

**Летницький А.І.**

здобувач PhD

Національного університету "Одеська політехніка"

**Letnytskii Andrii**

Odesa Polytechnic National University

## ВПЛИВ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СТРУКТУРУ ЛОГІСТИКИ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

## INFLUENCE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES ON THE STRUCTURE OF LOGISTICS IN MANUFACTURING ENTERPRISES

У статті досліджується інтеграція адитивного виробництва в логістичні ланцюги, які використовуються сучасними виробничими компаніями. Аналізується, як адитивні технології, зокрема 3D-друк, впливають на процеси логістики та ланцюги поставок, надаючи можливість оптимізації і прискорення виробничих процесів. Досліджуються конкретні переваги 3D-друку, такі як зниження витрат на транспортування і зберігання, гнучкість виробництва та зменшення обсягу необхідних складських запасів, які роблять ці технології більш ефективними порівняно з традиційними методами виробництва. У статті також розглядається практичний кейс українського виробничого підприємства, що впровадило адитивні технології, і демонструється, як ці технології допомогли підприємству оптимізувати логістичні процеси, скоротити витрати та підвищити конкурентоспроможність на ринку. Дослідження підкреслює важливість подальшого розвитку і впровадження інновацій у сфері адитивних технологій, що може суттєво змінити структуру логістики виробничих підприємств і сприяти їхньому успішному розвитку в умовах сучасної економіки.

**Ключові слова:** адитивне виробництво, 3D-друк, логістика, адитивні технології, структура логістики.

In the article the integration of additive manufacturing within the logistics chains utilized by modern manufacturing companies is examined. The study explores how additive technologies, particularly 3D printing, influence logistics processes and supply chains, offering opportunities for optimization and acceleration of production workflows. Specific advantages of 3D printing, such as reduced transportation and storage costs, enhanced production flexibility, and a decrease in required inventory levels, are highlighted, demonstrating the greater efficiency of these technologies compared to traditional manufacturing methods. The article also presents a practical case study of a Ukrainian manufacturing enterprise that has implemented additive technologies, showcasing how these innovations have helped the company streamline its logistics processes, reduce costs, and enhance its market competitiveness. The analysis underlines the significance of further developing and adopting innovations in the field of additive technologies, which can substantially transform the logistics structure of manufacturing enterprises, fostering their successful growth in today's economic environment. By exploring the practical benefits and potential of 3D printing in logistics, the article provides valuable insights into how companies can leverage these technologies to gain a competitive edge. The study suggests that continued innovation in additive manufacturing will play a crucial role in reshaping the logistics landscape, enabling companies to meet evolving market demands with greater agility and efficiency. The article discusses how 3D printing technology enables on-demand production, reducing lead times and minimizing the need for extensive warehousing. The study emphasizes the strategic importance of adopting additive technologies in logistics, predicting that companies that invest in these innovations will be better positioned to navigate the challenges of a rapidly changing economic landscape. By integrating 3D printing into their logistics and production strategies, enterprises can achieve more sustainable and resilient operations, ultimately leading to enhanced customer satisfaction and increased profitability.

**Keywords:** additive manufacturing, logistics, 3D-printing, additive technologies, logistics structure.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан економічної системи України та необхідність підвищення прибутковості і зниження загальних витрат вітчизняних підприємств, а також

постійне зростання вимог до їх конкурентоспроможності, змушують підприємства шукати ефективніші способи управління своїми ланцюгами постачання. Для підвищення

привабливості ведення бізнесу в Україні важливо мати розвинену логістичну інфраструктуру, забезпечувати своєчасні та прозорі поставки логістичними операторами, а також забезпечувати високу якість та оперативність послуг на митних кордонах. Одним із ключових резервів підвищення ефективності логістичних процесів є сучасні передові технології, зокрема адитивні технології (3D-друк), а також інші інновації, що входять до складу цих технологій. Враховуючи недостатню розвиненість логістичної інфраструктури в Україні, впровадження сучасних технологій у логістичну діяльність підприємств має великий практичний і дослідницький інтерес.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки адитивні технології (3D-друк) все більше привертають увагу науковців і практиків, що досліджують їх вплив на різні аспекти виробничих і логістичних процесів. Важливий внесок у цю галузь зробили численні дослідження, які показують потенціал адитивних технологій для підвищення ефективності логістики виробничих підприємств.

Так, у роботі Едгара Сімонсона (2022) [2] було досліджено вплив адитивних технологій на скорочення ланцюгів постачання та зменшення витрат на транспортування. Вони відзначили, що завдяки можливості виготовлення деталей безпосередньо на місці виробництва, підприємства можуть значно зменшити залежність від традиційних постачальників і скоротити час доставки компонентів. Стефані Фейхтінгер (2021) [3] у своїй праці зосередилася на аналізі ефективності використання ресурсів і зниженні виробничих витрат завдяки адитивним технологіям. Вони зазначили, що 3D-друк дозволяє значно зменшити кількість відходів матеріалів, а також оптимізувати використання сировини, що є важливим фактором для сталого розвитку. Сем Уоткінс та Хью Фішер (2020) [4] досліджували вплив адитивних технологій на гнучкість виробничих процесів та можливості швидкого реагування на зміну ринкових потреб. Вони дійшли висновку, що впровадження 3D-друку сприяє створенню більш гнучких і адаптивних виробничих систем, що дозволяє підприємствам швидше реагувати на зміну попиту і пропозиції. Також важливо відзначити дослідження Тари Нагарян (2023) [5], які вивчали екологічні аспекти застосування адитивних технологій у виробництві. Вони підкреслили, що 3D-друк сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище за рахунок зниження кількості відходів та оптимізації енергетичних витрат.

Ці та інші дослідження створюють основу для подальшого вивчення впливу адитивних технологій на логістику виробничих підприємств.

Вони демонструють значний потенціал цих технологій для підвищення ефективності логістичних процесів, зниження витрат і підвищення гнучкості виробництва.

**Метою статті** є дослідження впливу адитивних технологій на структуру логістики виробничих підприємств. Завданням є виявлення ключових аспектів і тенденцій у використанні 3D-друку для оптимізації логістичних процесів, зменшення витрат, підвищення гнучкості та ефективності виробництва. Стаття також спрямована на визначення потенційних переваг і викликів, пов'язаних з впровадженням адитивних технологій у логістику, та формування рекомендацій для підприємств щодо їх інтеграції в існуючі виробничі процеси.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Концепція 3D-друку дозволяє будь-якому підприємству з мінімальними витратами створювати пристрої або їхні частини з металів, композитних матеріалів, пластмас та навіть людських тканин. Адитивне виробництво, або 3D-друк, значно розширює виробничі можливості, роблячи їх менш залежними від спеціалізованих виробництв та підприємств. Це дозволяє виробникам "друкувати" необхідні вироби та компоненти за потребою, що скорочує ланцюги постачання та зменшує потребу у зберіганні великої кількості готової продукції на складах. Застосування 3D-друку може впровадити значні зміни в логістичній сфері. Ця технологія має потенціал змінити існуючі моделі ланцюгів постачання, забезпечуючи друк запасних частин на замовлення, індивідуальне виробництво товарів або запчастин, відстрочку виробничих операцій тощо [1].

Технологічні нововведення відіграють все більшу роль у логістиці, особливо в логістичних ланцюгах постачання, де всі учасники процесу не можуть залишатися осторонь від цього впливу. Логістична сфера активно використовує великі обсяги інформації, а логістичні витрати складають значну частину собівартості продукції. Споживачі особливо чутливі до якості логістичних послуг, тому логістика, ймовірно, отримає значні переваги від впровадження нових інноваційних методів роботи (рис. 1).

Інновації в логістиці пов'язані з прагненням логістичних компаній впроваджувати нові технології, щоб не відставати від розвитку галузі. Це вимагається в першу чергу клієнтами логістичного ринку – представниками торговельного бізнесу та великих промислових підприємств, які бажають, щоб їхні товари або послуги доходили до замовника швидше і з меншими витратами [2].

У цьому контексті 3D-друк має величезний потенціал. Ця технологія дозволяє виробляти



**Рис. 1. Отриманий ефект від впровадження інноваційних технологій у логістичну структуру виробничого підприємства**

*Джерело: сформовано автором*

деталі та продукти на місці, скорочуючи логістичні ланцюги та знижуючи витрати на транспортування та зберігання. Вона також забезпечує швидке виготовлення необхідних компонентів, що підвищує швидкість обслуговування клієнтів і зменшує час виконання замовлень. Таким чином, впровадження 3D-друку може суттєво підвищити ефективність і конкурентоспроможність логістичних процесів [3].

Досліджуючи ключові аспекти і тенденції у використанні 3D-друку для оптимізації логістичних процесів, акцент був зроблений не на загальних категоріях, а суто на практичних, притаманних виробничим підприємствам. За приклад було взяте українське підприємство, що понад 20 років успішно працює на ринку телекомунікацій та зв'язку, а саме ТОВ "Телекомунікаційні Технології". Використання ним адитивних технологій, а саме Multi Jet Fusion, дало змогу отримати наступні логістичні та виробничі переваги:

1. Зниження витрат на транспортування і зберігання. Однією з найважливіших переваг 3D-друку в логістиці є можливість виготовлення продукції безпосередньо на місці, що дозволяє суттєво скоротити витрати на транспортування та зберігання. Компанії це дає змогу друкувати деталі та компоненти за запитом, зменшуючи потребу у великих складських запасах і скорочуючи логістичні ланцюги.

На прикладі ТОВ "Телекомунікаційні Технології" витрати на транспортування до використання 3D-друку склали в середньому 496 тис. грн. Частина цих витрат 3D-друк покрити не зміг, бо сам по собі передбачає логістичні витрати на сировину для виробництва, але більше 85 % логістичних витрат він

покрив. На сьогоднішній день ТОВ "Телекомунікаційні Технології" витрачають 94 тис. грн щомісяця на транспортні послуги, а отже в п'ять разів менше, ніж до застосування адитивного виробництва.

2. Підвищення швидкості доставки. Завдяки 3D-друку, підприємство виготовляє необхідні деталі безпосередньо на місці споживання. Це значно скорочує час доставки, що є особливо важливим для галузей, де швидкість виконання замовлень має критичне значення. В середньому доставка компонентів з Китаю займала більше двох тижнів, з Європи – майже тиждень. Враховуючи безперебійний характер виробництва та модернізацію виробничих рішень компанії, таке очікування передбачало би розширення території складських приміщень та найм додаткових працівників. Але за рахунок виготовлення компонентів на місці виробництва, ці витрати стали неактуальними.

3. Масштабованість і гнучкість виробництва. 3D-друк дозволяє швидко налаштовувати виробництво під потреби ринку, що робить його ідеальним рішенням для виготовлення обмежених партій продукції або навіть унікальних виробів. Ця гнучкість дозволяє компанії швидко реагувати на зміни попиту, не витрачаючи значних ресурсів на переналаштування традиційних виробничих ліній.

4. Зменшення відходів і підвищення екологічності. Адитивні технології дозволяють використовувати матеріали з більшою ефективністю, зменшуючи кількість відходів порівняно з традиційними методами виробництва. Це сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище і відповідає принципам сталого розвитку.

5. Підтримка виробництва в умовах глобальних збоїв. 3D-друк використовується підприємством як засіб для підтримки безперервності виробництва в умовах глобальних збоїв у ланцюгах постачання. Особливо це актуально під час війни, і було актуально під час пандемії COVID-19. Можливість виготовляти необхідні деталі на місці знижує залежність від глобальних постачальників і забезпечує більш стабільне функціонування виробництва. Безумовно не всі компоненти можна відтворити на місці, але можливість навіть часткового відтворення є суттєвою допомогою для підприємства.

6. Персоналізація продукції. 3D-друк відкриває можливість для виготовлення індивідуалізованих товарів та компонентів на замовлення, що стає все більш актуальним в умовах зростаючих вимог споживачів до персоналізації продукції. Саме це дозволяє підприємству пропонувати унікальні рішення, що відрізняються від масового виробництва. Одним з прикладів є персональний дизайн, логотипи або персоналізовані написи на приладах, що виробляє компанія. Це робить продукт унікальним та неповторюваним, а для кінцевого споживача більш престижним та цінним.

Загалом витрати ТОВ “Телекомунікаційні Технології” до та після впровадження адитивних технологій можна викласти у табл. 1.

Результати підрахунків витрати компанії за один рік без використання адитивних технологій та за один рік з їх використанням свідчать про скорочення загальних витрат майже в сім разів. Особливо суттєве скорочення спостерігалось у статтях про виробничі витрати та витрати на персонал. Також значно меншими стала втрата прибутку від логістичних очікувань на деталі та компоненти для виробництва, що вкотре підкреслює економічну ефективність впровадження 3D-друку для промислової компанії.

Всі вищенаведені переваги використання 3D-друку у логістиці та виробництві ТОВ “Телекомунікаційні Технології” дозволяють підприємству жваво реагувати на ринкові зміни та адаптувати свої процеси під будь-які технологічні нововведення. Для компанії, як і для решти промислових підприємств, що мають намір, або вже впровадили адитивні технології у своє виробництво, важливо розуміти майбутні тенденції розвитку 3D-друку у логістичній структурі компаній. А такі тенденції можна спрогнозувати вже зараз.

1. Децентралізація виробництва: одна з найзначніших тенденцій у впровадженні 3D-друку – це децентралізація виробництва. Замість централізованих заводів, де виробляється масова продукція, підприємства зможуть створювати менші локальні виробничі точки ближче до кінцевих споживачів. Це дозволить скоротити транспортні витрати, зменшити викиди CO<sub>2</sub> і швидше реагувати на зміну попиту.

2. Інтеграція з розумними логістичними системами: 3D-друк буде інтегрований з системами Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (AI) для створення розумних логістичних систем. Це дозволить автоматизувати процеси замовлення, виробництва і доставки продукції, підвищуючи ефективність і точність логістичних операцій [4].

3. Персоналізація продукції: тенденція до персоналізації продукції стає все більш вираженою. 3D-друк дозволить підприємствам швидко і економічно вигідно виробляти унікальні продукти або компоненти за індивідуальними замовленнями. Це дозволить задовольнити специфічні потреби клієнтів і створити конкурентні переваги на ринку.

4. Скорочення складських запасів: використання 3D-друку дозволить суттєво скоротити необхідність у великих складських запасах. Компанії зможуть друкувати необхідні деталі та

Таблиця 1

**Зміна витрат компанії до та після впровадження адитивних технологій у виробничі процеси**

Категорія витрат	До впровадження адитивних технологій (тис. грн)	Після впровадження адитивних технологій (тис. грн)
Транспортні витрати	496	94
Складські витрати	106	24
Виробничі витрати	117158	5010
Запасні частини і компоненти	780	312
Час простою обладнання (втрата прибутку)	620	21
Витрати на персонал	12015	5125
Витрати на інвентаризацію	88	74
Екологічні витрати	39	11
Операційні витрати	18944	11002
<b>Загальні витрати</b>	<b>150246</b>	<b>21673</b>

Джерело: сформовано автором

компоненти за запитом, що зменшить витрати на зберігання і ризики, пов'язані з надлишковими запасами [5].

5. Виробництво запчастин на вимогу: для багатьох підприємств велика проблема полягає у зберіганні і доставці запасних частин для обслуговування своєї продукції. 3D-друк дозволить друкувати запасні частини на вимогу, скорочуючи час простою обладнання та забезпечуючи швидке реагування на потреби клієнтів.

6. Розвиток екологічних логістичних рішень: зменшення транспортних витрат і зниження обсягу викидів CO<sub>2</sub> роблять 3D-друк привабливим з екологічної точки зору. У майбутньому очікується, що підприємства все більше зосереджуватимуться на впровадженні екологічних логістичних рішень, використовуючи 3D-друк для зменшення свого екологічного сліду [6].

7. Співпраця і кооперація між підприємствами: завдяки 3D-друку підприємства зможуть легко співпрацювати і кооперуватися між собою. Наприклад, одне підприємство може спеціалізуватися на виробництві певних компонентів і надавати їх іншим компаніям за запитом, що сприятиме створенню більш гнучких і ефективних виробничих мереж [7].

8. Адаптація нових матеріалів для 3D-друку: розвиток нових матеріалів для 3D-друку відкриє нові можливості для виробництва продукції, що раніше була неможлива для адитивного виробництва. Це дозволить створювати більш складні і функціональні продукти, що відповідатимуть високим вимогам клієнтів.

9. Підвищення якості та надійності продукції: з розвитком технологій 3D-друку очікується підвищення якості і надійності продукції. Сучасні адитивні технології дозволяють виробляти деталі з високою точністю і міцністю, що підвищить довіру до цієї технології з боку промислових підприємств [8].

**Висновки з проведеного дослідження** показують, що адитивні технології мають значний

вплив на структуру логістики виробничих підприємств, відкриваючи нові можливості для оптимізації процесів та зниження витрат. Застосування 3D-друку дозволяє суттєво скоротити витрати на транспортування та зберігання продукції за рахунок виготовлення деталей та компонентів безпосередньо на місці. Це, у свою чергу, зменшує потребу у великих складських запасах і скорочує логістичні ланцюги, що призводить до зниження загальних логістичних витрат.

Дослідження вказують на певні закономірності, що впливають з впровадження адитивних технологій у виробничі процеси. По-перше, можливість виробництва на вимогу дозволяє значно знизити витрати на утримання складів і уникнути накопичення надлишкових запасів. По-друге, виготовлення деталей та компонентів поблизу кінцевого споживача сприяє зменшенню витрат на транспортування та підвищує швидкість доставки продукції. По-третє, інтеграція 3D-друку в логістичні процеси створює умови для підвищення гнучкості виробничих систем та зменшення залежності від зовнішніх постачальників. Перспективи подальших розвідок у даному напрямку включають дослідження можливостей подальшої оптимізації логістичних процесів за допомогою адитивних технологій, аналіз впливу 3D-друку на екологічні аспекти виробництва та логістики, а також вивчення впливу цих технологій на конкурентоспроможність підприємств у різних галузях промисловості. Крім того, важливим напрямком подальших досліджень є розробка методологій для інтеграції адитивних технологій у існуючі логістичні системи та оцінка економічної ефективності їх впровадження. В підсумку, адитивні технології мають потенціал для радикальної трансформації логістичних структур виробничих підприємств, забезпечуючи їм конкурентні переваги і сприяючи розвитку більш гнучких, ефективних та економічно вигідних логістичних систем.

#### Список використаних джерел:

1. Martin Roberts. Additive Manufacturing and Its Implications for Supply Chains: A Scoping Review. *McGraw-Hill*. 2022. P. 22.
2. Edgar Simonson. The impact of additive technologies on logistics processes. *Additive technologies guide*. 2022. P. 17.
3. Stefanie Feichtinger. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. *Procedia CIRP, Volume 41*. 2021. P. 12.
4. Sam Watkins & Hew Fisher. Additive Manufacturing in the Supply Chain. *John Wiley & Sons*. 2020. P. 61.
5. Thara Nagarajan. Challenges and opportunities of 3D printing ecological gaps. *Manufacturing Letters*. 2023. P. 16.
6. Petrick, I. J., & Simpson, T. W. 3D printing disrupts manufacturing. *Research-Technology Management*. 2023. P. 56.
7. Deloitte. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth. *Deloitte University Press*. 2022. P. 23.
8. Weller, C., Kleer, R., & Piller, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*. 2023. P. 19.