

УДК 658.512.2:004.94:621.798
DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/98-2-27>

Ігор БУРЧАК,
orcid.org/0000-0003-2662-6442
кандидат технічних наук,
доцент кафедри архітектури та дизайну
Луцького національного технічного університету
(Луцьк, Україна), *i.burchak@lntu.edu.ua*

Анатолій СУБІН,
orcid.org/0000-0002-5747-2397
кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології машинобудування
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(Київ, Україна) *anatoliy.subin@gmail.com*

Вікторія ХРЕНОВА,
orcid.org/0000-0001-8384-7554
кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри технологічної та професійної освіти і декоративного мистецтва
Хмельницького національного університету
(Хмельницький, Україна), *khrenovav@khmtnu.edu.ua*

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ В ІННОВАЦІЙНОМУ ПРОДУКТОВОМУ ДИЗАЙНІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Актуальність дослідження зумовлено трансформацією виробничих процесів під впливом цифрових технологій та необхідністю підвищення конкурентоспроможності підприємств України в умовах обмежених ресурсів і високої динаміки змін зовнішнього середовища. Встановлено, що традиційні підходи до продуктового дизайну не забезпечують достатньої гнучкості та швидкості розроблення продукції, що актуалізує використання технологій 3D-друку як інструменту інтеграції проектування і виготовлення.

Мета полягає у науковому обґрунтуванні теоретико-методичних положень та практичних підходів до ефективного використання технологій 3D-друку в інноваційному продуктовому дизайні на підприємствах України.

Методи. У дослідженні застосовано методи системного аналізу, узагальнення та порівняння наукових підходів, а також логіко-аналітичні методи для обґрунтування принципів інтеграції технологій 3D-друку у процеси проектування та виробництва.

Результати. Досліджено сучасні підходи до використання технологій 3D-друку у продуктовому дизайні та встановлено їх роль у формуванні інтегрованого цифрового циклу розроблення продукції. Виявлено технологічні та функціональні можливості 3D-друку, що забезпечують оптимізацію конструкцій за масою, міцністю та функціональністю. Доведено доцільність інтеграції технологій на основі принципів цифрової узгодженості, технологічної відповідності та зворотного зв'язку. Виявлено науково-практичні проблеми, зокрема обмеження матеріалів, нестабільність точності, економічні бар'єри та дефіцит компетентних фахівців.

Висновки. Встановлено, що ефективність використання технологій 3D-друку визначається рівнем їх інтеграції у цифрові та виробничі процеси підприємства, а також здатністю адаптувати конструктивні рішення до технологічних обмежень. Доведено, що цільове застосування технологій забезпечує скорочення циклу розроблення продукції та підвищення ефективності виробництва.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням методів кількісної оцінки ефективності використання 3D-друку, удосконаленням підходів до прогнозування властивостей виробів, стандартизацією контролю якості та розвитком моделей інтеграції технологій у цифрові виробничі системи.

Ключові слова: адитивні технології, цифрове проектування, прототипування, кастомізація продукції, виробнича гнучкість.

Ihor BURCHAK,

orcid.org/0000-0003-2662-6442

Candidate of Technical Sciences, PhD,

Associate Professor at the Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University

(Lutsk, Ukraine) i.burchak@lntu.edu.ua

Anatolii SUBIN,

orcid.org/0000-0002-5747-2397

Candidate of Technical Sciences, PhD,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

(Kyiv, Ukraine) anatoliy.subin@gmail.com

Viktoriia KHRENOVA,

orcid.org/0000-0001-8384-7554

Candidate of Pedagogical Sciences, PhD,

Associate Professor at the Department of Technological and Professional Education and Decorative Arts

Khmelnytskyi National University

(Khmelnytskyi, Ukraine) khrenovav@khnmu.edu.ua

USE OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN INNOVATIVE PRODUCT DESIGN AT ENTERPRISES OF UKRAINE

***Relevance of the study** is determined by the transformation of production processes under the influence of digital technologies and the need to enhance the competitiveness of Ukrainian enterprises in conditions of limited resources and high dynamics of changes in the external environment. It has been established that traditional approaches to product design do not ensure sufficient flexibility and speed of product development, which actualizes the use of 3D printing technologies as a tool for integrating design and manufacturing.*

***The aim** of the study is to provide a scientific substantiation of theoretical and methodological provisions and practical approaches to the effective use of 3D printing technologies in innovative product design at Ukrainian enterprises.*

***Methods.** The study applies methods of system analysis, generalization and comparison of scientific approaches, as well as logical and analytical methods to substantiate the principles of integrating 3D printing technologies into design and production processes.*

***Results.** Modern approaches to the use of 3D printing technologies in product design have been investigated, and their role in forming an integrated digital product development cycle has been established. Technological and functional capabilities of 3D printing that ensure optimization of structures in terms of weight, strength, and functionality have been identified. The feasibility of integrating the technology based on the principles of digital consistency, technological compatibility, and feedback has been proven. Scientific and practical problems have been revealed, including material limitations, instability of accuracy, economic barriers, and a shortage of qualified specialists.*

***Conclusions.** It has been established that the effectiveness of using 3D printing technologies is determined by the level of their integration into digital and production processes of the enterprise, as well as the ability to adapt design solutions to technological constraints. It has been proven that targeted application of the technology ensures a reduction in the product development cycle and increases production efficiency.*

***Key words:** additive technologies, digital design, prototyping, product customization, production flexibility.*

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток цифрових виробничих технологій, зокрема адитивного виробництва, актуалізує трансформацію підходів до проектування продукції на підприємствах України, де традиційні методи не забезпечують належної гнучкості, швидкості інновацій і ресурсної ефективності. Технології 3D-друку змінюють логіку створення виробу, інтегруючи проектування, прототипування та виготовлення в єдиний цифровий контур, що потребує переосмислення інженерних рішень і організаційно-економічних механізмів. Водночас функціону-

вання промисловості в умовах війни Росії проти України, обмеженості інвестиційних ресурсів і високої невизначеності посилює потребу у впровадженні технологій, здатних скоротити цикл розроблення продукції та підвищити її конкурентоспроможність.

Наявні наукові підходи до інноваційного продуктового дизайну недостатньо враховують специфіку інтеграції адитивних технологій, зокрема оптимізацію конструкцій під можливості 3D-друку, управління цифровими моделями та узгодження функціональних і технологічних

параметрів. Практична реалізація таких рішень потребує удосконалення цифрового проектування, розвитку компетентностей персоналу, адаптації виробничої інфраструктури та впровадження економічно обґрунтованих моделей використання адитивних технологій. Отже, проблема застосування 3D-друку в інноваційному продуктовому дизайні набуває міждисциплінарного характеру та безпосередньо пов'язана з підвищенням ефективності виробництва, зниженням витрат і забезпеченням стійкого розвитку підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Огляд сучасних досліджень дозволяє систематизувати наукові підходи за кількома змістовно взаємопов'язаними векторами. Насамперед увага зосереджується на формуванні творчо-методичних і освітніх передумов застосування адитивних технологій у дизайні. У дослідженні К. Кострікова та О. Костріков розкрито значення художньо-практичних підходів для розвитку креативності та сенсомоторної активності, що створює основу для використання матеріалізованих дизайнерських рішень (Кострікова та Костріков, 2025). А. Ратій (A. Ratii) обґрунтовує менторські підходи до формування екологічної культури дизайнерів, акцентуючи на поєднанні інноваційного мислення та відповідального використання ресурсів (Ratii, 2025). М. Жалдак (M. Zhaldak) досліджує принципи адаптивності, функціональності та естетики у проектуванні комерційних просторів, що узгоджується з можливостями гнучкого виробництва засобами 3D-друку (Zhaldak, 2025). С. М. Цирульник та ін. аналізують процес трансформації ідеї у фізичну модель, підкреслюючи значення адитивних технологій як інструменту реалізації дизайнерських концепцій (Цирульник та ін., 2025).

Інший вектор досліджень охоплює технологічні та прикладні аспекти використання 3D-друку у створенні нових продуктів і прототипів. Г. М. Тарасюк та А. О. Чагайда розкривають можливості 3D- і 4D-друку у проектуванні харчових продуктів, підкреслюючи їх роль у персоналізації продукції та розвитку адитивного виробництва (Тарасюк та Чагайда, 2024). О. Ю. Абдула досліджує трансформацію ланцюгів створення вартості, що дозволяє розглядати 3D-друк як чинник формування нових конкурентних переваг підприємств (Абдула, 2024). Ї. Цзінь (Y. Jin) та ін. обґрунтовують інновації бізнес-моделей підприємств у сфері 3D-друку, пов'язані з цифровізацією та індивідуалізацією продукції (Jin et al., 2025). Й. Марич (J. Marić) аналізує 3D-друк як основу продуктивно-сервісних інновацій, що поєднують виробництво та сервісну складову (Marić, 2020).

Подальша група досліджень пов'язана з трансформацією бізнес-процесів, асортиментної політики та інноваційної діяльності підприємств під впливом адитивних технологій. Л. Донг (L. Dong) та ін. досліджують вплив 3D-друку на формування асортиментної стратегії підприємств, доводячи зміну підходів до управління продуктивним портфелем (Dong et al., 2022). Ї. Дай (Y. Dai) та Ю. Лу (Y. Lu) обґрунтовують взаємозв'язок між технологіями 3D-друку, інноваціями бізнес-моделі та операціями ланцюга постачання (Dai & Lu, 2025). С. Дж. Хан (S. J. Khan) та ін. доводять, що 3D-друк підвищує інноваційну результативність підприємств за рахунок гнучкості виробництва та скорочення життєвого циклу продукту (Khan et al., 2026). П. Хольцманн (P. Holzmann) та ін. визначають типові патерни бізнес-моделей виробників 3D-принтерів, що відображає закономірності розвитку адитивної індустрії (Holzmann et al., 2020).

Окремий вектор досліджень охоплює організаційно-економічні, логістичні та соціально-сталі аспекти використання технологій 3D-друку. Ї. Дай (Y. Dai) та Ю. Лу (Y. Lu) досліджують вплив 3D-друку на формування сталих бізнес-процесів у ланцюгах постачання, підкреслюючи можливості підвищення ефективності та зниження витрат (Dai & Lu, 2025). М. Кльокнер (M. Klöckner) та ін. аналізують поєднання блокчейну і 3D-друку як основу нових підходів до організації виробництва та захисту цифрових моделей (Klöckner et al., 2020). А. Белтагуї (A. Beltagui) та ін. розкривають роль 3D-друку у формуванні соціально стійких інновацій у ланцюгах постачання та розвитку відкритого дизайну (Beltagui et al., 2020).

Попри активний розвиток досліджень у сфері використання технологій 3D-друку, відсутнє цілісне наукове бачення їх інтеграції у продуктовий дизайн підприємств. Наявні підходи залишаються фрагментарними та переважно зосереджені на окремих технологічних аспектах, тоді як взаємозв'язок між цифровим проектуванням, конструкційними рішеннями і реальними виробничими обмеженнями досліджено недостатньо, що стримує ефективне практичне застосування технології.

Крім того, відкритими залишаються питання економічної доцільності, забезпечення стабільної якості та масштабування рішень у виробничому середовищі, а також формування необхідних компетентностей персоналу. Невирішеність цих аспектів обмежує використання 3D-друку як інструменту інноваційного розвитку, що зумовлює необхідність поглиблення наукових підходів

і формування прикладних рішень для підвищення ефективності його впровадження

Мета і завдання статті. Метою статті є обґрунтування теоретико-методичних засад та практичних підходів до використання технологій 3D-друку в інноваційному продуктовому дизайні на підприємствах України.

Завдання статті:

1. Проаналізувати підходи та можливості використання 3D-друку у продуктовому дизайні і визначити їх вплив на процеси розроблення продукції.

2. Обґрунтувати принципи інтеграції технологій 3D-друку в інноваційний продуктивний дизайн з урахуванням цифровізації виробництва.

3. Виявити проблеми впровадження та розробити рекомендації щодо ефективного використання 3D-друку на підприємствах.

Виклад основного матеріалу. Розвиток технологій 3D-друку зумовлює перегляд усталених підходів до продуктового дизайну, оскільки проектні рішення дедалі тісніше пов'язуються з конкретними технологічними можливостями виготовлення виробу.

На відміну від традиційних методів, де конструкція формується незалежно від способу виробництва, 3D-друк вимагає врахування особливостей пошарового формування, обмежень точності, типів матеріалів і параметрів обладнання вже на етапі проектування. Це зумовлює перехід до інженерно орієнтованого дизайну, де форма, структура і функціональність виробу визначаються не лише естетичними чи ергономічними вимогами, а й технологічною доцільністю.

У практиці підприємств це проявляється у скороченні кількості проміжних етапів, зменшенні залежності від складних виробничих ланцюгів та можливості оперативного коригування конструкції відповідно до змін технічного завдання або умов експлуатації (табл.1).

Представлені підходи мають не декларативний, а прикладний характер і безпосередньо впливають на техніко-економічні результати діяльності підприємств. Так, використання підходу проектування для адитивного виробництва (design for additive manufacturing, DfAM) дозволяє відмовитися від традиційного поділу виробу на окремі деталі, що зменшує кількість з'єднань і підвищує надійність конструкції, наприклад у виробництві корпусних елементів машин або складних кронштейнів (Dai & Lu, 2025: 826). Цифрове параметричне моделювання (computer-aided design, CAD) забезпечує швидке коригування геометрії виробу під змінні умови навантаження чи габаритні обмеження, що особливо актуально для малосерійного виробництва та дослідно-конструкторських робіт. Застосування швидкого прототипування (rapid prototyping, RP) дозволяє отримувати фізичні зразки протягом кількох годин або днів замість тижнів, що суттєво зменшує тривалість циклу розроблення і витрати на виправлення помилок (Dong et al., 2022: 5731). Інтеграція проектування і виготовлення усуває необхідність у значній частині технологічної підготовки виробництва, оскільки цифрова модель безпосередньо використовується для друку, що є критично важливим в умовах обмежених ресурсів. Індивідуалізація продукції знаходить практичне застосування у виготовленні

Таблиця 1

Сучасні підходи до використання технологій 3D-друку у продуктовому дизайні та їх характеристика

Підхід	Основний зміст	Роль у трансформації процесів розроблення продукції
DfAM	Формування конструкцій з урахуванням пошарової технології виготовлення	Забезпечує створення складних геометрій та зменшення кількості складальних елементів
CAD	Побудова моделей зі змінними параметрами	Дозволяє оперативно адаптувати конструкцію без повного перепроєктування
RP	Виготовлення дослідних зразків без оснастки	Дає можливість перевірки рішень до запуску виробництва
Інтегроване цифрове проектування і виготовлення	Безпосередній перехід від цифрової моделі до виробу	Скорочує розрив між розробленням і виробництвом
Індивідуалізація продукції	Адаптація виробів під конкретні вимоги споживача	Забезпечує гнучкість та розширення номенклатури продукції

Джерело: сформовано автором на основі (Тарасюк та Чагайда, 2024: 20; Цирульник та ін., 2025: 246; Dai & Lu, 2025: 826; Dong et al., 2022: 5731; Holzmann et al., 2020: 1286)

функціональних деталей, оснащення, медичних виробів, де кожен виріб може відрізнятись за формою або параметрами без суттєвого зростання собівартості.

Технологічні та функціональні можливості 3D-друку формують нові підходи до конструювання виробів, оскільки дозволяють задавати геометрію та властивості матеріалу без обмежень, характерних для традиційних методів обробки. Це створює передумови для оптимізації конструкцій за критеріями міцності, маси та функціональної інтеграції, однак потребує узгодження цифрових моделей із реальними параметрами процесу друку (табл. 2).

Реалізація зазначених можливостей на практиці безпосередньо впливає на інженерні рішення та економічні показники виробництва. Використання складних внутрішніх структур, зокрема решітчастих, дозволяє отримувати деталі з оптимальним співвідношенням маси та міцності, що є критичним для транспортного машинобудування, де зниження ваги компонентів забезпечує економію енергії та підвищення ефективності експлуатації. Локальне керування властивостями матеріалу створює можливість формування функціонально градієнтних зон, коли в межах однієї деталі поєднуються ділянки з різною жорсткістю або зносостійкістю, що використовується, наприклад, у виробництві інструментів або амортизуючих елементів. Висока точність відтворення геометрії забезпечує відповідність виробів розрахунковим моделям, що дозволяє мінімізувати додаткову механічну обробку та скоротити витрати на доведення деталей. Інтеграція функцій у межах однієї конструкції знижує потребу у складальних операціях, що особливо важливо для під-

приємств із обмеженими виробничими ресурсами, оскільки зменшує трудомісткість і ризик відмов у вузлах з'єднань (Khan et al., 2026). Адаптивність конструкції до умов експлуатації проявляється у можливості оперативного коригування параметрів виробу під змінні навантаження або специфічні вимоги замовника, що знаходить застосування у виготовленні технологічного оснащення, прототипів та індивідуалізованих виробів. У сукупності це забезпечує перехід до більш раціонального використання матеріалів, підвищення функціональної ефективності продукції та скорочення витрат на її розроблення і виробництво.

Інтеграція технологій 3D-друку у продуктивний дизайн передбачає узгодження цифрового проєктування, управління даними та виробничих процесів у межах єдиного середовища. За умов функціонування підприємств України ключового значення набуває не масштаб впровадження, а здатність забезпечити керованість процесу, технологічну узгодженість рішень і ефективне використання наявних ресурсів (табл. 3).

Застосування наведених принципів у виробничій практиці змінює не лише послідовність виконання робіт, а й саму логіку прийняття інженерних рішень. Цифрова узгодженість даних фактично формує єдине середовище, у якому проєктна модель, параметри друку і результати виготовлення не існують ізольовано. Це дозволяє, наприклад, у процесі виготовлення складних деталей із тонкостінними елементами оперативно виявляти відхилення форми і коригувати модель ще до повторного запуску, що зменшує кількість експериментальних ітерацій і втрати матеріалу (Тарасюк та Чагайда, 2024: 23). Такий підхід особливо цінний для підприємств, де виготовлення

Таблиця 2

Технологічні та функціональні можливості 3D-друку у формуванні інноваційних конструкцій виробів

Можливість	Технологічний зміст	Вплив на оптимізацію конструкцій
Формування складної внутрішньої геометрії	Побудова порожнин, каналів, решітчастих структур	Зниження маси виробу при збереженні міцності
Локальне керування властивостями матеріалу	Варіювання щільності та структури в межах одного виробу	Підвищення функціональної ефективності елементів
Висока точність відтворення геометрії	Пошарове формування із заданими параметрами	Забезпечення відповідності конструкції розрахунковим моделям
Інтеграція функцій у єдину деталь	Об'єднання кількох елементів у монолітну конструкцію	Зменшення кількості з'єднань і підвищення надійності
Адаптивність конструкції до умов експлуатації	Модифікація параметрів виробу під конкретні навантаження	Оптимізація ресурсу та довговічності виробу

Джерело: сформовано автором на основі (Тарасюк та Чагайда, 2024: 22; Цирульник та ін., 2025: 249; Dong et al., 2022: 5735–5736; Khan et al., 2026; Holzmann et al., 2020: 1289)

Принципи інтеграції технологій 3D-друку у процеси інноваційного продуктового дизайну на підприємствах

Принцип	Зміст	Практичне значення
Цифрова узгодженість даних	Єдине інформаційне середовище для проєктних і виробничих даних	Забезпечує безперервність процесу від моделі до виготовлення
Технологічна відповідність	Узгодження конструкції виробу з параметрами 3D-друку	Знижує ризик дефектів і переробок
Модульність інтеграції	Поетапне впровадження технологій у наявні процеси	Дозволяє адаптуватися без значних інвестицій
Гнучкість виробничих процесів	Можливість швидкого переналаштування під нові завдання	Підвищує адаптивність підприємства до змін попиту
Інформаційна зворотність	Використання даних виробництва для коригування проєктних рішень	Забезпечує постійне вдосконалення конструкцій

Джерело: сформовано автором на основі (Тарасюк та Чагайда, 2024: 23; Цирульник та ін., 2025: 251; Dai & Lu, 2025: 831; Dai & Lu, 2025; Klöckner et al., 2020: 21)

кожного зразка пов'язане з відчутними витратами часу і ресурсів.

Технологічна відповідність конструкції умовам 3D-друку набуває практичного змісту через врахування реальних обмежень процесу, а не абстрактних геометричних рішень. Наприклад, зміна орієнтації деталі на платформі або коригування товщини стінок дозволяє уникнути деформацій і зменшити потребу у підтримувальних структурах, що безпосередньо впливає на собівартість і тривалість виготовлення (Klöckner et al., 2020: 21). У цьому випадку конструкція виробу фактично «налаштовується» під технологію, а не навпаки, що є принципово новим підходом для підприємств, орієнтованих на традиційні методи виробництва.

Модульність інтеграції забезпечує можливість поступового впровадження 3D-друку без різких організаційних змін. У практиці це проявляється у використанні технології для виготовлення допоміжних елементів – оснастки, шаблонів, нестандартних кріплень, які раніше потребували тривалого виготовлення або закупівлі. Такий локальний ефект швидко дає відчутний результат і створює підґрунтя для подальшого розширення застосування технології. Гнучкість виробничих процесів, у свою чергу, дозволяє оперативно реагувати на зміну замовлень, коли заміна одного виробу іншим не потребує складної переналаджувальної роботи, а обмежується зміною цифрової моделі.

Інформаційна зворотність на практиці формує механізм накопичення технологічного досвіду, який раніше часто залишався неформалізованим. Дані про дефекти, точність відтворення геометрії чи поведінку матеріалів можуть системно вико-

ристовуватися для вдосконалення як конструкцій, так і режимів друку. Наприклад, при виготовленні серії функціональних деталей кожна наступна партія може враховувати результати попередньої, що поступово знижує рівень браку і стабілізує якість (Цирульник та ін., 2025: 251). Це означає перехід від експериментального використання 3D-друку до керованого інженерного процесу, де рішення базуються не лише на проєктних припущеннях, а й на накопичених емпіричних даних.

Впровадження технологій 3D-друку у продуктивний дизайн супроводжується низкою взаємопов'язаних науково-практичних проблем, які обмежують повноцінну реалізацію їх потенціалу на підприємствах. Однією з ключових є обмеженість номенклатури матеріалів та нестабільність їх експлуатаційних характеристик у процесі пошарового формування, що ускладнює забезпечення прогнозованих механічних властивостей виробів, особливо при навантажених або відповідальних конструкціях (Khan et al., 2026). До цього додається анізотропія властивостей, коли міцність виробу суттєво залежить від орієнтації шарів, що потребує складних інженерних розрахунків і не завжди може бути компенсовано конструктивними рішеннями.

Суттєвою проблемою є технологічна точність і повторюваність результатів, оскільки навіть за стабільних параметрів друку можливі відхилення геометрії, усадка матеріалу, деформації та дефекти поверхні. Це обмежує використання 3D-друку для виготовлення прецизійних деталей без додаткової механічної обробки, що знижує економічну ефективність процесу. Водночас відсутність уніфікованих стандартів контролю якості для різних технологій друку ускладнює сертифікацію продукції та

її впровадження у галузях із підвищеними вимогами до надійності (Dai & Lu, 2025). Економічна доцільність застосування 3D-друку залишається неоднозначною, оскільки висока вартість обладнання, матеріалів та обслуговування часто нівелює переваги скорочення виробничого циклу. Для серійного виробництва традиційні технології у багатьох випадках залишаються більш ефективними, тоді як 3D-друк демонструє переваги переважно у малосерійному або індивідуалізованому виробництві. Додатковим фактором є значні витрати часу на підготовку цифрових моделей, налаштування параметрів друку та постобробку виробів, що не завжди враховується при оцінці загальної ефективності. Особливою проблемою є рівень підготовки персоналу, оскільки ефективне використання технологій 3D-друку потребує поєднання знань у сфері проектування, матеріалознавства та технології виготовлення. Відсутність фахівців із комплексними компетентностями призводить до нераціонального використання обладнання, помилок у проектуванні та зниження якості продукції. Це ускладнюється недостатнім рівнем інтеграції відповідних освітніх програм у підготовку інженерних кадрів. Також варто відзначити проблему інтеграції 3D-друку у наявні виробничі процеси, оскільки підприємства часто стикаються з несумісністю цифрових форматів, відсутністю єдиних підходів до управління даними та необхідністю адаптації існуючих технологічних ланцюгів. До цього додаються обмеження масштабованості процесів, коли результати, отримані на рівні прототипування, не можуть бути відтворені з тією ж ефективністю у серійному виробництві.

Ефективне використання технологій 3D-друку в інноваційному продуктовому дизайні доцільно зосереджувати на напрямках, де вони забезпечують відчутний техніко-економічний ефект, зокрема у малосерійному виробництві, виготовленні складних конструкцій і функціональних прототипів. Рациональність застосування має визначатися на основі попереднього техніко-економічного аналізу з урахуванням витрат на матеріали, підготовку моделей і постобробку, що дозволяє уникнути формального впровадження технології без реального результату. Конструктивні рішення доцільно формувати з урахуванням параметрів 3D-друку, що зменшує ймовірність дефектів і забезпечує економію ресурсів, а використання

параметричного моделювання створює можливість швидкої адаптації виробів до конкретних умов застосування. Важливим є поєднання функцій у межах однієї деталі, що знижує трудомісткість складання і підвищує надійність виробів. Впровадження технології доцільно здійснювати поетапно, починаючи з виготовлення оснастки, допоміжних елементів і прототипів, що дозволяє швидко отримати практичний результат і накопичити досвід. Ефективність підвищується за рахунок використання зворотного зв'язку, коли результати друку застосовуються для уточнення конструкцій і режимів виготовлення. Додатково необхідним є розвиток міждисциплінарних компетентностей персоналу та інтеграція цифрових інструментів проектування і виробництва, що у сукупності забезпечує скорочення циклу розроблення продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Висновки. Узагальнення результатів показало, що використання технологій 3D-друку трансформує продуктивний дизайн через інтеграцію проектування і виготовлення в єдиний цифровий процес, що забезпечує скорочення циклу розроблення, підвищення гнучкості виробництва та можливість реалізації складних конструкційних рішень. Встановлено, що технологія створює умови для оптимізації виробів за масою, міцністю та функціональністю, однак її ефективність визначається узгодженістю цифрових моделей, матеріалів і параметрів друку. Виявлено ключові проблеми впровадження, зокрема обмеженість і нестабільність матеріалів, анізотропію властивостей, недостатню точність і повторюваність, відсутність стандартизованого контролю якості, а також економічні обмеження і дефіцит фахівців. Додатковими бар'єрами є складність інтеграції у виробничі процеси та обмежена масштабованість від прототипування до серійного виготовлення. Обґрунтовано, що ефективність використання 3D-друку досягається за умови цільового застосування, проектування з урахуванням технології, поетапної інтеграції та використання зворотного зв'язку. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням методів кількісної оцінки ефективності, прогнозуванням властивостей виробів, стандартизацією якості та розвитком моделей інтеграції технології у цифрові виробничі системи підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдула О. Ю. Генеза й еволюція концепції ланцюгів створення вартості у контексті формування міжнародної конкурентоспроможності підприємств. Актуальні проблеми економіки. 2024. Вип. 6, № 276. С. 60–71. DOI: <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-276-60-71>.

2. Кострікова К., Костріков О. Декоративний штукатурний і барельєфний живопис як елементи нейрофітнесу у психоемоційній реабілітації. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15. 2025. Вип. 3К, № 188. С. 361–365. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.03k\(188\).87](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.03k(188).87).
3. Тарасюк Г. М., Чагайда А. О. Проектування харчових продуктів з використанням технології 3D- і 4D-друку та його значення для розвитку адитивного виробництва. Економіка, управління та адміністрування. 2024. Вип. 4, № 110. С. 18–24. DOI: [https://doi.org/10.26642/ema-2024-4\(110\)-18-24](https://doi.org/10.26642/ema-2024-4(110)-18-24).
4. Цирульник С. М., Марцева Л. А., Марцев О. М. 3D-друк: від ідеї до фізичної моделі. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. 2025. № 19. С. 241–254. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.1916>.
5. Beltagui A., Kunz N., Gold S. The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation. *International Journal of Production Economics*. 2020. Vol. 221. Article 107462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.035>.
6. Dai Y., Lu Y. 3D printing driven business model innovation and supply chain operations: a perspective of strategic alignment. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2025. Vol. 36, № 4. P. 820–839. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2024-0372>.
7. Dai Y., Lu Y. How 3D printing enables sustainable supply chain business processes: case studies of manufacturing firms. *Business Process Management Journal*. 2025. P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2025-0689>.
8. Dong L., Shi D., Zhang F. 3D printing and product assortment strategy. *Management Science*. 2022. Vol. 68, № 8. P. 5724–5744. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4178>.
9. Holzmann P., Breitenacker R. J., Schwarz E. J. Business model patterns for 3D printer manufacturers. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2020. Vol. 31, № 6. P. 1281–1300. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0313>.
10. Jin Y., Zhu X., Zhang X., Wang H., Liu X. Business model innovation of 3D-printing garment enterprises in digital transformation: business model innovation canvas approach. *European Journal of Innovation Management*. 2025. Vol. 28, № 6. P. 2251–2284. DOI: <https://doi.org/10.1108/EJIM-03-2023-0223>.
11. Khan S. J., Albishri N., Galgotia A., Papa A. 3D printing technologies and innovation performance: an agile manufacturing theory perspective. *Technovation*. 2026. Vol. 149. Article 103347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2025.103347>.
12. Klöckner M., Kurpjuweit S., Velu C., Wagner S. M. Does blockchain for 3D printing offer opportunities for business model innovation? *Research-Technology Management*. 2020. Vol. 63, № 4. P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.2020.1762444>.
13. Marić J. Exploring 3D printing technology in the context of product-service innovation: case study of a business venture in south of France. *International Journal of Business Environment*. 2020. Vol. 11, № 3. P. 222–238. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBE.2020.110907>.
14. Zhaldak M. Innovative concepts for designing commercial spaces: functionality, adaptability and aesthetics. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2025. Vol. 13, № 4. P. 911–924. DOI: <https://doi.org/10.21533/pen.v13.i4.632>.
15. Ratii A. Mentorship model for the development of environmental culture in future fashion designers. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 21. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16976360>.

REFERENCES

1. Abdula O. Yu. (2024) Heneza y evoliutsiia kontseptsii lantsiuhiv stvorennia vartosti u konteksti formuvannia mizhnarodnoi konkurentospromozhnosti pidpriemstv. [Genesis and evolution of the value chain concept in the context of forming international competitiveness of enterprises] *Aktualni problemy ekonomiky*. 276. 60–71. DOI: <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-276-60-71>. [in Ukrainian]
2. Kostrikova K., Kostrikov O. (2025) Dekorativnyi shtukaturnyi i barelyefnyi zhyvopys yak elementy neurofitnesu u psykhoemotsiini reabilitatsii. [Decorative plaster and bas-relief painting as elements of neurofitness in psycho-emotional rehabilitation] *Naukovyi chasopys Ukrain'skoho derzhavnoho universytetu imeni Mykhaila Drahomanova. Serii 15*. 188. 361–365. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.03k\(188\).87](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.03k(188).87). [in Ukrainian]
3. Tarasiuk H. M., Chahaida A. O. (2024) Proiektuvannia kharchovykh produktiv z vykorystanniam tekhnolohii 3D- i 4D-druku ta yoho znachennia dlia rozvytku adytyvnoho vyrobnytstva. [Design of food products using 3D and 4D printing technologies and its importance for additive manufacturing development] *Ekonomika, upravlinnia ta administruvannia*. 110. 18–24. DOI: [https://doi.org/10.26642/ema-2024-4\(110\)-18-24](https://doi.org/10.26642/ema-2024-4(110)-18-24). [in Ukrainian]
4. Tsyrylnyk S. M., Martseva L. A., Martsev O. M. (2025) 3D-druk: vid idei do fizychnoi modeli. [3D printing: from idea to physical model] *Vidkryte osvittie e-seredovyshe suchasnoho universytetu*. 19. 241–254. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.1916>. [in Ukrainian]
5. Beltagui A., Kunz N., Gold S. (2020) The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation. *International Journal of Production Economics*. 221. 107462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.035>.
6. Dai Y., Lu Y. (2025) 3D printing driven business model innovation and supply chain operations: a perspective of strategic alignment. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 36. 820–839. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2024-0372>.
7. Dai Y., Lu Y. (2025) How 3D printing enables sustainable supply chain business processes: case studies of manufacturing firms. *Business Process Management Journal*. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2025-0689>.
8. Dong L., Shi D., Zhang F. (2022) 3D printing and product assortment strategy. *Management Science*. 68. 5724–5744. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4178>.

9. Holzmann P., Breiteneker R. J., Schwarz E. J. (2020) Business model patterns for 3D printer manufacturers. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 31. 1281–1300. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0313>.
10. Jin Y., Zhu X., Zhang X., Wang H., Liu X. (2025) Business model innovation of 3D-printing garment enterprises in digital transformation: business model innovation canvas approach. *European Journal of Innovation Management*. 28. 2251–2284. DOI: <https://doi.org/10.1108/EJIM-03-2023-0223>.
11. Khan S. J., Albishri N., Galgotia A., Papa A. (2026) 3D printing technologies and innovation performance: an agile manufacturing theory perspective. *Technovation*. 149. 103347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2025.103347>.
12. Klöckner M., Kurpjuweit S., Velu C., Wagner S. M. (2020) Does blockchain for 3D printing offer opportunities for business model innovation? *Research-Technology Management*. 63. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.2020.1762444>.
13. Marić J. (2020) Exploring 3D printing technology in the context of product-service innovation: case study of a business venture in south of France. *International Journal of Business Environment*. 11. 222–238. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBE.2020.110907>.
14. Zhaldak M. (2025) Innovative concepts for designing commercial spaces: functionality, adaptability and aesthetics. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 13. 911–924. DOI: <https://doi.org/10.21533/pen.v13.i4.632>.
15. Ratii A. (2025) Mentorship model for the development of environmental culture in future fashion designers. *Pedagogichna Akademiia: naukovi zapysky*. 21. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16976360>.

Дата першого надходження статті до видання: 16.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 25.05.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

