

DOI: <https://doi.org/10.32689/2523-4536/79-5>
УДК 338.2

Карінцева О.І.

доктор економічних наук, завідувачка кафедри економіки,
підприємництва та бізнес-адміністрування,
Сумський державний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9570-3646>

Кубатко О.В.

доктор економічних наук, професор,
доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування,
Сумський державний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6396-5772>

Балагуровська І.О.

аспірантка кафедри управління,
Сумський державний університет

Дейнека А.В.

аспірант,
Сумський державний університет

Karintseva Oleksandra

Doctor of Economics, Head of the Department of Economics,
Entrepreneurship and Business Administration,
Sumy State University

Kubatko Oleksandr

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Associate Professor of the Department of Economics,
Entrepreneurship and Business Administration,
Sumy State University

Balagurovska Inna

Postgraduate Student of the Department of Management,
Sumy State University

Deineka Andrii

Postgraduate Student,
Sumy State University

СЕСТЕЙНОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ЧЕРЕЗ РОЗВИТОК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА¹

SUSTAINABLE TRANSFORMATION OF ECONOMY THROUGH DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY AND ADDITIVE PRODUCTION

Стаття зосереджує увагу на необхідності системної трансформації економіки у напрямі сестейнових моделей розвитку, що передбачають інтеграцію екологічної стійкості, соціальної інклюзивності та технологічних інновацій. У роботі обґрунтовано роль альтернативних джерел енергії як основи для зменшення залежності від викопних ресурсів. Паралельно досліджено потенціал адитивного виробництва як інструмента оптимізації використання матеріалів, скорочення відходів, зменшення логістичних витрат та прискорення інноваційних циклів. В роботі представлено теоретичні засади сестейнкової економіки та проведено порівняння з іншими сучасними економічними моделями. Висвітлено синергію між альтерна-

¹ Робота виконана в рамках НДР Реструктуризація національної економіки в напрямі цифрових трансформацій для сталого розвитку (№0122U001232), що фінансується з держбюджету України

тивною енергетикою та адитивними технологіями, що створює нові можливості як для країн, що розвиваються (подолання енергетичної бідності, розвиток підприємництва), так і для постіндустріальних економік (зелена реіндустріалізація, формування інноваційних кластерів). Особливу увагу приділено викликам, пов'язаним з інституційною інерцією, політичними бар'єрами, недостатнім фінансуванням інновацій і соціальною недовірою до технологічних змін. Зазначено перспективи застосування інтегрованих технологічних рішень в Україні, особливо у контексті повоєнної відбудови, розвитку децентралізованих енергетичних систем і мобільних виробничих рішень. Стаття формує комплексне бачення переходу до нової економічної парадигми, що поєднує економічну ефективність, соціальну справедливість і екологічну збалансованість на основі інноваційної синергії.

Ключові слова: сестейнова економіка, альтернативна енергетика, адитивне виробництво, технологічні інновації, сталий розвиток.

The article focuses on the need for a systemic transformation of the economy towards sustainable development models that integrate environmental sustainability, social inclusion and technological innovation. The paper substantiates the role of alternative energy sources as a basis for reducing dependence on fossil resources. At the same time, the potential of additive manufacturing as a tool for optimizing the use of materials, reducing waste, reducing logistics costs and accelerating innovation cycles is investigated. The paper presents theoretical foundations of sustainable economics and comparison with other modern economic models. Highlighted synergy between alternative energy and additive technologies that creates new opportunities for both countries that developing (overcoming energy poverty, development entrepreneurship), and for post-industrial economies (green reindustrialization, formation innovative clusters). Separately attention given challenges related to institutional inertia, political barriers, insufficient financing innovation and social distrust of technological changes. Indicated prospects application integrated technological decisions in Ukraine, especially in the context of post-war reconstruction, development decentralized energy systems and mobile production decisions. Article forms complex vision of the transition to a new economic paradigms that combines economic efficiency, social justice and environmental balance based on innovative synergies.

Keywords: sustainable economics, alternative energy, additive production, technological innovation, sustainable development.

Постановка проблеми. Сучасна економіка перебуває у фазі фундаментальних змін, що спричинені поглибленням екологічної кризи, виснаженням природних ресурсів, глобальними викликами сталого розвитку та технологічними проривами. Традиційні моделі економічного зростання, орієнтовані на лінійне виробництво, надмірне споживання та домінування викопних джерел енергії, дедалі більше виявляють свою невідповідність довгостроковим потребам суспільства і планети. У відповідь на ці виклики формується нова парадигма розвитку – сестейнова економіка, що передбачає гармонізацію економічних, соціальних та екологічних частин через інтеграцію інновацій, циркулярних підходів і етичного управління. Альтернативна енергетика та адитивне виробництво стають інструментами технологічного перезапуску. Ці технології не лише знижують вуглецевий слід і навантаження на довкілля, а й сприяють стійкості економічних систем. Поєднання таких інновацій з ідеологією сестейновості створює передумови для якісно нової моделі розвитку, заснованої на принципах ефективності, відповідальності та інноваційної синергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сестейнова економіка формується як відповідь на обмеженість природних ресурсів, зростаючу енергетичну кризу та кліматичні виклики. Її концепція базується на принципах

довгострокової рівноваги між економічним зростанням, соціальною справедливістю та екологічною стійкістю. Як стверджується в теоретичних дослідженнях (Barrier, 2017; Dietz et al., 2013), сталий розвиток вимагає переосмислення класичних моделей зростання та переходу до систем, що не перевищують екологічних меж планети. Важливою умовою такої трансформації є інтеграція новітніх технологій, інституційних змін та інноваційних підходів до управління ресурсами.

У межах такого погляду все більшої уваги набувають міждисциплінарні фактори сталого зростання. Зокрема, було виявлено, що цифровізація, зміни у демографічній структурі, енергоефективність та інтенсивність енергоспоживання значною мірою корелюють із показниками сталого розвитку, особливо у країнах, що розвиваються (Nosan et al., 2022). Дослідження університетського середовища підтверджують значення освіти як рушія стійкого економічного розвитку в контексті Цілей сталого розвитку ООН (Abad-Segura & González-Zamar, 2021).

Значну роль у побудові нової моделі економіки відіграє стратегічне управління енергетичними ресурсами. Зокрема, використання відновлюваних джерел енергії дозволяє одночасно зменшити викиди CO₂ та підвищити ефективність зростання (Jain et al., 2022). Як зазначається в дослідженнях, споживання чистої енергії прямо залежить від рівня

еко-інновацій та енергетичної продуктивності (Li et al., 2020), а глобальний енергетичний перехід потребує політичної волі, інституційної підтримки та справедливого доступу до технологій (Vanegas Cantarero, 2020).

Огляд новітніх досліджень демонструє, що розвиток альтернативної енергетики розглядається не лише як екологічна, а й як соціально-економічна необхідність. Автори наголошують на ролі ВДЕ у досягненні цілей енергетичної безпеки, диверсифікації енергетичних джерел та зменшенні залежності від викопного палива (Olabi & Abdelkareem, 2022; Gielen et al., 2019). Водночас важливо забезпечити узгодженість між енергетичною та кліматичною політикою на міжнародному рівні (Pan et al., 2023).

Паралельно з енергетичним переходом розвивається й технологічна база, а саме адитивні виробничі технології. Адитивне виробництво дає змогу мінімізувати відходи, скоротити логістичні витрати, створити замкнені виробничі цикли та локалізувати виробництво, що безпосередньо сприяє досягненню цілей сталого розвитку (Peng et al., 2018; Gao et al., 2021). Науковці підкреслюють, потенціал таких технологій для енергоощадного виробництва та екологічної модернізації промисловості (Chaudhary et al., 2022; Srivastava & Rathee, 2021). Особливу увагу дослідники приділяють аналізу життєвого циклу та ефективності адитивного виробництва як основи для формування «зеленої» промислової політики (Rasiya et al., 2021).

Розвиток альтернативної енергетики та впровадження адитивних технологій формують важливі вектори сестейнової трансформації економіки. Вони взаємодіють із соціальними та політичними детермінантами, створюють нову парадигму розвитку, орієнтовану на довготривалу рівновагу та збереження глобального екологічного балансу.

Метою статті є аналіз ролі альтернативної енергетики та адитивного виробництва у процесі сестейнової трансформації економіки, а також виявлення бар'єрів і перспектив на шляху до формування нової економічної парадигми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з доповіддю World Commission on Environment and Development (WCED) (United Nations, 1987), сталий розвиток передбачає задоволення потреб сучасного покоління без загрози для здатності майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Це визначення сформувало базову філософію, яка згодом лягла в основу концепції сестейнової економіки як довгострокової моделі, що поєднує

економічну ефективність, соціальну справедливість та екологічну збалансованість (Sachs, 2015). На відміну від традиційних моделей, які фокусуються переважно на економічному зростанні, сестейнова економіка інтегрує три основні виміри:

- економічний вимір характеризується ефективним використанням ресурсів, інновації, справедливим розподілом вигод і збалансованим зростанням;
- соціальний визначається забезпеченням рівного доступу до ресурсів, участі громад у прийнятті рішень, захист прав людини та розвиток людського капіталу;
- екологічний вимір проявляється у збереженні природних ресурсів, біорізноманітті, мінімізації забруднення та адаптації до змін клімату.

Така трисидна концепція відома як «три стовпи сталого розвитку» (Elkington, 1997), які мають взаємодоповнювати, а не суперечити одне одному.

Традиційно економічне зростання вимірювалося через Валовий внутрішній продукт (ВВП). Проте з часом почали з'являтися критичні зауваження щодо обмеженості такого підходу, оскільки ВВП не враховує розподіл доходів, екологічні витрати, рівень щастя населення тощо (Stiglitz, Sen & Fitoussi, 2009). З'явилися альтернативні погляди:

- Індекси людського розвитку (HDI) (Lind, 2019);
- Індекси щастя (World Happiness Report) (Helliwell et al., 2023);
- Індикатори сталого розвитку (SDG indicators) (UN);
- Екологічний слід (Ecological Footprint) (Global Footprint Network).

Ці підходи відображають перехід від кількісного зростання (більше виробництва) до якісного зростання (краща якість життя, екологічна безпека, соціальна стабільність). Як підсумовує Тім Джексон (Jackson, 2017), економічна система має бути підпорядкована цілям соціального добробуту в межах екологічних лімітів планети, а не навпаки.

На відміну від класичних економічних моделей, які переважно фокусуються на зростанні ВВП, сестейнова економіка пропонує переосмислення мети економіки в контексті добробуту та меж планетарної стабільності. Сестейнова економіка не має чітких національних реалізацій у формі самостійної державної моделі, однак її принципи втілюються в окремих політиках і концепціях. У таблиці 1 представлено порівняння сестейнової економіки з низкою сучасних економічних підходів.

Таблиця 1

Порівняння сестейнової економіки з іншими моделями

Модель Критерій	Sustainable economy	Circular economy	Green economy	Wellbeing economy	Doughnut economy
Фокус	Екологія, добробут, справедливість	Замкнутість ресурсів	«Зелений» розвиток	Щастя, ментальне здоров'я, інклюзія	Соціальні й екологічні межі
Орієнтація	Системна, міждисциплінарна	Технологічна, ресурсна	Політико-економічна	Соціальна політика	Теоретично-системна
Оцінка успішності	Довгострокова, через якість життя	Рівень переробки, відходи	Вуглецевий слід	Індекси добробуту (Happiness, HDI)	Збалансованість показників
Соціальні питання	Основні	Підтримуючі	Підтримуючі	Основні	Основні
Екологічна складова	Основна	Основна	Основна	Підтримуюча	Основна

Джерело: розроблено авторами на основі (Bermejo, 2014; Wang et al., 2023; Corvellec et al., 2021; Mies & Gold, 2021; Hao et al., 2023; D'Amato & Korhonen, 2021; Waddock, 2021; Layard & De Neve, 2023; Raworth, 2017; Sahan et al., 2022)

Як видно з таблиці 1, найбільш близькими до ідеї сестейнової економіки є дві моделі:

– Wellbeing economy, яка базується на включенні нематеріальних питань добробуту (здоров'я, психологічний комфорт, доступ до освіти) до системи державного планування.

– Doughnut Economy, поєднує екологічні межі планети та соціальні основи, необхідні для гідного життя. Ця модель інтегрує екологічну безпеку та соціальну справедливість у єдине коло допустимого існування.

Інші підходи, такі як циркулярна економіка або зелена економіка, є вузькими сегментами сестейнового підходу та зосереджуються на екологічній сталості, не завжди включають соціальні виміри.

Отже, сестейнова економіка є концептуально ширшою моделлю, що передбачає переосмислення функцій економіки як інструменту забезпечення сталого, справедливого та довготривалого добробуту. Її реалізація вимагає міжсекторального підходу та глибокої трансформації економічного мислення.

Перехід до сестейнової економіки неможливий без глибокої трансформації технологічної бази виробництва та споживання. Драйверами такої трансформації є альтернативна енергетика та адитивне виробництво, які змінюють не лише технічні, а й соціально-економічні засади розвитку.

Альтернативна енергетика – це виробництво енергії з відновлюваних джерел (сонячна, вітрова, гідро-, геотермальна, біоенергетика), які, на відміну від викопних ресурсів, не вичерпуються та не призводять до накопичення парникових газів. Згідно з International Renewable Energy Agency (IRENA), до 2050 року частка відновлюваних джерел у світовому енергобалансі може перевищити 80%, що стане фундаментом для низьковуглецевої економіки.

Аддитивне виробництво передбачає поетапне «нарощування» матеріалу відповідно до цифрової моделі, що суттєво відрізняється від традиційних методів механічної обробки. У поєднанні з цифровими технологіями та відновлюваними джерелами енергії, адитивне виробництво стає одним із інструментів низьковуглецевого, ресурсоощадного та гнучкого виробництва, що відповідає вимогам сестейнової моделі (Zhou et al., 2024).

Для розуміння ролі цих технологій у формуванні сестейнової моделі економіки важливо оцінити їхній вплив у трьох площинах: економічній, соціальній та екологічній. У таблиці 2 представлено системне бачення такого впливу.

Як показано в таблиці, альтернативна енергетика забезпечує перехід до децентралізованих, чистих і доступних джерел енергії, що дозволяє зменшити залежність від викопного палива та пов'язаних із ним соціальних і екологічних ризиків. Водночас розвиток цього сектору створює нові економічні можливості на макро- і на місцевому рівні через створення робочих місць, інвестиції в інфраструктуру та посилення енергетичної безпеки.

Аддитивне виробництво, зі свого боку, дозволяє оптимізувати використання матеріалів, скоротити виробничі ланцюги й перенести виробництво ближче до споживача. Така тенденція сприяє зменшенню транспортних витрат і викидів, розширенню доступу до технологій, а також стимулює розвиток малого інноваційного бізнесу.

Таким чином, обидві технології виступають інструментами досягнення балансу між економічним зростанням, соціальним добробутом та екологічною стійкістю, що й становить сутність сестейнової економіки. Альтернативна енергетика та адитивні технології створюють технологічне підґрунтя для нової

Таблиця 2

**Вплив альтернативної енергетики та адитивного виробництва
на складові сестейнової економіки**

Компонент	Альтернативна енергетика	Адитивне виробництво
Економічний	Зниження витрат на енергію у довгостроковій перспективі Розвиток нових ринків та «зелених» індустрій Енергетична незалежність регіонів	Зменшення витрат на матеріали та логістику Прискорення інноваційного циклу Локалізація виробництва та економія на масштабах
Соціальний	Створення робочих місць у сфері відновлюваної енергетики Підвищення доступу до енергії у віддалених громадах Енергетична справедливість	Демократизація доступу до виробничих технологій Підтримка малих і середніх підприємств Персоналізоване виробництво відповідно до потреб громад
Екологічний	Зниження викидів парникових газів Відмова від викопного палива Збереження природних ресурсів	Мінімізація відходів матеріалів Енергоефективність виробничих процесів Можливість створення більш довговічних, ремонтпридатних виробів

Джерело: розроблено авторами на основі (Deshmukh et al., 2021; Hassan et al., 2024; Hegab et al., 2023; Javaid et al., 2021)

економічної парадигми, яка відмовляється від викопної енергетики, надвиробництва та екологічно шкідливих практик. Вони дозволяють реалізувати модель інноваційного, децентралізованого та етично орієнтованого розвитку, що є суттю сестейнової економіки.

Синергія енергетичних і виробничих інновацій як потенціал для країн, що розвиваються та постіндустріальних економік.

Перехід до сестейнової економіки має різні стартові умови для різних типів країн, однак синергія альтернативної енергетики та адитивного виробництва демонструє значний потенціал як для країн Глобального Півдня, що прагнуть інклюзивного зростання, так і для постіндустріальних країн, які шукають моделі «зеленого» оновлення інфраструктури та робочих місць.

У багатьох країнах, що розвиваються, проблеми енергетичної бідності, інфраструктурної віддаленості та низької доступності технологій залишаються ключовими викликами. Альтернативна енергетика та адитивне виробництво можуть розірвати залежність від централізованих систем та створити нові можливості для економічного розвитку.

В Кенії діє ініціатива M-KOPA Solar, яка надає сонячні енергетичні комплекти у сільські громади за моделлю “pay-as-you-go” (Enebe et al., 2024). Така діяльність дозволяє домогосподарствам отримати доступ до освітлення, зарядки телефонів та холодильників без підключення до центральної електромережі.

У 2020 р. неурядові організації в Найробі почали використовувати 3D-друк для виготовлення захисних щитків і медичних масок під час пандемії COVID-19 (University of Nairobi, Department of Physics, 2020). Це дозволило реагувати на локальні потреби без імпорту дорогого обладнання.

Такі технологічні рішення мають комплексний соціально-економічний ефект, зокрема сприяють локалізації виробництва, створюють нові робочі місця у сферах обслуговування сонячних систем та цифрових технологій, підвищують рівень енергонезалежності громад, а також розширюють доступ до базових послуг – охорони здоров'я, освіти, засобів зв'язку.

У постіндустріальних країнах, таких як держави Європейського Союзу, США, Канада, Японія, трансформація економічної моделі набуває форми так званої «зеленої» реіндустріалізації, що передбачає відновлення промислового потенціалу на засадах сталого розвитку. В умовах високого енергоспоживання, зношеної інфраструктури, потреби у нових робочих місцях та вичерпання традиційної моделі масового споживання ці країни дедалі активніше впроваджують технології, орієнтовані на декарбонізацію, енергоефективність і замкнені виробничі цикли.

Показовим прикладом є Німеччина, яка реалізує комплексну стратегію енергетичного переходу під назвою Energiewende. Згідно з даними Agora Energiewende (2023), політика передбачає поступову відмову від використання викопного палива та ядерної енергетики на користь сонячної, вітрової, біо- та гідроенергетики. Станом на 2023 рік частка відновлюваних джерел у структурі енергоспоживання перевищила 50%, а до 2030 року очікується зростання цього показника до 80%, що зробить Німеччину одним з лідерів у глобальній декарбонізації енергетики.

Паралельно, у промисловому секторі країни активно впроваджуються адитивні виробничі технології, зокрема 3D-друк. Концерни Siemens та BMW використовують ці технології для виготовлення прототипів, складних

деталей двигунів і запчастин, що дозволяє суттєво знизити витрати на логістику, зменшити обсяги промислових відходів і пришвидшити інноваційний цикл (Paloma Duran, 2018; BMW Group, 2024).

Впровадження зазначених рішень формує комплексний системний ефект, що проявляється у декарбонізації енергетики та промисловості, стимулюванні зростання «зелених» інноваційних кластерів, підвищенні ефективності використання енергії та сировини у високотехнологічному виробництві, зокрема в авіаційній, автомобільній та медичній галузях. Крім того, ці процеси сприяють практичному впровадженню принципів сестейнової економіки. Такий підхід не лише зменшує екологічне навантаження, а й створює нові можливості для технологічного оновлення індустрії відповідно до цілей сталого розвитку.

Таким чином, постіндустріальні економіки не лише адаптуються до екологічних викликів, а й створюють нові технологічні й інституційні моделі сталого зростання, де синергія між відновлюваною енергетикою та цифровими виробничими рішеннями стає основою конкурентоспроможності в умовах зеленої трансформації.

Україна, як держава з ринковою структурою економіки, має значний потенціал для інтеграції підходів сталого розвитку, зокрема через поєднання альтернативної енергетики та адитивного виробництва. У сільському господарстві актуальним є впровадження біоенергетичних рішень та малих сонячних станцій у межах децентралізованих громадських ініціатив, що дозволяє не лише підвищити енергетичну автономію сіл, а й стимулювати місцеву економіку. У промисловому секторі перспективною є адаптація технологій 3D-друку для виготовлення запчастин, проведення ремонтів та навчання технічного персоналу на місцях, що дає змогу скоротити логістичні витрати та час на обслуговування виробничих систем. Особливої актуальності такі рішення набувають для повоєнної відбудови, де поєднання відновлюваної енергетики з мобільними модулями 3D-друку може забезпечити оперативне будівництво тимчасових житлових об'єктів, медичних пунктів і освітніх центрів у постраждалих регіонах. Впровадження таких інтегрованих технологій у рамках сталої відбудови дозволить Україні не лише ліквідувати наслідки руйнувань, а й закласти основу для сестейнової економіки майбутнього, орієнтованої на стійкість, інновації та соціальну справедливість (UNDP Ukraine, 2023).

Синергія альтернативної енергетики та адитивного виробництва відкриває траєкторії

розвитку сестейнової економіки від інклюзивного зростання та подолання енергетичної бідності в країнах, що розвиваються, до «зеленого» оновлення промисловості у постіндустріальних державах. В обох випадках це не лише технологічний, а соціально-економічний та стратегічний інструмент, здатний змінити логіку функціонування економіки.

Дискусійні положення. Попри стрімкий розвиток технологій, таких як альтернативна енергетика та адитивне виробництво, економічна система багатьох країн демонструє високу інерційність. Така економічна інерція полягає у збереженні пріоритетів традиційних джерел енергії, централізованих ланцюгів поставок, лінійних моделей виробництва та обмеженого інвестування у трансформаційні інновації.

Дослідження показують, що значною перешкодою до переходу на відновлювані джерела енергії є так званий carbon lock-in – залежність економік від викопного палива, що підтримується існуючими інституційними, фінансовими та інфраструктурними структурами (Seto et al., 2016). Крім того, багато промислових підприємств демонструють низьку адаптивність до технологій 4.0, зокрема до адитивного виробництва, оскільки зміна виробничих процесів вимагає значних витрат часу, ресурсів і культурної трансформації (de Sousa Jabbour et al., 2022).

Згідно з дослідженнями Міжнародного енергетичного агентства (IEA), навіть за сприятливих інвестиційних умов, більшість держав зберігають високий рівень субсидування викопного палива, що створює нерівні умови для розвитку зеленої енергетики (IEA, 2023). Таким чином, державна політика часто не стимулює трансформації.

З боку бізнесу, рішення приймаються з орієнтацією на короткострокову рентабельність, що гальмує впровадження довгострокових інновацій, таких як 3D-друк. Цей процес є показовим прикладом path dependency, коли раніше обраний вектор розвитку формує бар'єри для змін (Löfsten et al., 2024).

Крім того, суспільна та споживча поведінка також часто демонструє інерцію, яка полягає в недовірі до нових джерел енергії або до виробів, виготовлених новими методами, що знижує ринковий попит на інноваційні рішення (Bögel et al., 2023).

Таким чином, для подолання економічної інерції потрібен комплексний підхід, що включає політичну волю, фінансові стимули, інституційні реформи та широку просвітницьку кампанію.

Висновки. Сестейнова трансформація економіки постає як відповідь на системну

кризу лінійних моделей розвитку, екологічні виклики та технологічні зрушення. В умовах кліматичної кризи, вичерпання природних ресурсів і соціальної нерівності зростає усвідомлення необхідності переходу від моделі безмежного зростання до моделі якісного розвитку, що гармонізує економічну ефективність, соціальну справедливість і екологічну рівновагу.

Альтернативна енергетика та адитивне виробництво є технологічними рушіями такої трансформації. Їхній вплив виявляється не лише у зменшенні вуглецевого сліду та оптимізації виробництва, а й у створенні нових структур зайнятості, підтримці децентралізованого економічного розвитку, скороченні залежності від глобальних ланцюгів поставок та підвищенні стійкості до зовнішніх шоків.

Разом з тим, поширення альтернативних джерел енергії й адитивних технологій не є лінійним або універсальним процесом. Багато країн стикаються з інституційною інерцією, економічною залежністю від традиційних секторів, браком інвестицій та недовірою до технологічних змін.

Особливого значення набуває питання соціальної інклюзивності трансформаційних

процесів. Адже лише той підхід, який враховує потреби різних верств населення. Тому потенціал альтернативної енергетики та адитивного виробництва особливо важливий для країн, що розвиваються, оскільки дозволяє подолати інфраструктурну відсталість, енергетичну бідність та цифровий розрив.

Для України перехід до сестейнової економіки є не лише стратегічною відповіддю на глобальні виклики, а й інструментом повоєнної відбудови. Комбінація децентралізованих джерел енергії, мобільних виробничих рішень і локального підприємництва може створити основу для інноваційного економічного зростання, зменшення залежності від імпорту, розвитку нових ринків праці та покращення якості життя громадян. Успішність такого переходу залежатиме від спроможності державної політики створити сприятливе середовище для інновацій, залучити міжнародну підтримку та активізувати міжсекторальну взаємодію.

Отже, альтернативна енергетика та адитивне виробництво не є ізольованими технологічними явищами, а стають системоутворювальними елементами нової економічної логіки, у центрі якої – гідність, довготривала безпека та баланс з природним середовищем.

Список використаних джерел:

1. Barrier E. B. (2017). The concept of sustainable economic development. In *The economics of sustainability* (pp. 87–96). Routledge.
2. Dietz R., Daly H. & O'Neill D. (2013). *Enough is enough: Building a sustainable economy in a world of finite resources*. Routledge.
3. Hosan S., Karmaker S. C., Rahman M. M., Chapman A. J. & Saha B. B. (2022). Dynamic links among the demographic dividend, digitalization, energy intensity and sustainable economic growth: Empirical evidence from emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129858. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129858>
4. Abad-Segura E. & González-Zamar M.-D. (2021). Sustainable economic development in higher education institutions: A global analysis within the SDGs framework. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126133>
5. Jain V., Ramos-Meza C. S., Aslam E., Chawla C., Nawab T., Shabbir M. S. & Bansol A. (2022). Do Energy Resources matter for Growth Level? The dynamic effects of different strategies of renewable energy, carbon emissions on sustainable economic growth. *Clean Technologies and Environmental Policy*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02432-9>
6. Li J., Zhang X., Ali S. & Khan Z. (2020). Eco-innovation and energy productivity: New determinants of renewable energy consumption. *Journal of Environmental Management*, 271, 111028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jen.vman.2020.111028>
7. Vanegas Cantarero M. M. (2020). Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Research & Social Science*, 70, 101716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101716>
8. Olabi A. G. & Abdelkareem M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112111>
9. Gielen D., Boshell F., Saygin D., Bazilian M. D., Wagner N. & Gorini R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
10. Pan X., Shao T., Zheng X., Zhang Y., Ma X. & Zhang Q. (2023). Energy and sustainable development nexus: A review. *Energy Strategy Reviews*, 47, 101078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101078>
11. Peng, T., Kellens, K., Tang, R., Chen, C., & Chen, G. (2018). Sustainability of additive manufacturing: An overview on its energy demand and environmental impact. *Additive Manufacturing*, 21, 694–704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.04.022>

12. Gao C., Wolff S. & Wang S. (2021). Eco-friendly additive manufacturing of metals: Energy efficiency and life cycle analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 459–472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.011>
13. Chaudhary R., Fabbri P., Leoni E., Mazzanti F., Akbari R. & Antonini C. (2022). Additive manufacturing by digital light processing: a review. *Progress in Additive Manufacturing*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00336-0>
14. Srivastava M. & Rathee S. (2021). Additive manufacturing: recent trends, applications and future outlooks. *Progress in Additive Manufacturing*, 7(2), 261–287. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00229-8>
15. Rasiya G., Shukla A. & Saran K. (2021). Additive Manufacturing-A Review. *Materials Today: Proceedings*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.181>
16. United Nations. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. URL: <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html>
17. Sachs J.D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press, New York. DOI: <https://doi.org/10.7312/sach17314>
18. Elkington J. (1997) *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone, Oxford.
19. Stiglitz J., Sen A. & Fitoussi J.-P. (2009). Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/8131721/8131772/Stiglitz-Sen-Fitoussi-Commission-report.pdf>
20. Lind, N. (2019). A development of the Human Development Index. *Social Indicators Research*, 146(3), 409–423. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-019-02133-9>
21. Helliwell J., Layard R., Sachs J., De Neve J.-E., Lara B. Akinin L.B. & Shun Wang, S. (2023). *World Happiness Report 2023*. Sustainable Development Solutions Network. URL: <https://worldhappiness.report/ed/2023/>
22. United Nations. (n.d.). Sustainable Development Goals Indicators. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>
23. Global Footprint Network. (n.d.). Ecological Footprint. URL: <https://www.footprintnetwork.org>
24. Jackson T. (2016). *Prosperity without Growth: Foundations for the Economy of Tomorrow* (2nd ed.). Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315677453>
25. Bermejo R. (2014). *Handbook for a Sustainable Economy*. Springer Netherlands. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8981-3>
26. Wang F., Wong W.-K., Wang Z., Albasher G., Alsultan N. & Fatemah A. (2023). Emerging pathways to sustainable economic development: An interdisciplinary exploration of resource efficiency, technological innovation, and ecosystem resilience in resource-rich regions. *Resources Policy*, 85, 103747. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103747>
27. Corvellec H., Stowell A. F. & Johansson N. (2021). Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>
28. Mies A. & Gold S. (2021). Mapping the social dimension of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128960. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128960>
29. Hao X., Li Y., Ren S., Wu H. & Hao Y. (2023). The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? *Journal of Environmental Management*, 325, 116504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116504>
30. D'Amato D. & Korhonen J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188, 107143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>
31. Waddock S. (2021). Wellbeing Economics Narratives for a Sustainable Future. *Humanistic Management Journal*, 6(2), 151–167. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41463-021-00107-z>
32. Layard R. & De Neve J. E. (2023). *Wellbeing*. Cambridge University Press.
33. Brauers H. & von Hirschhausen C. (2018). [Review of Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist, by K. Raworth]. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 7(2), 155–158. URL: <https://www.jstor.org/stable/27030636>
34. Raworth K. (2017). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.
35. Sahan E., Sanz Ruiz C., Raworth K., van Winden W. & van den Buuse D. (2022). What Doughnut Economics means for business: creating enterprises that are regenerative and distributive by design. Doughnut Economics Action Lab.
36. IRENA (International Renewable Energy Agency). (2020). *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>
37. Zhou L., Miller J., Vezza J., Mayster M., Raffay M., Justice Q., Al Tamimi Z., Hansotte G., Sun-kara L. D. & Bernat J. (2024). Additive Manufacturing: A Comprehensive Review. *Sensors*, 24(9), 2668. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24092668>
38. Hassan Q., Algburi S., Sameen A. Z., Al Musawi T. J., Al-Jiboory A. K., Salman H. M., Ali B. M. & Jaszczur, M. (2024). A Comprehensive Review of International Renewable Energy Growth. *Energy and Built Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.12.002>

39. Deshmukh M. K. G., Sameeroddin M., Abdul D. & Abdul Sattar M. (2021). Renewable energy in the 21st century: A review. *Materials Today: Proceedings*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.501>
40. Hegab H., Khanna N., Monib N. & Salem A. (2023). Design for sustainable additive manufacturing: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, e00576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00576>
41. Javaid M., Haleem A., Singh R. P., Suman R. & Rab S. (2021). Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.07.005>
42. Enebe G. C., Ukoba K. & Jen T.-C. (2024). Driving Solar Energy Adoption in Africa Using Globalization. *Y 2024 IEEE 5th International Conference on Electro-Computing Technologies for Humanity (NIGERCON)* (c. 1–11). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/nigercon62786.2024.10927376>
43. University of Nairobi, Department of Physics. (2020). COVID-19 face shield and mask research project. URL: <https://physics.uonbi.ac.ke/research-projects/covid-19-face-shield-and-mask-research-project>
44. Agora Think Tanks (2024): Climate-neutral Germany. From target-setting to implementation. URL: https://agora-energiewende.org/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/A-EW_346_Climate-neutral_Germany_EN_Summary_WEB.pdf
45. BMW Group. (2024). 3D printing takes over in production: individual robot grippers play a crucial role. BMW Group. URL: <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/production-with-3d-printing.html>
- Paloma Duran. (2025, June 30). Siemens test 3D printed superalloy parts for gas turbine aerospace engine. *3D Printing Industry*. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/siemens-test-3d-printed-superalloy-parts-for-gas-turbine-aerospace-engine-137924/>
46. UNDP Ukraine. (2023). Green Energy Recovery Programme in Ukraine. URL: <https://www.undp.org/ukraine/projects/green-energy-recovery-programme-ukraine>
47. Seto K. C., Davis S. J., Mitchell R. B., Stokes E. C., Unruh G. & Ürge-Vorsatz D. (2016). Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 425–452. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934>
48. de Sousa Jabbour A. B. L., Foropon C., Godinho Filho M. & Roubaud D. (2022). Industry 4.0 technologies and the circular economy: Exploring the perceived benefits and the challenges of 3D printing in sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131090. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131090>
49. IEA. (2023). World Energy Investment 2023. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023>
50. Löfsten H., Isaksson A., Rannikko H., Tornikoski E. & Buffart M. (2024). Impact of initial business model on the growth trajectory of new technology-based firms: a path dependency perspective. *The Journal of Technology Transfer*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-024-10086-6>
51. Bögel P. M., Trenks H., Upham P., Sauter H., Albiez M., Stelzer V. & Laborgne P. (2023). Diversifying power in action: A socio-psychological approach to inclusive energy transition experiments. *Energy Research & Social Science*, 100, 103070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103070>