monetary valuation of generated energy, avoided landfill disposal costs, and investment as well as operational expenditures.

The proposed methodological framework is tested using the case of Ivano-Frankivsk region of Ukraine. The empirical basis of the research includes official statistical data on waste generation and management for 2022–2024, average electricity tariffs, landfill disposal costs, and generalized technical-economic parameters of waste-to-energy facilities. The methodology provides a stepwise assessment including determination of available secondary energy resources, calculation of theoretical and useful energy output, estimation of revenues from electricity generation, identification of avoided waste disposal costs, and calculation of integral economic effect.

The results demonstrate that the average annual waste generation volume in the region reaches 682.6 thousand tons, of which approximately 35% can be

considered energetically suitable for recovery. The estimated useful electricity generation potential equals 145.8 million kWh annually. Under current market conditions, this energy volume can generate annual revenues of approximately UAH 874.8 million, while avoided landfill disposal costs add another UAH 77.6 million. Taking into account operational expenditures, the net annual economic effect is estimated at UAH 722.8 million.

The findings confirm the significant economic potential of secondary energy resources as an instrument of circular regional development. At the same time, the research identifies substantial capital intensity as a key limitation for large-scale deployment of waste-to-energy systems, emphasizing the necessity of external financing mechanisms and public-private partnerships. The study proves that secondary energy resource utilization contributes not only to economic gains but also to improved environmental performance, lower landfill dependence, and enhanced regional energy security.

The practical significance of the research lies in the possibility of applying the proposed methodological approach as an analytical tool for evidence-based regional policy formation, strategic planning of circular energy infrastructure, and investment decision-making. The obtained results may serve as a scientific basis for developing sustainable waste management strategies and promoting circular energy transformation in Ukrainian regions under conditions of energy transition and increasing ecological challenges.

Ключові слова: *циркулярна економіка, вторинні енергетичні ресурси, перетворення відходів на енергію, економічна ефективність, регіональні енергетичні системи, енергетична стійкість, управління відходами, сталий розвиток.*

Keywords: *circular economy, secondary energy resources, waste-to-energy, economic efficiency, regional energy systems, energy resilience, waste management, sustainable development.*

Вступ. У сучасних умовах енергетичної трансформації та посилення екологічних викликів особливої актуальності набуває впровадження принципів циркулярної економіки, що передбачає ефективне використання ресурсів, зокрема вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР). Для регіонів України використання ВЕР є важливим інструментом підвищення енергетичної стійкості, зменшення залежності від традиційних енергоресурсів та мінімізації екологічного навантаження.

Проведені раніше дослідження ресурсного потенціалу ВЕР на регіональному рівні підтверджують наявність значної сировинної бази, сформованої потоками відходів, а також виявляють структурні диспропорції у системі поводження з ними. Водночас оцінка лише ресурсного потенціалу є недостатньою для обґрунтування практичних рішень щодо впровадження ВЕР-технологій.

Ключового значення набуває оцінка економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів, яка дозволяє визначити доцільність їх інтеграції у регіональні енергетичні системи, оцінити економічні вигоди від енергетичного відновлення відходів та сформувані підґрунтя для прийняття інвестиційних рішень.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розроблення науково обґрунтованих підходів до оцінки економічної ефективності ВЕР у системі циркулярної економіки регіону з урахуванням специфіки формування відходів, вартості енергоресурсів та уникнених витрат на їх захоронення.

Метою статті є оцінка економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів у системі циркулярної економіки регіону та обґрунтування доцільності їх впровадження на прикладі Івано-Франківської області.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підкреслюють, що економічна ефективність технологій енергетичного відновлення відходів залежить від інтеграції всього ланцюга створення вартості — від збору та

логістики відходів до генерації енергії. Зокрема, у роботі [1] доведено, що інтегровані системи WtE забезпечують підвищення енергетичної ефективності до 60% та значне зниження витрат за рахунок оптимізації потоків ресурсів.

У роботі [2] обґрунтовано, що муніципальні тверді відходи можуть виступати важливим відновлюваним джерелом енергії, однак ефективність WtE-проектів значною мірою залежить від рівня розвитку інфраструктури, якості сортування відходів та економічних умов їх впровадження.

Дослідження показують, що ефективність впровадження циркулярної економіки залежить не лише від технологічних рішень, а й від інституційної взаємодії між стейкхолдерами. Зокрема, у роботі [3] доведено, що відсутність узгодженого механізму розподілу відповідальності та витрат є одним із ключових бар'єрів реалізації проектів у сфері управління відходами.

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється використанню оптимізаційних моделей для підвищення ефективності систем управління відходами у межах циркулярної економіки. Зокрема, запропоновані підходи враховують взаємодію між ключовими учасниками системи — муніципалітетами та переробними підприємствами, що дозволяє розглядати управління відходами як інтегрований ланцюг створення вартості, у якому відходи трансформуються у енергетичні та матеріальні ресурси [4].

Водночас результати досліджень свідчать, що муніципальні відходи мають значний енергетичний потенціал (0,13–0,38 т нафтового еквіваленту на тонну), а впровадження технологій енергетичного відновлення дозволяє скоротити їх обсяг на 50–90% та частково компенсувати енергетичний дефіцит [5]. Проте ефективність таких рішень залежить від комплексу факторів, зокрема технологічних характеристик, вартості інвестицій та операційних витрат, а також організаційно-економічних умов їх впровадження.

Це підтверджує необхідність переходу від оцінки ресурсного потенціалу до кількісного визначення економічної ефективності використання ВЕР на регіональному рівні.

З огляду на проведений аналіз наукових підходів та виявлену необхідність кількісного обґрунтування доцільності використання вторинних енергетичних ресурсів, доцільним є формування методичного підходу до оцінки їх економічної ефективності на регіональному рівні. Запропонована методика базується на поєднанні енергетичного та економічного підходів і передбачає оцінку: потенційного обсягу генерації енергії з відходів; економічного ефекту від її реалізації; уникнутих витрат на захоронення відходів; інвестиційних та операційних витрат впровадження ВЕР-технологій.

Методи та інформаційна база. Інформаційною базою дослідження виступили офіційні статистичні дані щодо утворення та поводження з відходами в Івано-Франківській області, оприлюднені Головне управління статистики в Івано-Франківській області, а також наукові публікації у сфері циркулярної економіки та технологій waste-to-energy. Додатково використано середньоринкові значення тарифів на електроенергію, вартості захоронення відходів та узагальнені техніко-економічні параметри енергетичних установок.

Оцінка економічної ефективності здійснюється шляхом поетапного перетворення потоків відходів у енергетичний ресурс із подальшою монетизацією отриманої енергії та врахуванням витрат на впровадження відповідних технологій.

Методичний підхід до оцінки економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів

Запропонований методичний підхід передбачає послідовну реалізацію таких етапів:

1. Оцінка потенціалу вторинних енергетичних ресурсів регіону

На даному етапі визначається загальний обсяг відходів, що можуть бути використані як енергетичні ресурси, та розраховується їх енергетичний потенціал.

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$E_{\text{пот}} = \sum Q_i * k_i * q_i \quad (1)$$

де Q_i - обсяг i -го виду відходів,

k_i - коефіцієнт енергетичного використання,

q_i - теплота згоряння.

2. Визначення можливого обсягу виробництва енергії з ВЕР

На основі енергетичного потенціалу розраховується кількість теплової та/або електричної енергії, яку можна отримати з вторинних ресурсів з урахуванням ККД технологій переробки.

3. Оцінка економічного ефекту від реалізації енергії

Розраховується потенційний дохід від реалізації отриманої енергії за ринковими тарифами:

$$E_{\text{дохід}} = E_{\text{вир}} * T \quad (2)$$

де $E_{\text{вир}}$ - обсяг виробленої енергії,

T - тариф на енергію.

4. Розрахунок уникнутих витрат на поводження з відходами

Визначається економія коштів, пов'язана зі зменшенням обсягів захоронення або утилізації відходів:

$$E_{\text{екон}} = V_{\text{відх}} * C_{\text{зах}} \quad (3)$$

де $V_{\text{відх}}$ - обсяг відходів,

$C_{\text{зах}}$ - вартість захоронення одиниці відходів.

5. Визначення сукупних витрат на впровадження технологій ВЕР

Оцінюються інвестиційні витрати (будівництво, обладнання) та операційні витрати (експлуатація, обслуговування).

6. Розрахунок інтегрального економічного ефекту

Загальний ефект визначається як різниця між вигодами та витратами:

$$E_{\text{інт}} = (E_{\text{дохід}} + E_{\text{екон}}) - (I + O)$$

(4)

де I - інвестиційні витрати,

O - операційні витрати.

7.Оцінка доцільності впровадження

Проект вважається економічно доцільним за умови $E_{int} > 0$ додатково можуть застосовуватися показники рентабельності або терміну окупності.

Запропонована модель базується на використанні усереднених техніко-економічних параметрів та передбачає низку припущень. Зокрема, не враховано сезонну нерівномірність утворення відходів, логістичні витрати на їх транспортування, а також можливі зміни тарифної політики. Розрахунок має сценарний характер і може бути уточнений при наявності детальніших локальних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Таблиці вихідних даних для розрахунку економічної ефективності ВЕР Івано-Франківської області, 2022–2024 рр. наведено нижче.

1. Статистичні та розрахункові дані

До цієї групи належать показники утворення, оброблення та захоронення відходів. Вони формують фактичну базу ресурсів, яка визначає масштаб потенційного енергетичного використання. Саме ці дані є вихідною точкою для розрахунку енергетичного потенціалу та обсягів сировини для WtE-технологій.

Таблиця 1. Статистичні та розрахункові дані Івано-Франківської області за 2022-2024 роки

Показник	2022	2023	2024
Утворені відходи, тис. т	650,0	729,2	668,5
Полігонне захоронення, тис. т	146,5	168,6	202,5
Відновлені відходи, тис. т	453,0	512,0	706,3
Спалені відходи, тис. т	45,8	58,4	171,0

2. Технологічні параметри, що приймаємо для розрахунку

До цієї групи належать показники утворення, оброблення та захоронення відходів. Вони формують фактичну базу ресурсів, яка визначає масштаб потенційного енергетичного використання. Саме ці дані є вихідною точкою для розрахунку енергетичного потенціалу та обсягів сировини для WtE-технологій.

Таблиця 2. Технологічні дані Івано-Франківської області за 2022-2024 роки

Показник	Значення	Пояснення
Частка енергетично придатних відходів	0,35	середнє значення для ТПВ (наукові джерела, IPCC/IEA)
Теплота згоряння відходів	10 МДж/кг	середній показник для змішаних ТПВ
ККД установок WtE	0,22	типові установки спалювання/енергоутилізації
Частка захоронення, що може бути заміщена	фактична (з таблиці)	статистичні дані
Коефіцієнт переведення енергії	0,277 кВт·год/МДж	фізичний еквівалент

3. Економічні параметри

Третя група характеризує фінансові умови реалізації проєкту. Вона включає тарифи на електроенергію, вартість захоронення та інвестиційні витрати. Саме ці показники дозволяють перевести енергетичні результати у грошову форму економічного ефекту.

Таблиця 3. Економічні дані Івано-Франківської області за 2022-2024 роки

Показник	Значення	Пояснення
Частка енергетично придатних відходів	0.35	середнє значення для ТПВ (наукові джерела, IPCC/IEA)
Теплота згоряння відходів	10 МДж/кг	середній показник для змішаних ТПВ
ККД установок WtE	0.22	типові установки спалювання/енергоутилізації
Частка захоронення, що може бути заміщена	фактична (з таблиці)	статистичні дані

Саме інтеграція цих трьох груп дозволяє сформувати комплексну модель оцінки доцільності впровадження циркулярних енергетичних рішень на регіональному рівні.

Для апробації запропонованого методичного підходу проведено розрахунок економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів на прикладі Івано-Франківської області за період 2022–2024 років. Вихідною інформаційною базою виступили статистичні дані щодо утворення та поводження з відходами, оприлюднені Головним управлінням статистики в Івано-Франківській області.

Аналіз показав, що обсяг утворених відходів у регіоні характеризується відносною нестабільністю: у 2022 році він становив 650,0 тис. т, у 2023 році зріс до 729,2 тис. т, після чого у 2024 році знизився до 668,5 тис. т. Середнє значення за період становить 682,6 тис. т, що й прийнято як базовий обсяг для подальших розрахунків енергетичного потенціалу.

Відповідно до методики, частина відходів може бути залучена до енергетичного використання. З урахуванням середнього коефіцієнта придатності 0,35, маса енергетично доступних відходів становить близько 238,9 тис. т. Подальше оцінювання здійснювалося із використанням середньої теплоти згоряння твердих побутових відходів на рівні 10 МДж/кг, що відповідає даним профільних наукових досліджень у сфері waste-to-energy технологій.

У результаті розраховано загальний енергетичний потенціал, який становить приблизно 2,389 млрд МДж. З урахуванням середнього коефіцієнта корисної дії енергетичних установок на рівні 22%, корисний вихід енергії оцінено у 526 млн МДж, що еквівалентно приблизно 145,8 млн кВт·год електроенергії.

Економічна оцінка реалізації отриманої енергії здійснювалася за середнім промисловим тарифом електроенергії в Україні на рівні близько 6 грн/кВт·год. За таких умов потенційний дохід від реалізації виробленої енергії становить близько 874,8 млн грн на рік. Додатково враховано екологічно-економічний ефект від зменшення обсягів захоронення відходів на полігонах. За середньої вартості захоронення близько 450 грн/т та

середнього обсягу захоронення 172,5 тис. т, економія витрат оцінюється на рівні 77,6 млн грн щорічно.

Водночас важливим елементом оцінки є визначення витрат на впровадження відповідної інфраструктури. На основі узагальнених даних щодо аналогічних проєктів у сфері waste-to-energy встановлено, що питомі інвестиційні витрати становлять близько 12 000 грн на одну тонну річної потужності. Таким чином, загальний обсяг капітальних інвестицій оцінюється на рівні 2,87 млрд грн. Операційні витрати, які включають експлуатацію та обслуговування, прийнято на рівні 8% від інвестицій, що становить приблизно 229,6 млн грн на рік.

Інтегральний економічний ефект визначається як різниця між сукупними вигодами та витратами. У даному випадку сумарні вигоди (дохід від реалізації енергії та уникнені витрати на захоронення) становлять 952,4 млн грн на рік, тоді як операційні витрати — 229,6 млн грн. Відповідно, чистий економічний ефект дорівнює приблизно 722,8 млн грн щорічно.

Отриманий чистий економічний ефект у розмірі 722,8 млн грн на рік свідчить про високий потенціал використання вторинних енергетичних ресурсів у регіоні. У структурі ефекту домінує дохід від генерації енергії, що підтверджує доцільність розвитку саме енергетичних технологій утилізації відходів. Водночас значна частка інвестиційних витрат вказує на капіталомісткий характер таких проєктів та необхідність залучення зовнішнього фінансування або державно-приватного партнерства.

Реалізація запропонованого методичного підходу дозволила виконати комплексну оцінку економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) на прикладі Івано-Франківської області за 2022–2024 роки.

На першому етапі встановлено, що середній обсяг утворених відходів у регіоні становить 682,6 тис. т, що формує базовий ресурсний потенціал для енергетичного використання. З урахуванням частки придатних до

енергетичного відновлення відходів (0,35) енергетично доступний обсяг становить близько 238,9 тис. т.

Розрахунок енергетичного потенціалу здійснювався на основі середньої теплоти згоряння ТПВ (10 МДж/кг), що дозволило оцінити загальний потенціал на рівні 2,389 млрд МДж. Подальше врахування ККД установок WtE (0,22) забезпечило визначення корисного енергетичного виходу у розмірі 526 млн МДж або 145,8 млн кВт·год електроенергії.

Переведення енергетичного результату у вартісну форму показало, що потенційний дохід від реалізації електроенергії за середнім тарифом 6 грн/кВт·год становить 874,8 млн грн/рік. Додатковий економічний ефект формується за рахунок уникнених витрат на захоронення відходів і становить 77,6 млн грн/рік.

Сукупний позитивний ефект (дохід + уникнені витрати) становить 952,4 млн грн/рік. Водночас оцінені витрати на впровадження WtE-інфраструктури (інвестиції та операційні витрати) дорівнюють 3,099 млрд грн (2,87 млрд грн + 229,6 млн грн/рік операційних витрат).

Інтегральний економічний ефект визначено на рівні 722,8 млн грн/рік, що підтверджує економічну доцільність впровадження технологій енергетичного відновлення відходів у регіоні.

Отримані результати узгоджуються з сучасними науковими підходами, які розглядають WtE-технології як елемент інтегрованих циркулярних систем. Зокрема, підтверджується положення про те, що основний економічний ефект формується за рахунок генерації енергії, тоді як додатковий ефект забезпечується скороченням витрат на поводження з відходами.

Водночас результати демонструють високу капіталомісткість таких проектів, що є ключовим обмежувальним фактором їх масштабування. Це підтверджує необхідність розвитку механізмів державно-приватного партнерства та залучення інвестиційних ресурсів для реалізації циркулярних енергетичних рішень.

Додатково слід зазначити, що ефективність системи значною мірою залежить від рівня розвитку інфраструктури сортування та збору відходів, що прямо впливає на частку енергетично придатної фракції.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У результаті проведеного дослідження розроблено та апробовано методичний підхід до оцінки економічної ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів у системі циркулярної економіки регіону.

Проведені розрахунки для Івано-Франківської області за 2022–2024 роки показали, що використання енергетичного потенціалу відходів забезпечує формування суттєвого економічного ефекту на рівні 722,8 млн грн щорічно.

Встановлено, що основним джерелом економічної вигоди є виробництво енергії з відходів, тоді як додатковий ефект формується за рахунок скорочення витрат на їх захоронення. Водночас впровадження WtE-технологій характеризується високою капіталомісткістю, що обмежує темпи їх масштабування та потребує залучення інвестиційних механізмів, зокрема державно-приватного партнерства.

Отримані результати підтверджують економічну доцільність розвитку системи вторинних енергетичних ресурсів у регіоні та її значення як інструменту підвищення енергетичної стійкості й реалізації принципів циркулярної економіки.

Запропонований підхід може бути використаний як аналітичний інструмент для обґрунтування регіональної політики у сфері управління відходами та планування інвестицій у WtE-інфраструктуру.

Література

1. Aslan N., Salman O., Konakci R., Akan A. P. Circular economy approach to promote sustainable energy from waste // *Sustainable Futures*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101238>

2. Malav L. C., Yadav K. K., Gupta N., Kumar S., Sharma G. K., Krishnan S., Rezania S., Kamyab H., Pham Q. B., Yadav S., Bhattacharyya S., Yadav V. K., Bach Q.-V. A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities // *Journal of Cleaner Production*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123227>
3. Silva W. D. O., Morais D. C. Transitioning to a circular economy in developing countries: A collaborative approach for sharing responsibilities in solid waste management of a Brazilian craft brewery // *Journal of Cleaner Production*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128703>
4. Allevi E., Gnudi A., Konnov I. V., Oggioni G. Municipal solid waste management in circular economy: A sequential optimization model // *Energy Economics*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105383>
5. Munir M. T., Mohaddespour A., Nasr A. T., Carter S. Municipal solid waste-to-energy processing for a circular economy in New Zealand // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 145. Art. 111080. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111080>

References

1. Aslan, N., Salman, O., Konakci, R. and Akan, A.P. (2025), “Circular economy approach to promote sustainable energy from waste”, *Sustainable Futures*. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101238>
2. Malav, L.C., Yadav, K.K., Gupta, N., Kumar, S., Sharma, G.K., Krishnan, S., Rezania, S., Kamyab, H., Pham, Q.B., Yadav, S., Bhattacharyya, S., Yadav, V.K. and Bach, Q.-V. (2020), “A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities”, *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123227>
3. Silva, W.D.O. and Morais, D.C. (2021), “Transitioning to a circular economy in developing countries: A collaborative approach for sharing

responsibilities in solid waste management of a Brazilian craft brewery”, *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128703>

4. Allevi, E., Gnudi, A., Konnov, I.V. and Oggioni, G. (2021), “Municipal solid waste management in circular economy: A sequential optimization model”, *Energy Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105383>

5. Munir, M.T. Mohaddespour, A. Nasr, A.T. and Carter, S. (2021), “Municipal solid waste-to-energy processing for a circular economy in New Zealand”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111080>

Отримано редакцією журналу / Received: 06.05.26

Прорецензовано / Revised: 18.05.26

Дата публікації / Published: 26.05.26