

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-290-4-90-97>

УДК 621.31,332.31

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ ТА МАТЕРІАЛІВ У КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Мельничук І.В., Возний В.З.

ECONOMIC ASPECTS OF THE USE OF SECONDARY RESOURCES AND MATERIALS IN THE CONTEXT OF CIRCULAR ENERGY

Melnychuk I. V., Voznyi V.Z.

Використання вторинних ресурсів у формуванні сталих енергетичних систем є важливим для розвитку сучасної економіки, оскільки сприяє зменшенню залежності від викопних джерел енергії, зниженню рівня забруднення довкілля та оптимізації ресурсокористування. Зростаючий попит на енергію та виснаження природних ресурсів роблять циркулярні підходи до енергетики необхідністю, а використання відходів як ефективних енергоносіїв і інтеграція інноваційних технологій перетворюють вторинні ресурси на ключовий елемент сталого розвитку. Сучасні тренди замкнених енергетичних систем орієнтовані на цифровізацію управління енергетичними потоками, використання штучного інтелекту для підвищення ефективності переробки вторинних ресурсів.

Прикладом є країни G7, що інвестують в інноваційні енергоефективні технології та оптимізують логістичні ланцюги для зменшення відходів. Концепція Circular Energy зосереджується на максимальному зменшенні відходів і технологіях переробки, перепрофілювання і рециклінгу в енергетичних системах, підкреслюючи важливість сталого розвитку. Додатково, ефективне управління вторинними ресурсами дозволяє значно скоротити викиди парникових газів, зменшити навантаження на природні екосистеми та підвищити рівень енергетичної незалежності країн.

Стимулювання цього сектору містить податкові пільги, субсидії та екологічні норми, які сприяють економічній ефективності індустрії. Також уряди та міжнародні організації розробляють нові регуляторні механізми, спрямовані на розширення можливостей використання вторинних ресурсів та покращення технологій їх переробки. Зокрема,

інвестиції в дослідження і розвиток сприяють створенню нових матеріалів з покращеними енергетичними характеристиками, що можуть ефективно замінювати традиційні викопні ресурси. Наведені аспекти підкреслюють вплив вторинних ресурсів на формування сталих економічних моделей, зниження витрат виробництва і підвищення енергоефективності в сучасній промисловості. Використання циркулярних принципів в енергетиці є ключовим фактором для досягнення кліматичних цілей та забезпечення довгострокової екологічної стійкості.

Ключові слова: циркулярна енергетика, сталий розвиток, економічні аспекти, енергетична ефективність, бізнес моделі

Вступ. Використання вторинних ресурсів у формуванні сталих енергетичних систем є важливим напрямом розвитку сучасної економіки, оскільки сприяє зменшенню залежності від викопних джерел енергії, зниженню рівня забруднення довкілля та оптимізації ресурсокористування. Зростаючий попит на енергію та виснаження природних ресурсів роблять циркулярні підходи до енергетики необхідністю, а не просто трендом. Використання відходів у якості енергоносіїв, рециклінг матеріалів та інтеграція інноваційних технологій перетворюють вторинні ресурси на ключовий елемент сталого розвитку. Це особливо актуально для промислово розвинених країн та тих, що прагнуть досягти енергетичної

незалежності, знижуючи викиди парникових газів і покращуючи ефективність виробництва.

Сучасні тренди у сфері сталих енергетичних систем акцентують увагу на розвитку технологій замкненого циклу, цифровізації управління енергетичними потоками та впровадженні штучного інтелекту для підвищення ефективності використання вторинних ресурсів. Такі країни, як Німеччина, Швеція та Нідерланди, активно розвивають концепцію "waste-to-energy", використовуючи органічні відходи для генерації біогазу та синтетичного палива [1]. Крім того, глобальні ініціативи щодо зменшення пластикового забруднення стимулюють створення технологій для переробки полімерних матеріалів у паливо або сировину для прийняття нових енергетичних рішень. Усе це вказує на те, що використання вторинних ресурсів є не лише екологічно доцільним, а й економічно вигідним шляхом до сталого енергетичного майбутнього.

Метою цієї статті є аналіз економічних аспектів впровадження принципів циркулярної економіки та циркулярної енергетики у промисловості, а також визначення ключових механізмів стимулювання сталого розвитку цього сектора

Виклад основного матеріалу дослідження Згідно зі звітом World Cities Report [2], більше 3/4 світової енергії споживається містами, і вони викидають більше 3/5 викидів ПГ (парникових газів). Пандемія COVID-19 кинула міжнародні та національні ініціативи в хаос. Хоча поки що неможливо повністю оцінити наслідки пандемії, вона, безсумнівно, скоротила світове економічне виробництво [3]. Щоб допомогти економіці відновитися, багато урядів лише частково послабили карантинні заходи. За даними Міжнародного валютного фонду, у 2020 році світова економіка впала на 3% [4].

Країни G7 маючи жорсткі закони та політику, готові інвестувати в енергоефективні технології виробництва з меншими викидами та виробництвом відходів. Крім того, дотримуючись принципів циркулярної економіки, промисловість у таких країнах прагне мінімізувати свої відходи в ланцюгах поставок. Впровадження методів економічного виробництва та наявність потужної симбіотичної мережі та зворотної логістичної інфраструктури означає менше утворення відходів. Усі ці заходи лежать в основі інновацій зелених технологій, спрямованих на запобігання деградації навколишнього середовища,

збереження природних ресурсів і залучення до передових процесів виробництва та переробки [5]. Результати таких заходів, тобто впровадження стійких технологій, що супроводжуються діяльністю з виробництва та споживання чистої енергії, мають потенціал для досягнення 90% цілей щодо зменшення деградації навколишнього середовища у світі [6]. Однак у цьому відношенні роль екологічних норм вважається дуже важливою, що може бути можливим завдяки суворій екологічній політиці. Однак проблема країн Великої сімки полягає у відсутності синергії дій при такому різноманітному формулюванні та реалізації політики [7]. Прикладом такої політики може бути накладення податку на викиди вуглецю на нестабільну виробничу та транспортну діяльність. Інші політики включають виробництво та споживання чистіших енергетичних технологій. У цьому випадку значну увагу приділяється таким технологіям відновлюваної енергії, як вітрова, сонячна, біомаса, гідро- та геотермальна. Вважається, що впровадження відновлюваних джерел енергії в G-7 допоможе вирішити проблеми погіршення навколишнього середовища, а також забезпечити енергетичну безпеку.

Circular Energy означає системний підхід до використання енергії, відхід від лінійних моделей споживання до замкнутих систем.

Ця концепція зосереджена на мінімізації відходів і максимальному збільшенні ефективності використання ресурсів у рамках енергетичних циклів. Він наголошує на повторному використанні, перепрофілюванні та переробці енергетичних ресурсів і матеріалів, спрямованих на зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення доступності ресурсів у довгостроковій перспективі. Основна ідея полягає в розробці енергетичних систем, які відновлюють ресурси, а не виснажують їх, сприяючи більш сталому та стійкому енергетичному майбутньому.

Термін «циркулярна енергія» є неологізмом, який прямо відображає його основні принципи. «Циркуляр» базується на концепції циркулярної економіки, наголошуючи на замкнутих системах і циклах, на відміну від лінійних моделей «бери-зроби-викидай». «Енергія» стосується енергії, отриманої з фізичних або хімічних ресурсів, яка використовується для роботи машин або забезпечення тепла чи світла. Поєднання цих термінів лінгвістично означає енергетичну систему, призначену для роботи в циклах,

віддзеркалюючи природні екосистеми, де ресурси постійно використовуються повторно. Його поява пов'язана зі зростаючим усвідомленням обмеженості ресурсів і потреби в екологічних практиках.

У рамках сталого розвитку Circular Energy є життєво важливим компонентом для досягнення екологічного балансу та безпеки ресурсів. Він безпосередньо стосується проблем, пов'язаних із виснаженням енергії, забрудненням від виробництва енергії та утворенням відходів. Пропагуючи відновлювані джерела енергії та ефективне зберігання енергії, циркулярність мінімізує залежність від обмеженого викопного палива. Крім того, він заохочує інноваційні технології та практики, які зменшують споживання енергії та відновлюють енергію з потоків відходів. Цей підхід робить значний внесок у пом'якшення зміни клімату та сприяння більш екологічно відповідальному енергетичному сектору.

Circular Energy охоплюють різні сектори, включаючи міське планування, промислові процеси та дизайн продукції. Промисловість запроваджує замкнуті виробничі процеси, які відновлюють і повторно використовують енергію. Дизайн продукції все більше зосереджується на довговічності, ремонтпридатності та переробці, щоб подовжити життєвий цикл продукції та мінімізувати енергію, втілену в новому виробництві. Інтелектуальні мережі та рішення для накопичення енергії також забезпечують ефективний розподіл і використання відновлюваної енергії, підвищуючи циркулярність потоків енергії у більших масштабах [8].

Відповідно до вищенаведеної інформації, результатів наукових досліджень, тенденцій застосування інструментів циркулярної економіки можна сформулювати наступні економічні аспекти, що мають місце в результаті використання вторинних ресурсів і матеріалів (рис.).

Розглянемо наведені аспекти в секторі промисловості.

Зниження собівартості виробництва у промисловості через використання вторинних ресурсів у контексті циркулярної енергетики є одним із ключових економічних факторів сталого розвитку. Переробка та повторне використання матеріалів дозволяє підприємствам суттєво скоротити витрати на закупівлю первинної сировини, яка часто є дорогою через обмеженість природних ресурсів і витрати на їх видобуток та транспортування. Використання відходів як енергетичних або виробничих ресурсів знижує витрати на їх утилізацію, а також дозволяє скоротити енергоспоживання завдяки менш енергоємним технологіям переробки у порівнянні з первинним виробництвом. Наприклад, повторне використання металобрухту у металургії дозволяє зменшити витрати електроенергії на виплавку сталі, а застосування переробленого пластику в пакувальній промисловості знижує собівартість продукції за рахунок зменшення витрат на нафтохімічні компоненти. Прикладом може бути Fincumet – провідна компанія з переробки металу у Фінляндії, що спеціалізується на брухті, металевих відходах,



Рис. Економічні аспекти використання вторинних ресурсів в контексті циркулярної енергетики

кабелях і батареях. Розташована поблизу Ікаалінена, вона налічує 43 працівники та з 2018 року працює як дочірня компанія Fortum. Fortum – це міжнародна корпорація, зосереджена на енергетиці, яка відповідає за логістику та постачання Fincumet. Fortum активно розширює сектор переробки та нещодавно відкрила завод з переробки батарей в Ікаалінен. Fortum розпочинає діяльність у сфері переробки електронних відходів, а Fincumet надає для цього спеціалізовані потужності. Компанія прагне створити прибуткову та екологічно стійку систему переробки відходів шляхом оцінки та можливого розширення діяльності [9]. Окрім цього, циркулярні бізнес-моделі, що передбачають довший життєвий цикл матеріалів та продуктів, допомагають підприємствам оптимізувати витрати на виробництво, зберігання і транспортування, підвищуючи загальну ефективність промисловості та сприяючи стійкому економічному розвитку.

Енергетична ефективність у промисловості через використання вторинних ресурсів у контексті циркулярної енергетики є важливим чинником зниження енергоспоживання та оптимізації виробничих процесів. Використання перероблених матеріалів часто потребує значно менше енергії, ніж виробництво з первинної сировини. Наприклад, Алюміній є матеріалом, що може перероблятися нескінченну кількість разів [10-13]: сьогодні близько 75% усього алюмінію, виробленого за всю історію – майже один мільярд метричних тонн – усе ще перебуває в використанні [14,15]. Переробка передбачає переплавлення металу, що потребує лише 5% енергії, необхідної для виробництва нового алюмінію з бокситової руди [16], а повторне використання скла та паперу дозволяє скоротити витрати енергії на відповідні виробничі процеси. За даними Федерального агентства з навколишнього середовища Німеччини, виробництво переробленого паперу заощаджує в середньому 78 відсотків води, 68 відсотків енергії та 15 відсотків викидів CO₂ порівняно з папером, виготовленим із так званої первинної целюлози – зазвичай деревини [17]. Крім того, відходи, які раніше утилізувалися, можуть слугувати вторинними енергетичними ресурсами, наприклад, біогаз із органічних відходів чи паливні брикети з відходів деревини, що дозволяє зменшити залежність від викопного палива. У промисловості це також сприяє підвищенню енергоефективності виробництва шляхом впровадження замкнених циклів використання ресурсів, скорочення втрат енергії

та застосування сучасних технологій рекуперації тепла. Таким чином, циркулярна енергетика сприяє не лише зменшенню енергетичних витрат, а й формуванню більш стійкої та економічно ефективної промислової моделі.

Формування нових ринків та бізнес-моделей у промисловості завдяки використанню вторинних ресурсів у контексті циркулярної енергетики відкриває значні можливості для сталого економічного розвитку. Перехід до замкнених циклів виробництва стимулює появу нових секторів, таких як ринок вторинної сировини, переробки та рециклінгу, а також енергетичного використання відходів. Наприклад, компанії можуть спеціалізуватися на зборі та переробці матеріалів, виробництві продукції з вторинної сировини або постачанні відновлюваних енергоресурсів, отриманих із відходів. Водночас бізнес-моделі змінюються від традиційного лінійного підходу до сервісних концепцій, таких як моделі «продукт як послуга» або орієнтація на спільне використання ресурсів. Це сприяє зниженню вартості володіння продукцією, підвищенню ефективності використання матеріалів та створенню нових робочих місць. Крім того, цифрові технології, такі як блокчейн та штучний інтелект, допомагають оптимізувати процеси обміну ресурсами між підприємствами та підвищують прозорість ланцюгів поставок у циркулярній економіці. Таким чином, використання вторинних ресурсів стимулює розвиток інноваційних рішень та трансформацію промислових ринків у напрямку сталого розвитку. Зменшення екологічних податків і штрафів – перехід на вторинні ресурси дозволяє компаніям мінімізувати екологічні збори та витрати на утилізацію відходів.

Зменшення екологічних податків і штрафів є одним із вагомих економічних стимулів для підприємств, що впроваджують використання вторинних ресурсів у контексті циркулярної енергетики. Багато країн застосовують політику "забруднювач платить", яка передбачає значні податкові зобов'язання для компаній, що генерують великі обсяги відходів або використовують традиційні, неекологічні джерела енергії. До прикладу **Китай** – запровадив систему оплати за забруднення з 2003 року, а в 2018 році змінив її на податок на викиди (Law of the People's Republic of China on Environmental Protection Tax). **Європейські країни** (Німеччина, Італія, Швеція,

Швейцарія, Велика Британія) – активно використовують податки на викиди вуглецю, щоб зменшити викиди CO₂. **США** – з 1971 року впроваджує екологічні податки, такі як податок на викиди сполук сірки та оксиду азоту, поступово створивши розвинену систему екологічного оподаткування. **Польща** – з 1970 року ввела податки на екологію та ресурси, щоб стимулювати компанії до екологічно відповідальної поведінки [23].

Перехід до циркулярної моделі виробництва дозволяє підприємствам скоротити обсяги промислових відходів, зменшити споживання первинної сировини та відповідно мінімізувати екологічний слід, що сприяє зниженню податкового навантаження. Крім того, уряди багатьох країн пропонують податкові пільги, субсидії та знижені ставки для підприємств, що впроваджують інноваційні технології з переробки ресурсів та енергоефективного виробництва. Це не тільки допомагає зекономити кошти на виплатах державі, а й підвищує фінансову стійкість компаній, дозволяючи інвестувати в подальший розвиток сталого виробництва. Як приклад, **Японія** – субсидує екологічні проекти компаній (субсидує діяльність компаній з розвитку електроенергетики з десульфурації димових газів), надає субсидії пов'язані з кількістю скорочень викидів [19]. **Австралія** – створила фонд скорочення викидів (emission reduction fund), що підтримує компанії, які інвестують у зменшення забруднення [20].

Державні стимули та фінансова підтримка відіграють ключову роль у розвитку промисловості, орієнтованої на використання вторинних ресурсів у контексті циркулярної енергетики. Оскільки перехід до замкнених виробничих циклів вимагає значних початкових інвестицій, уряди багатьох країн запроваджують різні механізми фінансової підтримки, спрямовані на стимулювання підприємств до використання відновлюваних матеріалів та енергозберігаючих технологій. Це включає податкові пільги, субсидії, гранти та державні програми фінансування проєктів у сфері циркулярної економіки. Наприклад, у країнах ЄС діють наступні ініціативи:

1. Net-Zero Industry Act (NZIA) – передбачає інвестиції у виробничі потужності для стратегічних технологій із нульовим рівнем викидів, включаючи батареї, паливні елементи, біогаз, уловлювання та зберігання вуглецю. Заплановані інвестиції: 92 млрд євро у 2023-2030 рр.

2. RepowerEU – передбачає 41 млрд євро на адаптацію промисловості до меншого використання викопного палива, що може стимулювати використання вторинних ресурсів.

3. Zero Pollution Action Plan – спрямований на скорочення забруднення, передбачає щорічні інвестиції в розмірі 100-150 млрд євро, значна частина яких спрямована на заходи з попередження забруднення та контролю [18]

Крім того, держави активно розробляють нормативно-правові акти, які зобов'язують підприємства зменшувати кількість відходів та підвищувати рівень їх утилізації. Зелений промисловий план для ери Net-Zero – спрямований на розвиток чистих технологій та зменшення залежності від імпорту, що може включати стимулювання промисловості з вторинною переробкою ресурсів. Європейський зелений курс (EGD) – містить положення про підтримку сталого виробництва та переробки, що також може охоплювати промисловість із вторинною переробкою [18]. Також ініціативи такі як «зелені» тендери, в яких державні замовлення віддаються компаніям із високим рівнем екологічної відповідальності, стимулюють розвиток індустрії вторинних ресурсів. Окремим напрямком є підтримка досліджень та розробок у сфері циркулярної енергетики, що дозволяє створювати нові технології з більш ефективним використанням ресурсів. Комплексна державна підтримка сприяє не лише екологічній модернізації промисловості, а й підвищенню її конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Залучення інвестицій та підвищення конкурентоспроможності в промисловості, що використовує вторинні ресурси, є ключовими чинниками розвитку циркулярної енергетики. Впровадження технологій переробки відходів та повторного використання матеріалів відкриває можливості для залучення приватного капіталу та міжнародних фондів, які підтримують сталий розвиток. Інвестори все більше зацікавлені у фінансуванні підприємств, що впроваджують екологічно чисті та енергоефективні рішення, оскільки це відповідає глобальним тенденціям ESG (екологічного, соціального та корпоративного управління). Наприклад, Ellen MacArthur Foundation діє з 2010 року, отримала початкове фінансування в розмірі 6 мільйонів фунтів стерлінгів від п'яти її засновників: B&Q, British Telecom, Cisco, National Grid та Renault. У травні 2017 року фонд започаткував програму підтримки та фінансування інновацій у галузі

управління пластиковими відходами, створивши призовий фонд у розмірі 2 мільйонів доларів США. Організація пропагує принципи циркулярної економіки серед своїх партнерів, зосереджуючи увагу на мінімізації відходів через повторне використання, ремонт і переробку. Такий підхід є основою сталого, замкнутого циклу, що подовжує термін служби продуктів і упаковки, знижуючи необхідність у переробці чи утилізації [21]. Closed Loop Partners: інвестиційна компанія, яка зосереджена на циркулярній економіці, фінансує інновації у сфері переробки та повторного використання матеріалів, проекти з перетворення відходів на енергію та екологічне пакування. У 2024 року Closed Loop Partners' Ventures Group здійснила повторну інвестицію в Earthodic, компанію, що базується в Брісбені та створює біо-основні покриття для паперової упаковки. Це фінансування підтримує розширення компанії на ринку США. Загальна сума раунду фінансування становила 4 мільйони доларів США, хоча конкретна сума інвестиції від Closed Loop Partners не розголошується [22].

Водночас підприємства, що впроваджують циркулярні моделі виробництва, отримують конкурентні переваги завдяки зниженню витрат на сировину, енергозбереженню та відповідності жорстким екологічним стандартам. Це не лише покращує їхній імідж на міжнародних ринках, а й відкриває нові можливості для співпраці з транснаціональними корпораціями, урядами та екологічними організаціями. У результаті такі підприємства стають більш стійкими до ринкових коливань, отримують доступ до нових споживчих сегментів та підвищують свою прибутковість у довгостроковій перспективі.

Отже, існує достатньо економічних важелів, які дозволяють промисловості діяти більш свідомо та ефективно в рамках концепцій циркулярної економіки та циркулярної енергетики. Використання ресурсоефективних технологій, вторинної сировини та відновлюваної енергії може сприяти як зменшенню екологічного навантаження, так і підвищенню економічної стійкості підприємств. Такі зміни можуть бути підтримані державою через субсидії, податкові стимули та фінансування досліджень, а також інвесторами, які готові вкладати кошти у сталі інноваційні проекти. Взаємодія бізнесу, держави та наукової спільноти є ключовою для забезпечення переходу до більш екологічно відповідальної та економічно вигідної моделі виробництва.

Література

1. Zupančič, M., Možic, V., Može, M., Cimerman, F., & Golobič, I. Current status and review of waste-to-biogas conversion for selected European countries and worldwide // *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 3. P. 1823. DOI: 10.3390/su14031823.
2. World cities report: The value of sustainable urbanization [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf.
3. Long, A., & Ascent, D. World Economic Outlook. – International Monetary Fund, 2020.
4. Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., & Friedlingstein, P. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement // *Nat. Climate Change*. 2020. Vol. 10, No. 7. P. 647–653.
5. Sharif, A., Saqib, N., Dong, K., & Khan, S. A. R. Nexus between green technology innovation, green financing, and CO₂ emissions in the G7 countries: the moderating role of social globalization // *Sustainable Development*. 2022. Vol. 30, No. 6. P. 1934–1946.
6. Afshan, S., Ozturk, I., & Yaqoob, T. Facilitating renewable energy transition, ecological innovations and stringent environmental policies to improve ecological sustainability: evidence from MM-QR method // *Renewable Energy*. 2022. Vol. 196, No. 1. P. 151–160.
7. Sarfraz, M. et al. The relationship between firms' financial performance and performance measures of circular economy sustainability: an investigation of the G7 countries // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2023. Vol. 36, No. 1. P. 2545–2572.
8. Sustainability Satelites [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energy.sustainability-directory.com/area/circular-energy/>.
9. Shopeju, O. Optimization of recycling processes for industrial metal waste (Bachelor's thesis, Savonia University of Applied Sciences) // *Theseus* [Електронний ресурс]. 2024. – Режим доступу: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/864572/Shopeju_Olakunle.pdf?sequence=2.
10. Gutowski, T. G., Sahni, S., Allwood, J. M., Ashby, M. F., & Worrell, E. The energy required to produce materials: Constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand // *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2013. Vol. 371. DOI: 10.1098/rsta.2012.0003.
11. Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J. P., Buchert, M., Hagelüken, C., & Reck, B. K. What do we know about metal recycling rates? // *J. Ind. Ecol.* 2011. Vol. 15. P. 355–66. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00342.x.
12. Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T., & Reck, B. K. On the materials basis of modern society // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2015. DOI: 10.1073/pnas.1312752110.

13. Reck, B. K., & Graedel, T. E. Challenges in metal recycling // *Science* (80-). 2012. Vol. 337. P. 690–5. DOI: 10.1126/science.1217501.
14. Dahmus, J. B., & Gutowski, T. G. What gets recycled: An information theory based model for product recycling // *Environ. Sci. Technol.* 2007. Vol. 41. P. 7543–50. DOI: 10.1021/es062254b.
15. Schlesinger, M. The Recycling Industry // *Alum. Recycl.* 2006. P. 163–70. DOI: 10.1201/9781420006247.ch11.
16. Schlesinger, M. E. Aluminum recycling: Second edition. 2013. DOI: 10.1201/b16192.
17. Wellenreuther, F., Detzel, A., Krüger, M., & Busch, M. Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapier: Spotlight Report / за участі Früh, S., Wagener, R., Grünwasser, S., Wolf, F., Schönheit, E., & Trauth, J. – Heidelberg: ifeu, 2022. – Umweltbundesamt.
18. European Environment Agency (EEA). Investments into the Sustainability Transition [Електронний ресурс]. 2024. – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/publications/investment-s-into-the-sustainability-transition>.
19. Inui, T. Protecting the global environment: Initiatives by Japanese business. – World Bank Publications, 2002.
20. Bian, J. S., & Zhao, X. Tax or subsidy? An analysis of environmental policies in supply chains with retail competition // *European Journal of Operational Research.* 2020. Vol. 283. P. 901-914. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.01.038.
21. Swallow, T. Ellen MacArthur Foundation's Influence on Circular Economy // *Sustainability.* 2024. February 19.
22. Closed Loop Partners. Closed Loop Partners doubles down on investment in Earthodic, advancing coating alternatives for paper packaging // *PR Newswire* [Електронний ресурс]. 2024. – Режим доступу: <https://www.prnewswire.com/news-releases/closed-loop-partners-doubles-down-on-investment-in-earthodic-advancing-coating-alternatives-for-paper-packaging-302303546.html>.
23. Yi, Y., Wang, Y., Fu, C., & Li, Y. Taxes or subsidies to promote investment in green technologies for a supply chain considering consumer preferences for green products // *Computers & Industrial Engineering.* 2022. Vol. 165. P. 108371. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108371.
3. Long, A., & Ascent, D. World Economic Outlook. – International Monetary Fund, 2020.
4. Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., & Friedlingstein, P. Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement // *Nat. Climate Change.* 2020. Vol. 10, No. 7. P. 647–653.
5. Sharif, A., Saqib, N., Dong, K., & Khan, S. A. R. Nexus between green technology innovation, green financing, and CO2 emissions in the G7 countries: the moderating role of social globalization // *Sustainable Development.* 2022. Vol. 30, No. 6. P. 1934-1946.
6. Afshan, S., Ozturk, I., & Yaqoob, T. Facilitating renewable energy transition, ecological innovations and stringent environmental policies to improve ecological sustainability: evidence from MM-QR method // *Renewable Energy.* 2022. Vol. 196, No. 1. P. 151-160.
7. Sarfraz, M. et al. The relationship between firms' financial performance and performance measures of circular economy sustainability: an investigation of the G7 countries // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja.* 2023. Vol. 36, No. 1. P. 2545-2572.
8. Sustainability Satelites [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energy.sustainability-directory.com/area/circular-energy/>.
9. Shopeju, O. Optimization of recycling processes for industrial metal waste (Bachelor's thesis, Savonia University of Applied Sciences) // *Theseus.* – 2024. – Режим доступу: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/864572/Shopeju_Olakunle.pdf?sequence=2.
10. Gutowski, T. G., Sahni, S., Allwood, J. M., Ashby, M. F., & Worrell, E. The energy required to produce materials: Constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand // *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2013. Vol. 371. DOI: 10.1098/rsta.2012.0003.
11. Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J. P., Buchert, M., Hagelüken, C., & Reck, B. K. What do we know about metal recycling rates? // *J. Ind. Ecol.* 2011. Vol. 15. P. 355–66. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00342.x.
12. Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T., & Reck, B. K. On the materials basis of modern society // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2015. DOI: 10.1073/pnas.1312752110.
13. Reck, B. K., & Graedel, T. E. Challenges in metal recycling // *Science* (80-). 2012. Vol. 337. P. 690–5. DOI: 10.1126/science.1217501.
14. Dahmus, J. B., & Gutowski, T. G. What gets recycled: An information theory based model for product recycling // *Environ. Sci. Technol.* 2007. Vol. 41. P. 7543–50. DOI: 10.1021/es062254b.
15. Schlesinger, M. The Recycling Industry // *Alum. Recycl.* 2006. P. 163–70. DOI: 10.1201/9781420006247.ch11.

References

1. Zupančič, M., Možic, V., Može, M., Cimerman, F., & Golobič, I. Current status and review of waste-to-biogas conversion for selected European countries and worldwide // *Sustainability.* 2022. Vol. 14, No. 3. P. 1823. DOI: 10.3390/su14031823.
2. World cities report: The value of sustainable urbanization. – 2020. – Режим доступу: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf.

16. Schlesinger, M. E. Aluminum recycling: Second edition. 2013. DOI: 10.1201/b16192.
17. Wellenreuther, F., Detzel, A., Krüger, M., & Busch, M. Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapier: Spotlight Report / за участі Früh, S., Wagener, R., Grünwasser, S., Wolf, F., Schönheit, E., & Trauth, J. – Heidelberg: ifeu, 2022. – Umweltbundesamt.
18. European Environment Agency (EEA). Investments into the Sustainability Transition. – 2024. – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/publications/investment-s-into-the-sustainability-transition>.
19. Inui, T. Protecting the global environment: Initiatives by Japanese business. – World Bank Publications, 2002.
20. Bian, J. S., & Zhao, X. Tax or subsidy? An analysis of environmental policies in supply chains with retail competition // European Journal of Operational Research. 2020. Vol. 283. P. 901-914. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.01.038.
21. Swallow, T. Ellen MacArthur Foundation's Influence on Circular Economy // Sustainability. 2024. February 19.
22. Closed Loop Partners. Closed Loop Partners doubles down on investment in Earthodic, advancing coating alternatives for paper packaging // PR Newswire. – 2024. – Режим доступу: <https://www.prnewswire.com/news-releases/closed-loop-partners-doubles-down-on-investment-in-earthodic-advancing-coating-alternatives-for-paper-packaging-302303546.html>.
23. Yi, Y., Wang, Y., Fu, C., & Li, Y. Taxes or subsidies to promote investment in green technologies for a supply chain considering consumer preferences for green products // Computers & Industrial Engineering. 2022. Vol. 165. P. 108371. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108371

Melnychuk I.V., Voznyi V. Z. Economic aspects of the use of secondary resources and materials in the context of circular energy

The use of secondary resources in the formation of sustainable energy systems is important for the development of a modern economy, as it contributes to reducing dependence on fossil energy sources, reducing environmental pollution and optimizing resource use. The growing demand for energy and depletion of natural resources make circular approaches to energy a

necessity, and the use of waste as an efficient energy carrier and the integration of innovative technologies turn secondary resources into a key element of sustainable development. Modern trends in closed energy systems are focused on the digitalization of energy flow management, the use of artificial intelligence to increase the efficiency of processing secondary resources. An example is the G7 countries that invest in innovative energy-efficient technologies and optimize logistics chains to reduce waste. The Circular Energy concept focuses on the maximum reduction of waste and processing, repurposing and recycling technologies in energy systems, emphasizing the importance of sustainable development. Additionally, effective management of secondary resources allows to significantly reduce greenhouse gas emissions, reduce the burden on natural ecosystems and increase the level of energy independence of countries.

Stimulation of this sector includes tax breaks, subsidies and environmental regulations that contribute to the economic efficiency of the industry. Also, governments and international organizations are developing new regulatory mechanisms aimed at expanding the possibilities of using secondary resources and improving their processing technologies. In particular, investments in research and development contribute to the creation of new materials with improved energy characteristics that can effectively replace traditional fossil resources.

The above aspects emphasize the impact of secondary resources on the formation of sustainable economic models, reducing production costs and increasing energy efficiency in modern industry. The use of circular principles in energy is a key factor in achieving climate goals and ensuring long-term environmental sustainability.

Keywords: circular energy, sustainable development, economic aspects, energy efficiency, business models

Мельничук Іванна Василівна – к.е.н., доцент кафедри прикладної економіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Возний Василь Зеновійович – аспірант спеціальності 051 Економіка, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Стаття подана 13.04.2025.