

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-40>

УДК 330.131.5:338.4

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЦИФРОВІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF PRODUCTION

**Коритько Дмитрій Григорович**

кандидат юридичних наук,  
директор ТОВ «Юкрейніан канстракшн аддітив технолоджіс»,  
керівник НДЦ INCORE (Institute for Construction and Reconstruction Engineering)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8486-6840>

**Korytko Dmytrii**

PhD in Law, Director of Ukrainian Construction Additive Technologies LLC,  
Head of the Research Center INCORE  
(Institute for Construction and Reconstruction Engineering)

У статті досліджено економічні аспекти впровадження адитивних технологій у контексті цифрової трансформації виробничих систем. Обґрунтовано актуальність їх використання як інструменту модернізації промисловості, що забезпечує підвищення гнучкості виробництва, оптимізацію використання ресурсів і скорочення тривалості виробничих циклів. Проаналізовано сучасні підходи до оцінювання економічної ефективності адитивних технологій, зокрема методи аналізу витрат і вигід інновацій, інструменти інвестиційного та техніко-економічного аналізу. Узагальнено основні економічні ефекти їх впровадження, серед яких зниження матеріальних витрат, скорочення часу виготовлення продукції, оптимізація виробничих процесів і трансформація ланцюгів постачання. Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів для оцінювання економічної доцільності впровадження адитивних технологій на підприємствах промисловості та будівництва.

**Ключові слова:** адитивні технології; адитивне виробництво; економічна ефективність технологій; цифрова трансформація виробництва; інноваційні виробничі системи; оцінювання інвестицій; технологічні інновації.

The article examines the economic aspects of implementing additive manufacturing technologies in the context of the digital transformation of production systems. Additive manufacturing is considered one of the key technological innovations of the fourth industrial revolution, enabling new approaches to product design, manufacturing processes and supply chain organization. The study aims to develop methodological approaches for assessing the economic efficiency of additive technologies and to systematize the key indicators that determine their effectiveness in industrial and construction sectors. The research methodology combines approaches from innovation economics, investment analysis and production system analysis. The study applies cost-benefit analysis, comparative techno-economic assessment and investment evaluation tools such as Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). The results show that additive manufacturing technologies contribute to reducing material consumption, shortening production cycles and increasing production flexibility. Their diffusion also promotes product customization and encourages localized and distributed production models, particularly in the construction industry through the use of 3D printing technologies. The study systematizes methodological approaches to evaluating the economic efficiency of additive technologies and proposes an integrated analytical framework that combines operational, investment and strategic levels of analysis. The results may be used to assess the economic feasibility of implementing additive technologies at industrial and construction enterprises and to support strategies of technological modernization and digital transformation. Furthermore, the findings highlight the importance of institutional support and policy incentives in accelerating the adoption of additive manufacturing technologies. The research also identifies potential risks and limitations associated with their implementation, including high initial investment costs and the need for skilled personnel.

**Keywords:** additive technologies; additive manufacturing; economic efficiency of technologies; digital transformation of production; innovative manufacturing systems; investment evaluation; technological innovations.



**Постановка проблеми.** Стрімкий розвиток цифрових технологій формує нову парадигму промислового виробництва, у межах якої адитивні технології (additive manufacturing) набувають статусу одного з ключових інструментів технологічної модернізації економіки. Їх впровадження відкриває принципово нові можливості для проектування продукції, організації виробничих процесів, скорочення ланцюгів постачання та підвищення гнучкості виробництва. Адитивні технології дозволяють здійснювати виготовлення складних геометричних конструкцій, мінімізувати матеріальні відходи, скорочувати час виробничого циклу та забезпечувати високий рівень кастомізації продукції. У контексті цифрової трансформації виробництва це створює передумови для підвищення продуктивності, оптимізації ресурсного використання та формування нових конкурентних переваг підприємств.

Водночас масштабне впровадження адитивного виробництва супроводжується значними інвестиційними витратами, технологічною невизначеністю та відсутністю усталених підходів до оцінювання економічної ефективності таких технологічних рішень. Традиційні методи інвестиційного аналізу не завжди здатні повною мірою відобразити комплексний економічний ефект адитивних технологій, який проявляється не лише на рівні виробничих витрат, але й у трансформації бізнес-моделей, скороченні часу виходу продукції на ринок та підвищенні інноваційної спроможності підприємств.

У цьому контексті особливої актуальності набуває формування методологічних підходів до комплексного оцінювання економічної ефективності адитивних технологій, що поєднуюватимуть інструменти інвестиційного аналізу, оцінювання витрат і вигід інновацій та стратегічного аналізу технологічного розвитку. Розв'язання цього завдання має важливе значення як для наукового обґрунтування процесів цифрової трансформації виробництва, так і для прийняття ефективних управлінських рішень щодо впровадження інноваційних технологій у промисловості та будівництві.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика економічної ефективності адитивних технологій у сучасній науковій літературі розглядається у контексті трансформації виробничих систем, зумовленої цифровізацією економіки та переходом до нових технологічних парадигм. У межах цієї дослідницької традиції адитивне виробництво інтерпретується як соціально-економіч-

ний феномен, що змінює логіку формування вартості та організацію виробничих процесів. У фундаментальних аналітичних доповідях міжнародних організацій, зокрема ОЕСР та ЮНІДО, адитивні технології розглядаються як ключовий елемент нової виробничої революції, що впливає на продуктивність, зайнятість і структуру міжнародної торгівлі [1; 18].

Вагомий внесок у дослідження економічних аспектів адитивного виробництва зроблено у працях М. Аттара, який обґрунтовує їх переваги у зниженні витрат і підвищенні гнучкості виробництва [2]. Глобальні оцінки економічного потенціалу представлено у дослідженнях McKinsey Global Institute та звітах Т. Т. Волерса, де підкреслюється зростання ринку адитивного виробництва [3; 4]. Значний інтерес становлять дослідження структури витрат і продуктивності: Д. С. Томас і С. В. Гілберт запропонували модель калькуляції витрат, а М. Баумерс, П. Дікенс, К. Так та Р. Хейг дослідили продуктивність і ефекти масштабу [5; 6]. Водночас С. Форд і М. Деспес підкреслюють екологічний потенціал технологій [7].

Окремий напрям досліджень присвячено трансформації ринкових структур: К. Веллер, Р. Клеер та Ф. Т. Піллер доводять вплив адитивного виробництва на конкуренцію та бар'єри входу [8]. Теоретичні основи економічного аналізу швидкого виробництва закладені у роботах Н. Хопкінсона та П. Дікенса [9]. Подальші дослідження (Р. Хуанг, М. Е. Ріддл, Д. Граціано) підтверджують можливість зниження витрат і енергоспоживання [10], тоді як А. Бусакі, Дж. Еркойдунджу, П. Коулгроув запропонували підходи до моделювання економічної ефективності [11]. Глобальні екологічні ефекти досліджено М. Геблером, А. Й. М. Схот-Уйтеркамп і К. Віссером [12].

Значну увагу приділено застосуванню адитивних технологій у будівництві: І. Хагер, А. Голонка та Р. Путановіч аналізують їх ефективність і сталість [13], що підтверджується дослідженнями COBOD International та Європейської Комісії [14; 15]. Питання сталого розвитку розкрито у роботах М. Мані, К. В. Лайонса та С. К. Гупти [16], а перспективи до 2030 року – у дослідженнях Р. Жіанга, Р. Клеера і Ф. Т. Піллера [17].

Попри значну кількість праць, недостатньо дослідженим залишається формування інтегрованої методології оцінювання економічної ефективності адитивних технологій у контексті цифрової трансформації виробництва. Більшість досліджень зосереджена на окре-

мих аспектах, тоді як комплексне поєднання інвестиційного аналізу, інноваційних ефектів і стратегічного виміру потребує подальшого обґрунтування. Саме ця невирішена частина проблеми визначає напрям подальших досліджень у межах даної статті.

**Метою статті є** наукове обґрунтування та систематизація методологічних підходів до оцінювання економічної ефективності адитивних технологій у контексті цифрової трансформації виробництва. Дослідження спрямоване на узагальнення сучасних теоретичних і прикладних підходів до аналізу витрат, інвестиційної ефективності та інноваційного впливу адитивного виробництва, а також на формування комплексного аналітичного підходу до оцінювання економічних результатів впровадження цих технологій у промисловості та будівництві.

**Методологічна основа дослідження** ґрунтується на міждисциплінарному поєднанні економічної теорії інновацій, інвестиційного аналізу та концепцій цифрової трансформації виробничих систем. Теоретико-методологічний базис сформовано на засадах системного та інституційного підходів, що дозволяють розглядати адитивні технології як елемент нової технологічної парадигми розвитку виробництва. У дослідженні використано методи економічного аналізу витрат і вигід інновацій, інструменти інвестиційного оцінювання технологічних проектів (NPV, IRR, PI), а також елементи процесного та функціонального аналізу виробничих систем. Додатково застосовано принципи порівняльного техніко-економічного аналізу, що забезпечують комплексне оцінювання економічної ефективності адитивних технологій у промисловості та будівництві.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Цифрова трансформація сучасної економіки формує нову конфігурацію виробничих систем, у межах якої адитивні технології (additive manufacturing, AM) набувають статусу одного з ключових драйверів інноваційного розвитку промисловості. На відміну від традиційних субтрактивних виробничих процесів, що базуються на механічному видаленні матеріалу, адитивні технології ґрунтуються на принципі пошарового формування виробу на основі цифрової моделі. Такий підхід принципово змінює технологічну логіку виробництва, дозволяючи створювати складні геометричні структури, оптимізувати використання матеріалів та значно скорочувати виробничі цикли.

У сучасній науковій літературі адитивне виробництво розглядається як складова ширшого процесу формування нової виробничої парадигми, що поєднує цифрові технології, автоматизацію та нові матеріали. У доповіді OECD підкреслюється, що конвергенція цифрових виробничих технологій формує передумови для підвищення продуктивності та трансформації глобальних виробничих систем [1]. Водночас McKinsey Global Institute відносить адитивне виробництво до числа проривних технологій, які можуть суттєво змінити структуру світової економіки та забезпечити значний економічний ефект у довгостроковій перспективі [3].

Економічна сутність адитивних технологій полягає у зміні механізму створення доданої вартості. Якщо традиційне виробництво орієнтоване на ефект масштабу, то адитивне виробництво забезпечує економічну ефективність у середовищі індивідуалізованого та малосерійного виробництва. Як зазначає М. Аттаран, адитивні технології здатні істотно скоротити довжину виробничих ланцюгів, мінімізувати потребу у складських запасах та підвищити гнучкість виробництва [2]. Саме ця властивість робить їх важливим інструментом трансформації сучасних виробничих систем.

З позицій економічного аналізу ефективність адитивних технологій визначається комплексом взаємопов'язаних показників, що охоплюють виробничі, ресурсні та стратегічні аспекти діяльності підприємств. У наукових дослідженнях підкреслюється, що оцінювання ефективності адитивного виробництва повинно здійснюватися на кількох рівнях: операційному, інвестиційному та стратегічному [5].

На операційному рівні ключовими показниками виступають собівартість продукції, продуктивність обладнання, коефіцієнт використання матеріалу та тривалість виробничого циклу. Дослідження М. Баумерса, П. Дікенса, К. Така та Р. Хейга демонструють, що економіка адитивного виробництва значною мірою залежить від продуктивності обладнання та рівня завантаження виробничих систем [6]. У цьому контексті важливим є показник використання матеріалу, який відображає співвідношення між масою вихідної сировини та масою готового виробу.

У традиційному виробництві, особливо у високотехнологічних галузях, таких як авіакосмічна промисловість, співвідношення buy-to-fly може досягати 10:1 і більше, що означає значні втрати матеріалу. Адитивні технології дозволяють наблизити цей показник до 1:1,

що суттєво підвищує ресурсну ефективність виробництва [7].

З метою систематизації ключових показників економічної ефективності адитивних технологій у дослідженні узагальнено основні параметри їх оцінювання.

Окрім виробничих показників, важливим аспектом оцінювання ефективності адитивних технологій є аналіз структури витрат. На відміну від традиційного виробництва, де значну частку витрат становлять інструментальні витрати та витрати на підготовку виробництва, адитивне виробництво характеризується високою часткою матеріальних витрат та витрат машинного часу.

Д. С. Томас та С. В. Гілберт зазначають, що економічна структура витрат адитивного виробництва формується трьома основними компонентами: вартістю матеріалів, вартістю машинного часу та витратами праці [5]. При цьому значний вплив на собівартість має рівень завантаження виробничої камери, оскільки одночасне виготовлення кількох деталей дозволяє знизити питомі витрати.

Важливим інструментом оцінювання економічної ефективності адитивних технологій є аналіз витрат і вигід (cost-benefit analysis). Цей підхід дозволяє оцінити не лише прямі виробничі витрати, але й ширші економічні ефекти впровадження технології.

Зокрема, дослідження Р. Хуанга, М. Ріддла та Д. Граціано демонструють, що використання адитивних технологій у виробництві

інструментів для лиття під тиском може забезпечити зниження витрат на 15–35 % та скорочення часу виконання замовлень на 12–60 % [10].

Важливим напрямом сучасних досліджень є також оцінювання екологічних та енергетичних ефектів адитивного виробництва. М. Геблер, А. Й. М. Схот-Уйтеркамп та К. Віссер підкреслюють, що широке впровадження адитивних технологій може призвести до значного зниження енергоспоживання та скорочення викидів парникових газів у глобальному масштабі [12].

З огляду на складність структури витрат адитивного виробництва важливу роль відіграють сучасні методи калькуляції витрат, зокрема метод калькуляції на основі діяльності (Activity-Based Costing). Цей підхід дозволяє більш точно розподілити непрямі витрати між виробничими операціями.

Окремий напрям досліджень присвячений застосуванню адитивних технологій у будівництві. Використання технологій 3D-друку бетону (3D Concrete Printing) відкриває нові можливості для підвищення ефективності будівельного виробництва. І. Хагер, А. Голонка та Р. Путановіч зазначають, що адитивні технології можуть суттєво знизити витрати на будівництво, скоротити терміни реалізації проєктів та зменшити екологічний вплив будівельної діяльності [13].

Практичні результати впровадження цих технологій підтверджуються реалізованими

Таблиця 1

#### Основні економічні показники оцінювання ефективності адитивних технологій

| Економічний показник              | Метод визначення   | Економічний зміст                                       | Значення для оцінювання                                     |
|-----------------------------------|--|---|---|
| Собівартість одиниці продукції    | Калькуляція матеріальних, енергетичних і трудових витрат | Визначає економічну доцільність використання технології | Базовий показник порівняння з традиційним виробництвом      |
| Продуктивність обладнання         | Обсяг нанесеного ма-теріалу за одиницю часу              | Характеризує швидкість виробничого процесу              | Визначає придатність технології для серійного виробництва   |
| Коефіцієнт використання матеріалу | Відношення маси матеріалу до маси виробу                 | Відображає ресурсну ефективність виробництва            | Демонструє переваги адитивних технологій                    |
| Час виробничого циклу             | Тривалість виробничого процесу                           | Визначає швидкість виготовлення продукції               | Важливий для розробки макета та індивідуального виробництва |
| Час виходу на ринок               | Період від розробки до комерціалізації                   | Стратегічна характеристика інноваційності               | Підвищує конкурентоспроможність підприємств                 |

Джерело: сформовано автором на основі [5-7]

Таблиця 2

**Методи оцінювання інвестиційної ефективності адитивних технологій**

| Метод                         | Основний показник              | Економічна інтерпретація                                   | Переваги  |
|-------------------------------|--------------------------------|--|---|
| Net Present Value (NPV)       | Чиста приведена вартість       | Оцінює різницю між інвестиціями та дисконтованими доходами | Враховує часову вартість грошей                   |
| Internal Rate of Return (IRR) | Внутрішня норма рентабельності | Визначає прибутковість ін-вестиційного проекту             | Дає можливість по-рівнювати альтернативні проекти |
| Profitability Index (PI)      | Індекс прибутковості           | Співвідношення вигід до інвестицій                         | Зручний для ранжування проектів                   |
| Payback Period                | Період окупності               | Час повернення інвестицій                                  | Простота використання                             |
| Activity-Based Costing        | Операційна собівартість        | Точний розподіл непрямих витрат                            | Підвищує точність калькуляції                     |

*Джерело: сформовано автором на основі [5; 11]*

проектами. Зокрема, за даними COBOD International, застосування технології 3D-друку у будівництві дозволяє скоротити час будівництва приблизно на 30 % та знизити витрати на 10 % порівняно з традиційними методами [14].

Таким чином, результати проведеного аналізу свідчать, що адитивні технології формують нову модель виробництва, у межах якої поєднуються інженерні інновації, економічна ефективність та цифрові інструменти управління виробничими процесами.

Важливою сферою практичного застосування адитивних технологій є будівельна галузь, яка традиційно характеризується високою матеріалоемністю, значною тривалістю виробничих процесів та значними витратами трудових ресурсів. У цьому контексті технології тривимірного друку будівельних конструкцій (3D Concrete Printing, 3DCP) розглядаються як один із перспективних інструментів модернізації будівельної індустрії.

Застосування адитивних технологій у будівництві ґрунтується на принципі автоматизованого пошарового формування конструкцій із використанням цифрових моделей будівельних об'єктів. Такий підхід дозволяє інтегрувати етапи проектування та виробництва, що забезпечує скорочення часових витрат та підвищення точності будівельних робіт.

Як зазначають І. Хагер, А. Голонка та Р. Путановіч, технології 3D-друку у будівництві мають значний потенціал підвищення ефективності будівельних процесів завдяки автоматизації виробництва, зниженню витрат на матеріали та скороченню обсягів ручної праці [13]. Дослідники підкреслюють, що адитивні

технології дозволяють не лише оптимізувати виробничі процеси, але й створювати нові архітектурні форми, які складно або неможливо реалізувати традиційними методами будівництва.

Економічний ефект впровадження адитивних технологій у будівництві проявляється через декілька ключових механізмів. По-перше, автоматизація процесу зведення конструкцій дозволяє значно знизити витрати на робочу силу. По-друге, точність дозування матеріалу забезпечує мінімізацію будівельних відходів. По-третє, використання цифрових моделей дозволяє інтегрувати процеси проектування, виробництва та контролю якості.

Практичні результати застосування адитивних технологій у будівництві підтверджуються низкою реалізованих проектів. Зокрема, у проекті DREIHAUS у Німеччині застосування технології 3D-друку дозволило скоротити тривалість будівництва приблизно на 30 % та знизити витрати на будівництво приблизно на 10 % порівняно з традиційними методами [14].

У цьому контексті важливою є систематизація економічних ефектів використання адитивних технологій у різних галузях економіки.

Окрім безпосередніх виробничих ефектів, адитивні технології мають значний макроекономічний потенціал. За оцінками McKinsey Global Institute, економічний ефект від поширення адитивного виробництва може досягти від 230 до 550 млрд доларів США щорічно [3]. Цей ефект формується через зниження виробничих витрат, оптимізацію логістичних ланцюгів та прискорення процесу створення нових продуктів.

Таблиця 3

**Економічні ефекти впровадження адитивних технологій у промисловості та будівництві**

| Сфера застосування          | Тип технології                  | Економічний ефект              | Зниження витрат | Скорочення часу         |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Промислове виробництво      | Металевий 3D-друк (DMLS, EBM)   | Зменшення матеріальних витрат  | до 70 %         | до 50 %                 |
| Інструментальне виробництво | Адитивне виготовлення прес-форм | Скорочення виробничих витрат   | 15–35 %         | 12–60 %                 |
| Будівництво                 | 3D Concrete Printing            | Зниження вартості будівництва  | ~10 %           | ~30 %                   |
| Житлове будівництво         | 3D-друк будинків                | Зменшення витрат на працю      | до 50 %         | будівництво за 48 годин |
| Локалізоване виробництво    | Розподілене AM                  | Скорочення транспортних витрат | 10–20 %         | значне                  |

*Джерело: сформовано автором на основі [10; 12; 13; 14]*

Важливою особливістю адитивних технологій є їхній вплив на трансформацію глобальних виробничих ланцюгів. Традиційна модель глобального виробництва базується на концентрації виробничих потужностей у країнах з низькою вартістю праці. Натомість адитивні технології створюють передумови для децентралізації виробництва та розвитку локалізованих виробничих систем.

Як підкреслюється у доповіді OECD, розвиток цифрових виробничих технологій може призвести до суттєвої зміни географії світового виробництва, оскільки виробництво стає менш залежним від масштабних заводів і більше орієнтованим на локальні виробничі системи [1].

Значний інтерес становлять також екологічні аспекти використання адитивних технологій. Дослідження М. Геблера, А. Й. М. Схот-Уйтеркампа та К. Віссера демонструють, що поширення адитивного виробництва може сприяти зниженню енергоспоживання на глобальному рівні та скороченню викидів парникових газів [12]. За оцінками дослідників, потенційне зниження первинного енергоспоживання може становити від 2,5 до 9,3 ЕДж, а скорочення викидів CO<sub>2</sub> – до 525 млн тонн.

Важливим аспектом економічного аналізу адитивних технологій є також оцінювання їх впливу на структуру ринків та конкурентне середовище. К. Веллер, Р. Клеер та Ф. Т. Піллер доводять, що адитивні технології можуть знизити бар'єри входу на ринки, оскільки усувають потребу у дорогих виробничих інстру-

ментах та обладнанні [8]. Це сприяє появі нових виробників і підвищує рівень конкуренції у багатьох галузях.

Разом із тим, розвиток адитивного виробництва створює нові виклики, пов'язані з управлінням інтелектуальною власністю та захистом цифрових моделей продукції. У цьому контексті важливу роль відіграє формування нових інституційних механізмів регулювання цифрового виробництва.

Проведений аналіз наукових досліджень та практичного досвіду впровадження адитивних технологій дозволяє сформулювати узагальнену концептуальну модель оцінювання економічної ефективності адитивного виробництва.

У межах цієї моделі економічна ефективність адитивних технологій визначається через інтеграцію трьох ключових аналітичних рівнів:

1. Операційний рівень, який охоплює аналіз виробничих показників (собівартість продукції, продуктивність обладнання, коефіцієнт використання матеріалу).

2. Інвестиційний рівень, який включає оцінювання економічної доцільності технологічних проєктів із використанням методів NPV, IRR та аналізу чутливості.

3. Стратегічний рівень, який враховує вплив адитивних технологій на конкурентоспроможність підприємств, інноваційний розвиток та трансформацію виробничих систем.

Застосування інтегрованого підходу до оцінювання ефективності адитивних техно-

логій дозволяє врахувати як прямі економічні ефекти їх використання, так і ширші інноваційні та макроекономічні наслідки.

Отже, результати проведеного дослідження свідчать, що адитивні технології формують нову модель виробництва, у межах якої поєднуються цифрові інструменти проектування, автоматизовані виробничі системи та нові економічні механізми створення вартості. Їх впровадження забезпечує підвищення ефективності використання ресурсів, скорочення виробничих витрат і прискорення інноваційних процесів у промисловості та будівництві.

Водночас ефективність адитивних технологій значною мірою залежить від рівня розвитку цифрової інфраструктури, інституційного середовища та інноваційної спроможності підприємств. Саме тому подальші дослідження у цій сфері мають бути спрямовані на розроблення комплексних методичних підходів до оцінювання економічної ефективності адитивних технологій у контексті цифрової трансформації виробництва.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження здійснено комплексний аналіз економічної ефективності адитивних технологій у контексті цифрової трансформації виробничих систем. Доведено, що адитивне виробництво формує нову технологічну та економічну парадигму розвитку промисловості, яка ґрунтується на інтеграції цифрового проектування, автоматизованих виробничих процесів та інноваційних матеріалів. Така трансформація змінює традиційні механізми створення доданої вартості, оскільки акцент переноситься з економії на масштабі виробництва на гнучкість, індивідуалізацію продукції та оптимізацію ресурсного використання.

У статті систематизовано ключові економічні показники оцінювання ефективності адитивних технологій, які охоплюють операційні, інвестиційні та стратегічні аспекти функціонування виробничих систем. Встановлено, що економічна ефективність адитивного виробництва формується під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів, зокрема продуктивності обладнання, рівня використання матеріалів, структури виробничих витрат та

швидкості впровадження інновацій. Особливу роль відіграє здатність адитивних технологій скорочувати виробничі цикли, зменшувати матеріальні втрати та підвищувати гнучкість виробничих процесів.

Результати дослідження підтверджують, що використання адитивних технологій здатне забезпечити значні економічні переваги для підприємств, включаючи зниження виробничих витрат, оптимізацію логістичних ланцюгів та підвищення конкурентоспроможності продукції. Водночас встановлено, що ефективність впровадження таких технологій значною мірою залежить від рівня цифрової зрілості підприємств, розвитку інституційного середовища та доступності інвестиційних ресурсів.

Наукова новизна дослідження полягає у систематизації методологічних підходів до оцінювання економічної ефективності адитивних технологій та обґрунтуванні інтегрованого підходу, який поєднує інструменти економічного аналізу витрат і вигід інновацій, методи інвестиційного оцінювання технологічних проєктів та стратегічний аналіз розвитку виробничих систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів для оцінювання економічної доцільності впровадження адитивних технологій на підприємствах промисловості та будівництва, а також для формування стратегій технологічної модернізації виробництва в умовах цифрової економіки.

Перспективними напрямками подальших наукових досліджень є розроблення інтегрованих економіко-математичних моделей оцінювання ефективності адитивних технологій з урахуванням факторів технологічного розвитку та інституційного середовища. Важливим завданням також є дослідження впливу адитивного виробництва на трансформацію глобальних ланцюгів створення вартості, структуру зайнятості та формування нових моделей промислового розвитку. Особливої уваги потребує аналіз економічних та екологічних ефектів використання адитивних технологій у довгостроковій перспективі, зокрема у контексті розвитку концепції сталого виробництва та циркулярної економіки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. OECD. *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*. Paris: OECD Publishing, 2017. 444 p. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>.

2. Attaran M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing // *Business Horizons*. 2017. Vol. 60, No. 5. P. 677–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>.
3. McKinsey Global Institute. *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. New York: McKinsey & Company, 2013. 176 p.
4. Wohlers T. T., et al. *Wohlers Report 2023: 3D Printing and Additive Manufacturing – Global State of the Industry*. Fort Collins: Wohlers Associates, ASTM International, 2023. 425 p.
5. Thomas D. S., Gilbert S. W. *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing: A Literature Review and Discussion*. NIST Special Publication 1176. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2014. 77 p. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>.
6. Baumers M., Dickens P., Tuck C., Hague R. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push // *Technological Forecasting and Social Change*. 2016. Vol. 102. P. 193–201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>.
7. Ford S., Despeisse M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 137. P. 1573–1587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>.
8. Weller C., Kleer R., Piller F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited // *International Journal of Production Economics*. 2015. Vol. 164. P. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>.
9. Hopkinson N., Dickens P. Analysis of rapid manufacturing – using layer manufacturing processes for production // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2003. Vol. 217, No. 1. P. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.1243/095440603762554596>.
10. Huang R., Riddle M. E., Graziano D., Das S., Nimbalkar S., Cresko J., Masanet E. Environmental and economic implications of distributed additive manufacturing: The case of injection mold tooling // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. Vol. 21, No. S1. P. 130–143. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12641>.
11. Busachi A., Erkoyuncu J., Colegrove P., Martina F., Watts C., Drake R. A review of additive manufacturing technology and cost estimation techniques for the defence sector // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2017. Vol. 19. P. 117–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.07.001>.
12. Gebler M., Schoot Uiterkamp A. J. M., Visser C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies // *Energy Policy*. 2014. Vol. 74. P. 158–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>.
13. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 151. P. 292–299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.
14. COBOD International. *COBOD Technology Enables 30% Faster and 10% More Cost-Effective Construction*. Copenhagen: COBOD International, 2025. URL: <https://cobod.com/cobod-technology-enables-30-faster-and-10-more-cost-effective-construction/> (дата звернення: 06.03.2026).
15. European Commission. *Supporting Digitalisation of the Construction Sector and SMEs: Including Building Information Modelling*. Brussels: European Commission, 2019. 77 p.
16. Mani M., Lyons K. W., Gupta S. K. Sustainability characterization for additive manufacturing // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2014. Vol. 119. P. 419–428. DOI: <https://doi.org/10.6028/jres.119.016>.
17. Jiang R., Kleer R., Piller F. T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030 // *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 117. P. 84–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.006>.
18. UNIDO. *Industrial Development Report 2020: Industrializing in the Digital Age*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2019. 216 p.

## REFERENCES:

1. OECD. *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*. Paris: OECD Publishing, 2017. 444 p. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>.
2. Attaran M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing // *Business Horizons*. 2017. Vol. 60, No. 5. P. 677–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>.
3. McKinsey Global Institute. *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. New York: McKinsey & Company, 2013. 176 p.
4. Wohlers T. T., et al. *Wohlers Report 2023: 3D Printing and Additive Manufacturing – Global State of the Industry*. Fort Collins: Wohlers Associates, ASTM International, 2023. 425 p.

5. Thomas D. S., Gilbert S. W. *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing: A Literature Review and Discussion*. NIST Special Publication 1176. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2014. 77 p. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>.
6. Baumers M., Dickens P., Tuck C., Hague R. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push // *Technological Forecasting and Social Change*. 2016. Vol. 102. P. 193–201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>.
7. Ford S., Despeisse M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 137. P. 1573–1587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>.
8. Weller C., Kleer R., Piller F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited // *International Journal of Production Economics*. 2015. Vol. 164. P. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>.
9. Hopkinson N., Dickens P. Analysis of rapid manufacturing — using layer manufacturing processes for production // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2003. Vol. 217, No. 1. P. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.1243/095440603762554596>.
10. Huang R., Riddle M. E., Graziano D., Das S., Nimbalkar S., Cresko J., Masanet E. Environmental and economic implications of distributed additive manufacturing: The case of injection mold tooling // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. Vol. 21, No. S1. P. 130–143. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12641>.
11. Busachi A., Erkoyuncu J., Colegrove P., Martina F., Watts C., Drake R. A review of additive manufacturing technology and cost estimation techniques for the defence sector // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2017. Vol. 19. P. 117–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.07.001>.
12. Gebler M., Schoot Uiterkamp A. J. M., Visser C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies // *Energy Policy*. 2014. Vol. 74. P. 158–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>.
13. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 151. P. 292–299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.
14. COBOD International. *COBOD Technology Enables 30% Faster and 10% More Cost-Effective Construction*. Copenhagen: COBOD International, 2025. URL: <https://cobod.com/cobod-technology-enables-30-faster-and-10-more-cost-effective-construction/> (accessed: 06.03.2026).
15. European Commission. *Supporting Digitalisation of the Construction Sector and SMEs: Including Building Information Modelling*. Brussels: European Commission, 2019. 77 p.
16. Mani M., Lyons K. W., Gupta S. K. Sustainability characterization for additive manufacturing // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2014. Vol. 119. P. 419–428. DOI: <https://doi.org/10.6028/jres.119.016>.
17. Jiang R., Kleer R., Piller F. T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030 // *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 117. P. 84–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.006>.
18. UNIDO. *Industrial Development Report 2020: Industrializing in the Digital Age*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2019. 216 p.

Дата надходження статті: 10.03.2026

Дата прийняття статті: 26.03.2026

Дата публікації статті: 06.04.2026