

Коритько Д.Г.

кандидат юридичних наук,

директор

ТОВ «Юкрєйніан канстракшн аддітив технолоджіс»;

керівник

НДЦ INCORE

(Institute for Construction and Reconstruction Engineering)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8486-6840>

Korytko Dmytrii

Candidate of Law,

Director of

LLC “Ukrainian Construction Additive Technologies”;

Head of

NDC INCORE

(Institute for Construction and Reconstruction Engineering)

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ДРАЙВЕР СТРУКТУРНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ТА ПОВОЄННОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ДЕРЖАВИ

У статті досліджено економічний потенціал адитивних технологій як одного з ключових чинників структурної модернізації економіки та повоєнної реконструкції держави. Обґрунтовано, що в умовах глобальної технологічної трансформації виробничих систем адитивне виробництво формує нову парадигму організації промислового виробництва, засновану на цифровому проєктуванні, безінструментальному виготовленні продукції та високій гнучкості виробничих процесів. Проведений аналіз сучасних наукових підходів до ролі технологічних інновацій у забезпеченні економічного зростання засвідчив, що технологічний прогрес виступає системоутворюючим фактором розвитку національних економік. У цьому контексті адитивні технології розглядаються як один із ключових елементів сучасної індустріальної трансформації, що забезпечує підвищення ресурсної ефективності виробництва, скорочення виробничих циклів та оптимізацію ланцюгів постачання. Встановлено, що впровадження адитивного виробництва створює передумови для формування нових виробничих моделей, заснованих на децентралізації виробничих процесів, гнучкості виробничих систем та можливості індивідуалізації продукції. Особливу увагу приділено аналізу економічних ефектів застосування адитивних технологій у різних галузях економіки, зокрема у промисловості, медицині, технічному обслуговуванні обладнання та будівництві. Показано, що використання технологій 3D-друку у будівництві створює можливість значного прискорення процесів відновлення житлової та інфраструктурної нерухомості в умовах післявоєнної реконструкції. Доведено, що поширення адитивних технологій сприяє формуванню мультиплікативного економічного ефекту, який проявляється у розвитку суміжних галузей, стимулюванні інноваційного підприємництва та підвищенні технологічної конкурентоспроможності економіки. У результаті дослідження обґрунтовано, що інтеграція адитивного виробництва у національну інноваційну систему може стати важливим фактором переходу від моделі відновлення економіки до моделі її технологічної модернізації.

Ключові слова: адитивні технології, адитивне виробництво, структурна модернізація економіки, інноваційний розвиток економіки, технологічна трансформація виробничих систем, індустріальна політика, цифрова трансформація промисловості, управління інноваціями, економічна реконструкція; відновлення економіки, індустрія 4.0, інноваційна економіка, технологічна конкурентоспроможність.

Вступ та постановка проблеми. У сучасних умовах глобальної технологічної трансформації економічних систем інноваційні виробничі технології відіграють дедалі важливішу роль у забезпеченні довгострокового економічного зростання, підвищенні продуктивності та структурній модернізації національних економік. Теорії економічного зростання переконливо доводять, що саме технологічний прогрес є ключовим джерелом підвищення продуктивності праці та формування нових конкурентних переваг економіки. У цьому контексті особливу увагу науковців і практиків привертають адитивні технології (additive manufacturing), які формують

нову технологічну парадигму організації виробництва, засновану на цифровому проєктуванні, без інструментальному виготовленні продукції та високому рівні гнучкості виробничих процесів.

Зростання масштабів використання адитивного виробництва у світовій промисловості свідчить про його значний потенціал щодо трансформації виробничих систем, скорочення виробничих циклів, зниження матеріальних витрат та оптимізації ланцюгів постачання. Водночас інтеграція адитивних технологій у виробничу структуру економіки створює передумови для формування нових індустріальних кластерів, розвитку інноваційного підприємництва

та підвищення технологічної конкурентоспроможності держав.

Особливої актуальності зазначена проблематика набуває для України в умовах повоєнної економічної реконструкції, коли поряд із відновленням зруйнованої інфраструктури постає стратегічне завдання модернізації виробничих систем на основі передових технологій. У цьому контексті дослідження економічного потенціалу адитивних технологій як інструменту структурної модернізації економіки та прискорення відбудови держави становить важливе наукове і практичне завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У науковій літературі проблематика впливу технологічних інновацій на економічний розвиток розглядається крізь призму фундаментальних теоретичних підходів до природи економічного зростання та структурної трансформації господарських систем. У класичній роботі Р. Солоу технологічний прогрес визначається як ключовий чинник підвищення продуктивності праці та довгострокового економічного розвитку, що відображає онтологічну роль інновацій у формуванні виробничого потенціалу економіки [1]. Подальший розвиток цієї теоретичної традиції пов'язаний із концепцією ендогенного зростання П. Ромера, відповідно до якої знання, інновації та людський капітал виступають внутрішніми джерелами економічної динаміки та формують передумови для накопичення технологічних компетенцій [2]. Водночас Й. Шумпетер розглядав інноваційний розвиток як процес «креативного руйнування», у межах якого нові технологічні рішення трансформують економічні структури, створюючи нові ринки, виробничі моделі та інституційні форми організації економічної діяльності [3].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється ролі передових виробничих технологій як матеріальної основи нової індустріальної парадигми. Зокрема, у доповіді UNIDO підкреслюється, що поширення цифрових виробничих технологій – штучного інтелекту, Інтернету речей, робототехніки та адитивного виробництва – формує нову архітектуру промислового розвитку, у якій стираються межі між фізичними та цифровими виробничими системами [4]. У цьому контексті адитивні технології розглядаються як один із ключових елементів технологічної трансформації виробничих процесів. Дослідження С. Форда та М. Деспейс засвідчують, що адитивне виробництво сприяє підвищенню ресурсної ефективності, мінімізації виробничих відходів та розвитку циркулярних виробничих моделей [5]. Водночас М. Баумерс та співавтори акцентують увагу на економічних обмеженнях поширення адитивного виробництва, зокрема на високій вартості обладнання та матеріалів, що уповільнює його масове впровадження у промисловість [6].

Систематичний огляд С. Хуанга та співавторів демонструє значне розширення сфер використання адитивних технологій – від аерокосмічної промисловості та автомобілебудування до медицини та біоінженерії [7]. Аналітичні звіти Wohlers Associates

підтверджують стабільне зростання глобального ринку адитивного виробництва та його поступовий перехід від прототипування до серійного виготовлення кінцевих виробів [8; 9]. Важливим є також дослідження М. Гейлера та співавторів, у якому підкреслюється значний екологічний потенціал адитивних технологій, зокрема можливість скорочення споживання енергії та викидів парникових газів у виробничих процесах [10].

Значна частина сучасних досліджень присвячена економічним ефектам впровадження адитивного виробництва. Так, М. Аггаран зазначає, що технологія 3D-друку здатна суттєво скоротити час від проектування до виробництва, забезпечити гнучкість виробничих систем та створити умови для масової кастомізації продукції [11]. Аналітики McKinsey & Company наголошують на потенціалі адитивних технологій щодо оптимізації ланцюгів постачання та формування нових бізнес-моделей у промисловості [12]. Д. Томас і С. Гілберт підкреслюють необхідність комплексної оцінки економічної ефективності адитивного виробництва з урахуванням системних ефектів для виробничих систем і логістичної інфраструктури [13]. У свою чергу, ОЕСР розглядає адитивне виробництво як один із ключових драйверів сучасної технологічної трансформації економіки у контексті переходу до цифрової індустрії [14].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із формуванням нових економічних моделей на основі адитивних технологій. Зокрема, Л. Мельник та співавтори вводять концепцію «адитивної економіки», що передбачає дематеріалізацію виробництва, скорочення використання природних ресурсів та розвиток інноваційних підприємницьких екосистем [15]. Практичні аспекти застосування адитивних технологій активно досліджуються у сфері будівництва, де технології 3D-друку використовуються для прискореного зведення житлових та інфраструктурних об'єктів [16; 17; 18]. Водночас результати досліджень Європейської Комісії у межах індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) свідчать, що інтеграція адитивних технологій є важливою складовою цифрової трансформації промисловості та розвитку Індустрії 4.0 [19].

Попри значний науковий доробок, у сучасній літературі недостатньо розкритими залишаються питання системного економічного впливу адитивних технологій на процеси структурної модернізації національних економік, а також їх ролі у повоєнній економічній реконструкції держав. Зокрема, потребують подальшого дослідження механізми інтеграції адитивного виробництва у національні інноваційні системи, оцінка його мультиплікативного ефекту для галузевих економічних структур та визначення стратегічних напрямів використання цих технологій у процесі відновлення та модернізації економіки України.

Метою статті є теоретичне обґрунтування економічного потенціалу адитивних технологій як інструменту структурної модернізації національної економіки та важливого чинника повоєнної

реконструкції держави. У межах дослідження передбачається проаналізувати сучасні наукові підходи до розвитку адитивного виробництва, визначити його економічні та технологічні ефекти для виробничих систем, а також окреслити стратегічні напрями використання цих технологій у процесі відновлення та модернізації економіки.

Методологічна основа дослідження ґрунтується на поєднанні загальнонаукових і спеціальних методів економічного аналізу, що забезпечують комплексне осмислення ролі адитивних технологій у процесах структурної модернізації економіки. Теоретичний фундамент становлять положення неокласичної та ендогенної теорій економічного зростання, а також шумпетеріанська концепція інноваційної динаміки, що дозволяє розглядати технологічні зміни як онтологічну основу трансформації виробничих систем. У дослідженні використано методи системного та інституційного аналізу, порівняльно-економічний підхід, елементи структурно-функціонального аналізу та узагальнення наукових джерел. Їх застосування дало змогу ідентифікувати економічні ефекти адитивного виробництва та визначити його потенціал у контексті модернізації та повоєнної реконструкції економіки.

Результати дослідження. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується переходом до нової технологічної парадигми, в основі якої лежить інтеграція цифрових технологій, автоматизації виробничих процесів та інноваційних методів виготовлення продукції. У цьому контексті адитивні технології (additive manufacturing, AM) розглядаються як один із ключових інструментів трансформації виробничих систем і формування нової моделі індустріального розвитку. Їхнє поширення є складовою ширшого процесу технологічної еволюції економічних систем, що проявляється у зміні виробничих методів, структури промисловості та характеру організації економічної діяльності.

Теоретичні засади аналізу технологічних інновацій у контексті економічного розвитку формувалися у працях класиків економічної теорії. Зокрема, Р. Солоу у дослідженні економічного зростання довів, що значна частина підвищення продуктивності праці пояснюється саме технологічним прогресом, а не накопиченням фізичного капіталу [1]. Виявлений ним «залишок Солоу» став фундаментальним аргументом на користь того, що технологічні інновації є системоутворюючим фактором економічної динаміки. Подальший розвиток цієї концепції відбувся у межах теорії ендогенного зростання, запропонованої П. Ромером. Відповідно до цієї теорії, технологічні зміни є результатом цілеспрямованих інвестицій у наукові дослідження, освіту та розвиток людського капіталу, що забезпечує довгострокове підвищення продуктивності економіки [2].

Важливий внесок у розуміння природи інноваційного розвитку зробив Й. Шумпетер, який розглядав економічну еволюцію як процес «креативного руйнування», у межах якого нові технології трансформують виробничі структури та формують нові

ринки [3]. У межах цієї концепції інновації виступають не лише технологічним, а й інституційним фактором економічної трансформації, що змінює структуру промисловості та логіку функціонування економічних систем.

Сучасні дослідження розвитку промисловості підтверджують, що цифрові виробничі технології формують нову фазу індустріальної трансформації. У доповіді UNIDO підкреслюється, що інтеграція штучного інтелекту, робототехніки, аналітики великих даних, Інтернету речей та адитивного виробництва формує нову архітектуру виробничих систем, у якій стираються межі між фізичними та цифровими компонентами виробництва [4]. У цьому контексті адитивні технології розглядаються як один із ключових елементів індустрії нового покоління.

Адитивне виробництво принципово відрізняється від традиційних субтрактивних технологій. Якщо у традиційних виробничих процесах матеріал видаляється з заготовки шляхом механічної обробки, то у випадку адитивного виробництва об'єкти формуються шляхом послідовного нанесення матеріалу шар за шаром відповідно до цифрової моделі. Така технологічна логіка дозволяє значно зменшити витрати матеріалів, скоротити виробничі цикли та створювати деталі складної геометричної форми, які неможливо виготовити традиційними методами [7].

Згідно з аналітичними даними Wohlers Associates, глобальний ринок адитивного виробництва демонструє стабільну тенденцію до зростання. У 2023 році обсяг світового ринку AM перевищив 20 млрд доларів США, а темпи його зростання протягом останніх десятиліть залишаються стабільно високими [8; 9]. Ця динаміка свідчить про поступовий перехід адитивних технологій від етапу експериментального застосування до масштабного промислового використання.

Значний інтерес викликає також питання впливу адитивного виробництва на структуру виробничих систем. Дослідження С. Форда та М. Деспейс показують, що адитивні технології здатні змінити логіку виробництва, зменшуючи залежність від масового виробництва та сприяючи розвитку індивідуалізованих виробничих моделей [5]. У свою чергу, М. Баумер та співавтори підкреслюють, що економічна ефективність адитивного виробництва значною мірою залежить від масштабу виробництва, вартості обладнання та типу використовуваних матеріалів [6].

З огляду на історичний розвиток промислових технологій, адитивне виробництво можна розглядати як логічний етап еволюції виробничих систем, що відображає поступовий перехід від механізації до цифровізації виробництва.

Як видно з представленої таблиці, кожний етап технологічної еволюції супроводжувався якісною трансформацією виробничих систем та формуванням нових економічних структур. Адитивні технології у цьому контексті можна розглядати як наступний етап розвитку індустріального виробництва, що поєднує можливості цифрового проектування, автоматизації та децентралізації виробничих процесів.

Еволюція технологічних інновацій у виробничих системах

Етап технологічного розвитку	Ключові технології	Характер виробничих процесів	Економічні наслідки	Вплив на продуктивність
Перша промислова революція	Паровий двигун, механізація текстильного виробництва	Перехід від ручної до машинної праці	Формування фабричного виробництва	Зростання продуктивності у 2–4 рази
Друга промислова революція	Електрифікація, конвеєрне виробництво	Масове виробництво та стандартизація	Зниження витрат виробництва	Стабільне зростання TFP
Третя промислова революція	Комп'ютеризація, автоматизація	Гнучкі виробничі системи	Скорочення виробничих циклів	Підвищення ефективності на 20–40 %
Четверта промислова революція	AI, IoT, робо-тотехніка, цифрові платформи	Кіберфізичні системи виробництва	Цифровізація промисловості	Зростання ефективності виробництва
Аддитивна технологічна парадигма	3D-друк металів, полімерів, бетону	Шарове безінструментальне виробництво	Скорочення логістики та матеріальних витрат	Підвищення продуктивності у спеціалізованих секторах

Джерело: сформовано автором на основі [1– 4; 7; 8]

Таким чином, поширення адитивних технологій формує нову логіку організації промислового виробництва, що характеризується підвищеною гнучкістю, можливістю локального виробництва та скороченням традиційних ланцюгів постачання. Ці особливості створюють передумови для структурної модернізації економіки та формування нових моделей індустріального розвитку, що набуває особливої актуальності в умовах повоєнної реконструкції держави.

Економічний потенціал адитивних технологій у сучасних виробничих системах визначається комплексом факторів, що охоплюють підвищення ресурсної ефективності, скорочення виробничих циклів, трансформацію логістичних мереж та зміну організаційної структури промислового виробництва. У науковій літературі адитивне виробництво розглядається не лише як окрема технологічна інновація, а як елемент ширшої трансформації індустріальної парадигми, що поєднує цифрове проектування, автоматизоване виробництво та нові моделі організації ланцюгів створення вартості.

Однією з ключових економічних переваг адитивного виробництва є значне скорочення матеріальних витрат. На відміну від традиційних субтрактивних технологій, де значна частина матеріалу видаляється у процесі механічної обробки, адитивні технології передбачають нанесення матеріалу лише у тих місцях, де це необхідно для формування кінцевого виробу. Така технологічна логіка дозволяє зменшити виробничі відходи та підвищити ефективність використання ресурсів. Дослідження М. Геблера, А. Схоот Уітеркампа та К. Фіссера демонструє, що широке впровадження адитивного виробництва здатне забезпечити суттєве скорочення енергоспоживання та викидів парникових газів у промисловості [10].

Іншим важливим аспектом є трансформація виробничих ланцюгів. Традиційні виробничі системи

характеризуються складною структурою глобальних ланцюгів постачання, що включають численні етапи транспортування, складування та обробки матеріалів. Адитивні технології створюють можливість децентралізації виробництва та локалізації виготовлення продукції безпосередньо у місцях її споживання. Аналітичні дослідження McKinsey & Company підкреслюють, що впровадження адитивного виробництва може суттєво скоротити довжину виробничих ланцюгів, зменшити потребу у складських запасах та прискорити вихід нових продуктів на ринок [12].

Важливим економічним ефектом є також скорочення часу від етапу проектування до виготовлення продукції. У традиційному виробництві процес створення нового продукту часто потребує виготовлення складних інструментів та форм, що значно збільшує тривалість виробничого циклу. Адитивні технології усувають необхідність у значній частині такого обладнання, що дозволяє значно прискорити процес виробництва. За оцінками М. Аттарана, використання технологій 3D-друку може скоротити час виробничого циклу з кількох тижнів до кількох годин, що створює принципово нові можливості для розвитку інноваційних виробничих моделей [11].

Значну увагу у наукових дослідженнях приділено також економічній ефективності адитивного виробництва. Д. Томас та С. Гілберт у дослідженні, проведеному Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST), підкреслюють, що оцінка економічної ефективності адитивних технологій повинна враховувати не лише прямі виробничі витрати, а й системні ефекти, пов'язані зі скороченням логістичних витрат, зменшенням складських запасів та підвищенням гнучкості виробництва [13].

Особливо перспективним напрямом використання адитивних технологій є будівельна галузь. Будівництво традиційно характеризується відносно низькими темпами зростання продуктивності праці порівняно з іншими секторами економіки. Адитивні

технології будівництва, зокрема 3D-друк бетоном, створюють можливість радикального прискорення будівельних процесів та зниження витрат на реалізацію будівельних проєктів.

Дослідження S. Khajavi та співавторів показує, що використання технологій 3D-друку у будівництві може забезпечити значне скорочення витрат і часу реалізації будівельних проєктів, особливо у випадку складних архітектурних конструкцій [17]. При цьому важливою перевагою адитивних технологій є можливість автоматизації значної частини будівельних процесів, що зменшує потребу у значних трудових ресурсах.

Практичні приклади застосування адитивних технологій у будівництві підтверджують їхню економічну ефективність. Зокрема, проєкт DREIHAUS у Німеччині, реалізований компанією PERI 3D Construction із використанням технології COBOD, продемонстрував можливість скорочення часу будівництва приблизно на 30 % та зниження витрат на будівництво приблизно на 10 % порівняно з традиційними технологіями [18].

У контексті повоєнної реконструкції України особливого значення набуває розвиток адитивних технологій у будівництві житла та інфраструктурних об'єктів. У 2024 році поблизу Ірпеня було реалізовано проєкт першого в Україні житлового будинку, створеного за допомогою технології будівельного 3D-друку. Будинок площею приблизно 130 м² було надруковано за 58 годин, що демонструє значний потенціал адитивних технологій у прискоренні процесів відновлення житлової інфраструктури [16].

Аналіз наведених прикладів демонструє, що адитивні технології здатні забезпечити значне підвищення ефективності будівельної галузі. Їх використання дозволяє скоротити витрати на будівництво, прискорити реалізацію будівельних проєктів та зменшити залежність від дефіцитних трудових ресурсів.

Таким чином, адитивні технології формують принципово нову модель організації виробничих процесів, що характеризується високим рівнем автоматизації, гнучкості та ресурсної ефективності.

У поєднанні з цифровими технологіями вони створюють передумови для формування нової архітектури індустріального розвитку, що може стати важливим фактором структурної модернізації економіки та прискорення процесів повоєнної реконструкції держави.

Поширення адитивних технологій у сучасній економіці має не лише локальний технологічний ефект, але й формує системні зміни у функціонуванні галузевих економічних систем. У науковій літературі підкреслюється, що вплив адитивного виробництва на економічну динаміку є диференційованим і залежить від специфіки окремих секторів промисловості, рівня технологічної складності продукції та характеру виробничих процесів. Найбільш відчутні переваги адитивних технологій спостерігаються у високотехнологічних галузях, де значну роль відіграють складність конструкцій, індивідуалізація продукції та необхідність швидкого прототипування.

Однією з галузей, у якій адитивні технології демонструють найбільший економічний ефект, є аерокосмічна промисловість. У цьому секторі 3D-друк дозволяє створювати конструкції складної геометрії з оптимізованою топологією, що сприяє зменшенню маси деталей при збереженні або навіть підвищенні їхніх механічних характеристик. Аналітичні дослідження McKinsey & Company підкреслюють, що адитивне виробництво дозволяє консолідувати кілька компонентів у єдину деталь, зменшуючи кількість з'єднань та підвищуючи надійність конструкцій [12]. Це, у свою чергу, сприяє зниженню виробничих витрат та підвищенню ефективності виробничих процесів.

Важливим напрямом застосування адитивних технологій є також сектор технічного обслуговування та ремонту промислового обладнання (maintenance, repair and operations – MRO). У традиційних виробничих системах постачання запасних частин часто потребує значних часових витрат, пов'язаних із транспортуванням та логістикою. Використання технологій 3D-друку дозволяє виготовляти необхідні деталі безпосередньо у місці їх використання, що суттєво скорочує час простою

Таблиця 2

Економічні переваги використання адитивних технологій у будівництві

Технологія / проєкт	Країна	Технологічні характеристики	Економічний ефект	Скорочення часу будівництва
COBOD BOD2 (DREIHAUS)	Німеччина	Портальна система 3D-друку бетону	Зниження загальних витрат приблизно на 10 %	До 30 % швидше
3D UTU	Україна	Будівельний 3D-принтер для друку бетонних конструкцій	Зменшення трудових витрат	130 м ² за 58 годин
ICON Vulcan II	США	Роботизована система друку житлових будинків	Зниження вартості житла до 30 %	Будинок за 24–48 годин
CyBe Construction	Нідерланди	Мобільні системи 3D-друку	Скорочення витрат на будівництво	До 5 разів швидше
L&T 3D Construction	Індія	Будівельний 3D-друк громадських об'єктів	Зниження вартості будівництва	45 днів

Джерело: сформовано автором на основі [8; 9; 16–18]

обладнання та підвищує ефективність виробничих систем [12].

У медичній сфері адитивні технології відкривають можливості для створення персоналізованих медичних виробів, зокрема імплантів, протезів та стоматологічних конструкцій. Висока точність адитивного виробництва дозволяє виготовляти вироби, що максимально відповідають анатомічним особливостям конкретного пацієнта. Як зазначають С. Хуанг та співавтори, розвиток технологій біопринтингу створює передумови для появи нових напрямів медичної інженерії, включаючи створення штучних тканин та органів [7].

Поряд із галузевими ефектами адитивні технології формують також мультиплікативний економічний ефект, що проявляється у поширенні інноваційних змін на суміжні сектори економіки. У межах теорії ендогенного зростання П. Ромер підкреслює, що технологічні знання мають характер неконкурентного ресурсу, використання якого одним економічним агентом не обмежує можливості його використання іншими суб'єктами економічної діяльності [2]. Така властивість технологічних інновацій створює ефект зростаючої віддачі від масштабу на макроекономічному рівні.

Адитивні технології демонструють значний мультиплікативний потенціал завдяки розвитку цілої екосистеми суміжних галузей. Впровадження 3D-друку стимулює розвиток виробництва спеціалізованих матеріалів, програмного забезпечення для цифрового проєктування, систем автоматизованого управління виробництвом та інженерних сервісів. У результаті формується нова інноваційна інфраструктура, що забезпечує розвиток технологічного підприємництва та створення нових ринкових ніш.

Дослідження М. Геблера та співавторів демонструє, що широке використання адитивних технологій може забезпечити суттєве скорочення споживання первинної енергії, зменшення матеріальних витрат та

зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище [10]. Ці ефекти мають системний характер, оскільки зменшення ресурсомісткості виробництва створює передумови для підвищення загальної ефективності економіки.

Значну увагу у сучасних дослідженнях приділено також концепції адитивної економіки. Л. Мельник та співавтори розглядають адитивну економіку як нову модель організації виробництва, що ґрунтується на використанні цифрових технологій, мінімізації матеріальних витрат та розвитку інноваційних бізнес-моделей [15]. У межах цієї концепції адитивне виробництво розглядається як важливий елемент переходу до більш сталих форм економічного розвитку.

У контексті глобальних технологічних трансформацій важливим є також питання інтеграції адитивних технологій у процеси цифровізації економіки. Дослідження Європейської Комісії у межах індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) демонструє, що рівень інтеграції цифрових технологій у промисловість є одним із ключових факторів конкурентоспроможності національних економік [19]. Використання адитивних технологій у виробництві сприяє підвищенню цифрової зрілості промислових підприємств та розвитку концепції Індустрії 4.0.

Таким чином, проведений аналіз свідчить, що адитивні технології формують нову технологічну основу розвитку промислових систем, забезпечуючи підвищення ресурсної ефективності, скорочення виробничих циклів та трансформацію логістичних мереж. Їх поширення сприяє розвитку інноваційного підприємництва, формуванню нових галузевих кластерів та підвищенню конкурентоспроможності національної економіки.

У контексті повосенної реконструкції держави адитивні технології можуть відігравати особливо важливу роль, оскільки вони дозволяють поєднати процес відновлення інфраструктури із структурною

Таблиця 3

Мультиплікативні економічні ефекти використання адитивних технологій

Напрямок застосування	Галузі використання	Основні економічні ефекти	Вплив на продуктивність	Потенціал економічного зростання
Адитивне виробництво металів	Аерокосмічна, автомобільна промисловість	Скорочення матеріальних витрат, оптимізація конструкцій	Підвищення ефективності виробництва	Розширення високотехнологічних секторів
3D-друк у будівництві	Житлове та інфраструктурне будівництво	Скорочення витрат на будівництво	Прискорення будівельних процесів	Відновлення інфраструктури
Біопринтинг	Медицина, біоінженерія	Персоналізація медичних виробів	Підвищення ефективності медичних технологій	Розвиток медичної індустрії
Адитивне виробництво у MRO	Енергетика, транспорт	Скорочення часу постачання запасних частин	Зменшення простоїв обладнання	Підвищення ефективності промисловості
Інтеграція AM з цифровими технологіями	Промисловість 4.0	Оптимізація ланцюгів постачання	Підвищення продуктивності підприємств	Формування нових ринків

Джерело: сформовано автором на основі [2; 5; 7; 10; 12; 15; 19]

модернізацією виробничих систем. Використання технологій 3D-друку у будівництві, промисловості та інженерії створює можливість значного прискорення відбудови економіки та формування нової інноваційної моделі розвитку.

Отже, адитивні технології слід розглядати не лише як окремих технологічний інструмент, а як один із ключових драйверів структурної модернізації економіки, здатний забезпечити формування нових виробничих моделей, підвищення продуктивності галузей та створення передумов для довгострокового економічного зростання.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження дозволило комплексно проаналізувати економічний потенціал адитивних технологій як одного з ключових чинників трансформації сучасних виробничих систем та структурної модернізації економіки. Узагальнення результатів наукових досліджень і практичних прикладів впровадження адитивного виробництва свідчить про формування нової технологічної парадигми, у межах якої цифрове проектування, автоматизація виробничих процесів і гнучкі виробничі системи стають основою інноваційного розвитку промисловості.

Аналіз теоретичних підходів до економічного зростання підтверджує, що технологічні інновації виступають системоутворюючим фактором розвитку економічних систем. У цьому контексті адитивні технології можна розглядати як важливий елемент сучасної індустріальної трансформації, що забезпечує підвищення ресурсної ефективності виробництва, скорочення виробничих циклів та оптимізацію ланцюгів створення вартості. Їх поширення сприяє формуванню нових моделей організації виробництва, заснованих на децентралізації виробничих процесів, гнучкості виробничих систем та можливості індивідуалізації продукції.

У процесі дослідження встановлено, що економічний ефект адитивних технологій проявляється у кількох взаємопов'язаних напрямках. По-перше, їх використання забезпечує скорочення матеріальних витрат і підвищення ефективності використання

ресурсів. По-друге, адитивне виробництво сприяє трансформації логістичних мереж та скороченню традиційних виробничих ланцюгів. По-третє, впровадження цих технологій стимулює розвиток інноваційного підприємництва та формування нових технологічних кластерів. Сукупність цих факторів створює мультиплікативний економічний ефект, що проявляється у підвищенні продуктивності галузевих економічних систем та зростанні технологічної конкурентоспроможності економіки.

Особливого значення адитивні технології набувають у контексті повоєнної реконструкції держави. Їх використання у будівництві житлової та інфраструктурної нерухомості, виробництві промислового обладнання та виготовленні запасних частин може суттєво прискорити процеси відновлення економіки. Водночас інтеграція адитивного виробництва у національну інноваційну систему створює передумови для переходу від моделі відновлення до моделі технологічної модернізації економіки.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що адитивні технології можуть виступати одним із ключових драйверів структурної модернізації економіки, сприяючи формуванню нової моделі індустріального розвитку, заснованої на цифровізації виробництва, підвищенні технологічної ефективності та розвитку інноваційних виробничих систем.

Перспективним напрямом подальших наукових досліджень є поглиблений аналіз економічних механізмів інтеграції адитивних технологій у національні виробничі системи, а також оцінка їхнього мультиплікативного впливу на розвиток окремих галузей економіки. Особливої уваги потребують питання формування інституційного середовища розвитку адитивного виробництва, розвитку технологічних кластерів та стимулювання інноваційного підприємництва у сфері цифрових виробничих технологій. Важливим напрямом подальших досліджень є також оцінка ролі адитивних технологій у формуванні нових моделей індустріального розвитку та їхнього впливу на довгострокову конкурентоспроможність національної економіки.

Список використаних джерел:

1. Solow R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957. Vol. 39, No. 3. P. 312–320. DOI: <https://doi.org/10.2307/1926047>
2. Romer P. M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*. 1990. Vol. 98, No. 5, Part 2. P. S71–S102. DOI: <https://doi.org/10.1086/261725>
3. Schumpeter J. A. *Capitalism, Socialism and Democracy*. New York : Harper & Brothers, 1942. 381 p.
4. UNIDO. *Industrial Development Report 2020: Industrializing in the Digital Age*. Vienna : United Nations Industrial Development Organization, 2019. 230 p.
5. 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>
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. Huang S. H., Liu P., Mokasdar A., Hou L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013. Vol. 67, No. 5–8. P. 1191–1203. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
8. Wohlers T., Campbell I., Diegel O., Huff R., Kowen J. *Wohlers Report 2023: 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry*. Fort Collins : Wohlers Associates, ASTM International, 2023. 425 p.

9. Wohlers Associates. *Wohlers Report 2024: 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry*. Fort Collins : Wohlers Associates, ASTM International, 2024.
10. 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>
11. 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>
12. McKinsey & Company. Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. *McKinsey Operations Insights*. 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>
13. 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. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>
14. OECD. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018: Adapting to Technological and Societal Disruption*. Paris : OECD Publishing, 2018. DOI: https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2018-en
15. Melnyk L., Dehtyarova I., Kubatko O., Karintseva O., Derykolenko A. Additive economy and new horizons of innovative business development. *Problems and Perspectives in Management*. 2022. Vol. 20, No. 2. P. 175–185. DOI: [https://doi.org/10.21511/ppm.20\(2\).2022.15](https://doi.org/10.21511/ppm.20(2).2022.15)
16. Metinvest Group. Перший в Україні 3D-друкований житловий будинок поблизу Ірпеня. 2024. URL: <https://metinvest.media/en/page/metinvest-dopomg-zbuduvati-pershiy-v-ukran-budinok-nadrukovaniy-na-3d-printer-dlya-sm-poleglogo-voyina>
17. Khajavi S. H., Tetik M., Mohite A., Peltokorpi A., Li M., Weng Y., Holmström J. Additive Manufacturing in the Construction Industry: The Comparative Competitiveness of 3D Concrete Printing. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 9. Article 3865. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11093865>
18. COBOD International. COBOD Technology Enables 30% Faster and 10% More Cost-Effective Construction (DREIHAUS project). 2025. URL: <https://cobod.com/cobod-technology-enables-30-faster-and-10-more-cost-effective-construction>
19. European Commission. *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022*. Brussels : European Commission, 2022. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

References:

1. Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312–320. DOI: <https://doi.org/10.2307/1926047>
2. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102. DOI: <https://doi.org/10.1086/261725>
3. Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, socialism and democracy*. New York: Harper & Brothers.
4. UNIDO. (2019). *Industrial development report 2020: Industrializing in the digital age*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
5. Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
6. Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., & Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: Machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 193–201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>
7. Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., & Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8), 1191–1203. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
8. Wohlers, T., Campbell, I., Diegel, O., Huff, R., & Kowen, J. (2023). *Wohlers report 2023: 3D printing and additive manufacturing global state of the industry*. Fort Collins: Wohlers Associates, ASTM International.
9. Wohlers Associates. (2024). *Wohlers report 2024: 3D printing and additive manufacturing global state of the industry*. Fort Collins: Wohlers Associates, ASTM International.
10. Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J. M., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>
11. Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
12. McKinsey & Company. (2017). Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. *McKinsey Operations Insights*. Available at: <https://mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>
13. Thomas, D. S., & Gilbert, S. W. (2014). *Costs and cost effectiveness of additive manufacturing: A literature review and discussion*. NIST Special Publication 1176. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>
14. OECD. (2018). *OECD science, technology and innovation outlook 2018: Adapting to technological and societal disruption*. Paris: OECD Publishing. DOI: https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2018-en
15. Melnyk, L., Dehtyarova, I., Kubatko, O., Karintseva, O., & Derykolenko, A. (2022). Additive economy and new horizons of innovative business development. *Problems and Perspectives in Management*, 20(2), 175–185. DOI: [https://doi.org/10.21511/ppm.20\(2\).2022.15](https://doi.org/10.21511/ppm.20(2).2022.15)

16. Metinvest Group. (2024). *First 3D-printed residential house in Ukraine near Irpin*. Available at: <https://metinvest.media/en/page/metinvest-dopomg-zbuduvati-pershiy-v-ukran-budinok-nadrukovaniy-na-3d-printer-dlya-sm-poleglogo-voyina>
17. Khajavi, S. H., Tetik, M., Mohite, A., Peltokorpi, A., Li, M., Weng, Y., & Holmström, J. (2021). Additive manufacturing in the construction industry: The comparative competitiveness of 3D concrete printing. *Applied Sciences*, 11(9), Article 3865. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11093865>
18. COBOD International. (2025). COBOD technology enables 30% faster and 10% more cost-effective construction (DREIHAUS project). Available at: <https://cobod.com/cobod-technology-enables-30-faster-and-10-more-cost-effective-construction>
19. European Commission. (2022). *Digital economy and society index (DESI) 2022*. Brussels: European Commission. Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

ADDITIVE TECHNOLOGIES AS A DRIVER OF STRUCTURAL ECONOMIC MODERNIZATION AND POST-WAR RECONSTRUCTION OF THE STATE

Abstract. Purpose. The purpose of the article is to substantiate the economic potential of additive technologies as an important driver of structural modernization of the national economy and a strategic tool for post-war reconstruction. The study focuses on analyzing the role of additive manufacturing in transforming production systems, improving industrial efficiency, and forming new models of economic development in the context of technological transformation. Methods. The methodological framework of the research is based on the integration of general scientific and special economic research methods. In particular, the study applies methods of systemic analysis, comparative economic analysis, structural and functional analysis, and synthesis of scientific literature. The theoretical foundation of the research relies on the concepts of neoclassical and endogenous economic growth theories as well as the Schumpeterian approach to innovation dynamics. These methodological approaches made it possible to analyze the economic effects of additive manufacturing and evaluate its potential influence on the modernization of production systems and the reconstruction of national economies. Results. The research demonstrates that additive manufacturing represents a fundamentally new technological paradigm of production organization based on digital design, layer-by-layer manufacturing, and high flexibility of production systems. The results indicate that additive technologies significantly reduce material consumption, shorten production cycles, and optimize supply chains. The study also shows that the implementation of additive technologies contributes to the decentralization of production processes and enables localized manufacturing of complex products. Particular attention is paid to the economic potential of additive technologies in construction, where 3D printing technologies allow significant acceleration of infrastructure and housing reconstruction processes. Scientific novelty. The scientific novelty of the research lies in the comprehensive conceptualization of additive technologies as a systemic factor of structural economic transformation rather than merely a technological innovation. The study substantiates the role of additive manufacturing in forming a new technological architecture of industrial development and highlights its potential to generate multiplicative economic effects through the development of related industries, digital production systems, and innovation ecosystems. Practical significance. The practical significance of the research lies in identifying strategic directions for integrating additive technologies into national economic systems. The results of the study may be used in the development of industrial and innovation policies aimed at promoting technological modernization, strengthening industrial competitiveness, and accelerating post-war reconstruction processes. The findings are particularly relevant for countries undergoing large-scale infrastructure reconstruction and economic transformation. Conclusions. The study confirms that additive technologies can become one of the key drivers of structural economic modernization by enabling more efficient use of resources, improving production flexibility, and transforming industrial value chains. In the context of post-war reconstruction, additive manufacturing provides new opportunities for accelerating infrastructure recovery and forming innovative industrial ecosystems. Therefore, the integration of additive technologies into national innovation systems should be considered an important strategic priority for ensuring sustainable economic development.

Keywords: additive technologies, additive manufacturing, structural economic modernization, innovation-driven economic development, technological transformation of production systems, industrial policy, digital transformation of industry, innovation management, economic reconstruction, post-war economic recovery, Industry 4.0, innovation economy, technological competitiveness.