

УДК 339.138

DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.81-3>**Окландер І.М.**

кандидат економічних наук

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-6171>**Oklander Ihor**

Ph.D. in Economics

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ ЗРОСТАННЯ РИНКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

KEY FACTORS OF GROWTH OF THE ADDITIVE TECHNOLOGY MARKET

В статті розглянуто сутність адитивних технологій (3D-друк). Розкрито зв'язок розвитку технології із загальними трендами індустріальної трансформації. Виділено типи адитивних технологій, їх ключові характеристики та розподіл між ними часток ринку. Обґрунтовано, що драйверами зростання ринку є попит на кастомізацію, скорочення термінів виведення товарів на ринок, оптимізація логістики, розширення можливостей для локального виробництва, глобальні збої у ланцюгах постачання, перехід до децентралізованого виробництва. Розглянуто темпи зростання ринку, галузі в яких адитивні технології впроваджуються найшвидшими темпами. Виділено регіони, виробники обладнання, що мають найбільші частки ринку. Виділено ключові фактори зростання ринку 3D-друку: інновації в матеріалах і технологіях; розвиток нових матеріалів та вдосконалення технологій друку; зростання попиту; перехід до цифрового виробництва.

Ключові слова: адитивні технології, маркетинг, 3D-друк, цифровізація, інноваційні рішення, сталий розвиток.

The article examines the key factors of the additive technologies market development. The essence of additive technologies (3D printing) and the stages of product creation are analyzed. The connection between the development of the technology and the general trends of industrial transformation is revealed. The types of additive technologies, their key characteristics and the distribution of market shares between these types of technologies are highlighted. It is substantiated that the drivers of market growth are the stable demand for customization, reducing the time to market for products, optimizing logistics, and expanding opportunities for local production. The importance of technology in the context of global disruptions in supply chains and the transition to decentralized production models is highlighted. The market growth rates are considered, the industries in which additive technologies are being implemented at the fastest pace. The world regions and equipment manufacturers with the largest market shares are highlighted. As a result of the analysis of the state and trends of the adaptive trends market, key factors for the growth of the 3D printing market have been identified: innovations in materials and technologies; the development of new materials and the improvement of printing technologies; growing demand in the aerospace and medical industries; the transition to digital production. The problems of market development are: the lack of a single standard – the diversity of approaches to market assessment can complicate strategic decision-making for investors and enterprises; the need to develop infrastructure – to fully realize the potential of 3D printing, infrastructure improvement is required, in particular in the field of material supply and equipment maintenance; a large number of enterprise employees do not understand the functionality of 3D printing. It was found that in order to achieve sustainable development, it is necessary to solve existing challenges and ensure the harmonization of standards in the industry, and the market has the potential for significant growth and integration of this technology into various sectors of the economy.

Keywords: additive technologies, marketing, 3D printing, digitalization, innovative solutions, sustainable development.

Постановка проблеми. Світовий ринок адитивного виробництва демонструє стабільне зростання. Згідно даних All3DP – одного з найбільших порталів в світі, присвячених 3D-друку, в 2025 році ринок демонструє значний потенціал для зростання, незважаючи на розбіжності в оцінках його вартості. Експерти оцінюють світовий ринок 3D-друку від 25 до 50 млрд. дол.,

що свідчить про відсутність консенсусу серед аналітиків [1]. У науковій сфері активно досліджуються можливості інтеграції адитивного виробництва в концепції Індустрії 4.0 та 5.0, що передбачає використання кіберфізичних систем, автоматизації та штучного інтелекту для оптимізації виробничих процесів [2]. Очікується, що зростання ринку 3D-друку буде обумовлено попи-

том на швидке прототипування, масову кастомізацію, інноваціями в товарах, потребою в ефективних методах виробництва, що підтримують сталий розвиток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гойко А.Ф., Цифра Т.Ю., Гойко О.А. вказують, що ключовими факторами розвитку адитивних технологій є державна підтримка, інноваційні рішення та глобальна конкуренція. Зокрема, зазначено, що збільшення державної підтримки для вдосконалення технології адитивного виробництва в різних регіонах є ключовим фактором, що впливає на ринковий попит [3].

Ахновська І., Брацлавець О. підкреслюють роль адитивного виробництва у сталому розвитку, зокрема через зменшення споживання матеріалів та енергії, а також мінімізацію відходів. Це робить адитивні технології привабливими для підприємств, що прагнуть до екологічної відповідальності [4].

Згалат-Ложинський О., Згалат-Ложинська Л. розглядають сучасний стан і перспективи розвитку адитивних технологій у будівельній галузі України, підкреслюючи необхідність наявності нормативної бази для повноцінного впровадження [5].

Бала В.С., Коцко Т.А. зазначають, що 3D-друк сприяє гнучкості, економічності, інноваційності та екологічності виробництва. Також підкреслюється важливість інтеграції адитивного виробництва з цифровими платформами та інструментами для розвитку більш інтегрованих і гнучких виробничих процесів. Проте зазначають, що в Україні досі не створено технічного комітету стандартизації технологій, що ускладнює імplementацію міжнародних стандартів у цій галузі [6].

Г.О. Андрушук відзначає потенціал адитивних технологій для прискорення науково-дослідних робіт та зменшення бар'єрів для організації виробництва. Зокрема, 3D-друк може збільшити прибутковість виробництва на 23% та зменшити бар'єри для організації виробництва на 90% [7].

A.I. Saimon, E. Yangu, X. Yue, Z.J. Kong, C. Liu аналізують застосування глибокого навчання в адитивному виробництві, зокрема в дизайні, моделюванні та контролі процесів. Підкреслюється потенціал глибоких генеративних моделей для покращення процесів 3D-друку [8].

Разом з тим, доцільним є визначення глобальних тенденцій та на їх основі ключових факторів розвитку ринку адитивних технологій, що необхідно для розвитку цієї проривної технології в Україні.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є визначення основних типів технологій 3D-друку та драйверів зростання ринку адитивних технологій в цілому.

Виклад основного матеріалу дослідження. Адитивні технології або 3D-друк – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва. Вони дозволяють розробникам товарів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання.

Розвиток адитивних технологій відображає загальні тренди індустріальної трансформації. За останнє десятиліття індустрія пройшла шлях від лабораторних експериментів до повноцінного виробництва ісокоякісних компонентів. В табл. 1 наведено процес виробництва за допомогою 3D-друку.

Найчастіше використовуються наступні технології адитивного виробництва:

- FDM (Fused Deposition Modeling) – середня швидкість друку 50 см³/год;
- SLA (stereolithography) – середня швидкість друку 70 см³/год,;
- SLS (Selective Laser Sintering) – середня швидкість друку 120 см³/год;
- MJF (Multi Jet Fusion) – середня швидкість друку 3000 см³/год.

В табл. 2 наведено ключові характеристики вказаних технологій 3D-друку.

MJF впевнено випереджає конкурентів за швидкістю та собівартістю при збереженні високої точності.

Таблиця 1

Етапи виробництва 3D-друку

№	Етап	Сутність етапу
1	Створення CAD-моделі	Щоб надрукувати виріб, потрібна його 3D-модель. Для моделювання об'єкта використовують системи автоматизованого проектування (САПР). Найчастіше для побудови 3D-моделі використовують програми, наприклад: Blender, SketchUp, AutoCAD, Maya, 3DS Max і Inventor. САПР зберігають модель у форматі, зрозумілому для принтера
2	Завантаження файлу моделі	Готову модель завантажують у принтер. Програмне забезпечення ділить її на шари й задає алгоритм друкування
3	Друкування	Принтер виробляє предмет шар за шаром, поки не програма друку не буде виконана
4	Охолодження	Надрукований виріб витягають з камери (платформи) побудови й охолоджують природним або пришвидшеним способом
5	Післяобробка	Готовий продукт очищають від залишків матеріалу друку, шліфують і фарбують. Так досягають оптимальної фактури об'єкта

Джерело: [9]

Таблиця 2

Порівняння характеристик технологій 3D-друку

Ознака	Технологія 3D-друку			
	FDM	SLA	SLS	MJF
Швидкість друку	низька	низька	середня	дуже висока
Точність	середня	дуже висока	висока	висока
Собівартість деталі	дуже низька	середня	висока	низька
Матеріали	ABS, PLA тощо	фотополімери	поліаміди, TRU	PA12, TRU, PP
Рекомендо-вані обсяги виробництва	протитипу-вання, одиничні вироби	невеликі партії, точні форми	середні серії	середні та великі серії
Ключові сфери застосування	макети, швидка перевірка форм	ювелірна справа, стоматологія, прототипи	авто, аерокосмос, медицина	промислове виробництво, електроніка

Джерело: [9]

Проте для задач, де критичною є прозорість або глянцева поверхня, доцільніше використовувати SLA. FDM є актуальним для недорогого прототипування з мінімальними вимогами до точності. Розподіл часток між основними технологіями є наступним:

- FDM займає близько 38% загального ринку,
- SLS – 26%,
- SLA – 18%,
- MJF – 12% і демонструє найшвидші темпи зростання збільшившись із 6% за три роки.

Серед драйверів зростання – стійкий попит на кастомізацію, скорочення термінів виведення продуктів на ринок, оптимізація логістики, а також розширення можливостей для локального виробництва. Адитивне виробництво стало особливо актуальним в умовах глобальних збоїв у ланцюгах постачання та переходу до децентралізованих виробничих моделей. За інформацією з доповіді Wohlers Associates, вже у 2024 році понад 70% компаній, які використовують 3D-друк, застосову-

ють його не лише для прототипів, а й для виготовлення функціональних кінцевих виробів. Більше того, 50% усіх промислових 3D-принтерів встановлено в США та Європі, що свідчить про високий рівень зрілості технології в розвинутих економіках [9]. Особлива увага приділяється порошковим методом друку, зокрема SLS і MJF, які забезпечують високу точність, швидкість і механічну міцність виробів. Зокрема, технології на основі полімерних порошків продемонстрували зростання попиту на 28% у 2024 році порівняно з попереднім періодом.

Ринок виробництва адитивного обладнання демонструє стрімке зростання (рис. 1).

У 2023 році обсяг виробництва адитивного обладнання оцінювався в \$20,37 млрд, з прогнозованим середньорічним темпом зростання 23,3% до 2027 року. Стан і обсяг замовлень з використанням адитивного обладнання також демонструє зростання [8].

Інші джерела прогнозують ще вищі темпи зростання – до 21,6% щорічно, з досягненням \$158,3 млрд

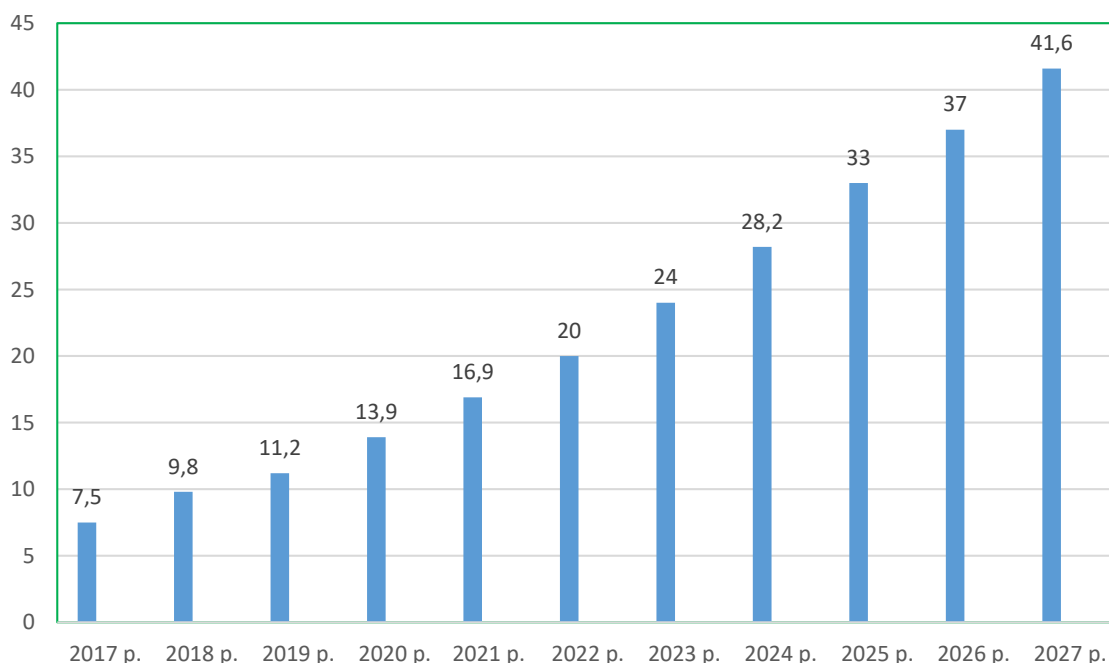


Рис. 1. Стан і прогноз обсягу світового ринку адитивних технологій за 2017–2027 рр. (млрд дол.)

Джерело: [8]

до 2034 року [10]. 3D-друк активно впроваджується у виробництво ракетних двигунів, що дозволяє зменшити вагу та скоротити час виготовлення. Компанії, такі як Rocket Lab та Ursal Major, вже використовують 3D-друк для створення до 80% компонентів двигунів [8]. Медичні пристрої, включаючи імпланти та протези, виробляються за допомогою адитивних технологій, що дозволяє забезпечити індивідуальний підхід до пацієнтів та зменшити витрати [10]. В Україні досліджується впровадження 3D-друку в будівельній галузі, що може знизити витрати та прискорити зведення конструкцій [4]. Дослідження та впровадження адитивних технологій проводяться в провідних наукових установах, таких як Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України та Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

Особливо динамічно розвивається сегмент металевого 3D-друку, який у 2023 році зростав на 15% і має потенціал досягти 20% щорічного зростання завдяки попиту в оборонній, аерокосмічній та медичній сферах. Хоча загальний ринок демонструє зростання, деякі сегменти зазнали спаду. Наприклад, поставки принтерів середнього класу знизилися на 18% у четвертому кварталі 2024 року.

У світ найбільшими регіонами розвитку адитивних технологій є [10]:

- Північна Америка: у 2024 році займала понад 37% ринку, з прогнозом досягти до 102,2 млрд. дол. до 2037 року;

- Азійсько-Тихоокеанський регіон: очікується найвищий темп зростання завдяки швидкій індустріалізації та підтримці урядів.

Провідні компанії у сфері 3D-друку [10]:

- Stratasys (США) – лідер з часткою ринку 20%, відомий широким спектром 3D-принтерів та послуг у галузях авіації, автомобілебудування та охорони здоров'я;

- 3D Systems (США) – має приблизно 15% ринку, пропонуючи різноманітні 3D-друкарські рішення для різних секторів;

- Hewlett-Packard (США) – значний гравець у промисловому 3D-друку, особливо відомий технологією HP Jet Fusion, з часткою ринку близько 10%;

- EOS (Німеччина) – спеціалізується на промислових системах адитивного виробництва, зокрема для металевого 3D-друку, з часткою ринку 9%;

- Materialise (Бельгія) – ключовий гравець у сфері програмного забезпечення та послуг для 3D-друку, з часткою ринку 8%;

- GE Additive (США) – лідер у металевому адитивному виробництві, особливо для авіаційного та промислового секторів, з часткою ринку 7%.

Одним із найбільших промислових центрів 3D-друку в Східній Європі є Makerly – сервіс бюро промислового 3D-друку [9].

В результаті аналізу стану та тенденцій розвитку ринку адитивних тенденцій можна виділити ключові фактори зростання ринку 3D-друку:

- інновації в матеріалах і технологіях;
- розвиток нових матеріалів та вдосконалення технологій друку сприяють розширенню застосувань 3D-друку в різних галузях;

- зростання попиту в аерокосмічній та медичній промисловості: попит на 3D-друк у аерокосмічній галузі оцінюється в \$1,6 мільярда, з прогнозами досягнення \$20,5 мільярда до 2033 року [10];

- перехід до цифрового виробництва: збільшення використання цифрових технологій у виробництві сприяє інтеграції 3D-друку в традиційні виробничі процеси.

Проблемами розвитку ринку є:

- відсутність єдиного стандарту: різноманітність підходів до оцінки ринку може ускладнювати прийняття стратегічних рішень для інвесторів та підприємств;

- необхідність розвитку інфраструктури: для повного реалізування потенціалу 3D-друку потрібне вдосконалення інфраструктури, зокрема в галузі постачання матеріалів та обслуговування обладнання;

- велика кількість співробітників підприємств не розуміють функціонал застосування 3D друку.

Зважаючи на поточні тенденції, ринок 3D-друку має всі шанси на подальше зростання. Однак для досягнення стабільного розвитку необхідно вирішити існуючі виклики та забезпечити гармонізацію стандартів у галузі. Ринок має потенціал для значного зростання та інтеграції цієї технології в різноманітні сфери економіки. Відсутність розуміння на локальному рівні призводить до препон на шляху стандартизації рішень галузі, а також гальмує розвиток інфраструктури та патернів поведінки потенційних споживачів.

Стимулюють розвиток ринку також технологічні інновації: розвиток багатоматеріального друку, гібридного виробництва та автоматизації, включаючи використання комп'ютерного управління, штучного інтелекту та термодатчиків, сприяє підвищенню ефективності та зниженню витрат. Зростає увага до використання екологічно чистих матеріалів та зменшення відходів у виробничих процесах, що робить 3D-друк привабливим для компаній, орієнтованих на сталий розвиток.

Висновки. Результати дослідження свідчать, що ключовими факторами розвитку ринку адитивних технологій є інновації в матеріалах і технологіях; масштабування використання технології 3D-друку в різних галузях; переважне виробництво компонентів в аерокосмічній та медичній промисловості за адитивними технологіями; перехід до цифрового виробництва. Ринок адитивного виробництва демонструє стабільне зростання та розширення сфер застосування. Україна має потенціал для розвитку в цій галузі, але потребує підтримки з боку держави та наукових установ.

Перспективними напрямками подальших досліджень є вивчення процесів подальшої інтеграції із цифровими технологіями та штучним інтелектом, що відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів.

Список використаних джерел:

1. 3D Printing Overhang: How to 3D Print Overhangs. *All3DP*: веб-сайт. URL: https://all3dp.com/#google_vignette (дата звернення: 22.05.2025).
2. The Integration of Additive Manufacturing into Industry 4.0 and Industry 5.0: A Bibliometric Analysis (Trends, Opportunities, and Challenges). *MDPI*: веб-сайт. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/1/62?utm> (дата звернення: 22.05.2025).

3. Гойко А.Ф., Цифра Т.Ю., Гойко О.А. Управління стійким розвитком будівельних підприємств на основі ресурсного потенціалу. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2025. № 2(17), С. 115–121. URL: <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/634/613> (дата звернення: 22.05.2025).

4. Ахновська І., Брацлавець О. Перспективні напрями розвитку ринку адитивних технологій в умовах техноглобалізму. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2022. № 2(02). С. 76–81. URL: <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/70> (дата звернення: 22.05.2025).

5. Zgalat-Lozynskyi O., Zgalat-Lozynska L. Розвиток та впровадження інноваційних технологій 3D-друк у будівництві. 2020. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. Том 31(70), № 5. С. 45–51. URL: https://www.econ.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/31_70_5/9.pdf (дата звернення: 22.05.2025).

6. Бала В.С., Коцко Т.А. Індустрія 4.0 та адитивні технології: нові можливості у сфері розвитку виробничої діяльності підприємств. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи*: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф., 25 квітня 2024 р. Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2024. С. 36–37. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/303590> (дата звернення: 22.05.2025).

7. Андрощук Г.О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку. *Інтелектуальна власність*. 2017. №2. С. 29–35. URL: https://nti.ukrintei.ua/wp-content/uploads/2018/05/2017-2_stat4_UA_povn.pdf?utm (дата звернення: 22.05.2025).

8. Saimon A.I., Yangué E., Yue X., Kong Z.J., Liu C. Advancing Additive Manufacturing through Deep Learning: A Comprehensive Review of Current Progress and Future Challenges. *IISE Transactions*, 1–44, 2024. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24725854.2024.2443592> (дата звернення: 22.05.2025).

9. Аналіз ринку промислового 3D-друку: тренди, зростання та перспективи технології MJF. *Makerly*: веб-сайт. URL: <https://makerly.eu/uk/analiz-rinku-promislovogo-3d-druku-trendi-zrostannya-ta-perspektivi-tehnologiyi-mjf/> (дата звернення: 22.05.2025).

10. Exponential technologies in manufacturing. Transforming the future of manufacturing through technology, talent, and the innovation ecosystem. *Deloitte*: веб-сайт. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-advanced-manufacturing-technologies-report.pdf> (дата звернення: 22.05.2025).

References:

1. 3D Printing Overhang: How to 3D Print Overhangs. *All3DP*: Available at: https://all3dp.com/#google_vignette (accessed 22 May 2025).

2. The Integration of Additive Manufacturing into Industry 4.0 and Industry 5.0: A Bibliometric Analysis (Trends, Opportunities, and Challenges). *MDPI*: Available at: <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/1/62?utm> (accessed 22 May 2025).

3. Hoiko A. F., Tsyfra T. Iu., Hoiko O. A. (2022) Upravlinnia stiikym rozvytkom budivelnykh pidpriemstv na osnovi resursnoho potentsialu [Managing sustainable development of construction enterprises based on resource potential] *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka – Digital economy and economic security*, vol. 2, no. 17, P. 115–121. Available at: <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/634/613> (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

4. Akhnovska I., Bratslavets O. (2022) Perspektyvni napriamy rozvytku rynku adytyvnykh tekhnolohii v umovakh tekhnogloblizmu [Promising directions of development of the additive technologies market in the conditions of technoglobalism]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka – Digital economy and economic security*, no. 2(02). P. 76–81. Available at: <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/70> (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

5. Zgalat-Lozynskyi O., Zgalat-Lozynska L. (2020), Rozvytok ta vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii 3D-druk u budivnytstvi [Development and implementation of innovative 3D printing technologies in construction] *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University, Series Economy and Management*, vol. 31(70), no. 5. P. 45–51. Available at: https://www.econ.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/31_70_5/9.pdf (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

6. Bala V. S., Kotsko T. A. (2024) Industriia 4.0 ta adytyvni tekhnolohii: novi mozhlyvosti u sferi rozvytku vyrobnychoi diialnosti pidpriemstv [Industry 4.0 and additive technologies: new opportunities in the development of production activities of enterprises] *Proceedings of the Biznes, innovatsii, menedzhment: problemy ta perspektyvy: Business, Innovation, Management: Problems and Prospects: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, April 25, 2024. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute 2024*. pp. 36–37. Available at: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/303590> (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

7. Androschuk G. O. (2017) Adytyvni tekhnolohii: perspektyvy i problemy 3D-druku. [Additive technologies: prospects and problems of 3D printing] . *Intelektualna vlasnist – Intellectual property*, no. 2. P. 29–35. Available at: https://nti.ukrintei.ua/wp-content/uploads/2018/05/2017-2_stat4_UA_povn.pdf?utm (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

8. Saimon A. I., Yangué E., Yue X., Kong Z. J., Liu C. (2024) Advancing Additive Manufacturing through Deep Learning: A Comprehensive Review of Current Progress and Future Challenges. *IISE Transactions*. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24725854.2024.2443592> (accessed 22 May 2025).

9. Industrial 3D Printing Market Analysis: Trends, Growth, and Technology Prospects MJF. *Makerly*. Available at: <https://makerly.eu/uk/analiz-rinku-promislovogo-3d-druku-trendi-zrostannya-ta-perspektivi-tehnologiyi-mjf/> (accessed 22 May 2025). (in Ukrainian)

10. Exponential technologies in manufacturing. Transforming the future of manufacturing through technology, talent, and the innovation ecosystem. *Deloitte*. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-advanced-manufacturing-technologies-report.pdf> (accessed 22 May 2025).