

Лісова Р.М.

аспірантка кафедри економіки підприємства
Університету державної фіскальної служби України

Lisova Ruslana

Postgraduate Student
University of the State Fiscal Service of Ukraine

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА БІЗНЕС-ПРОЦЕСИ

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN PRODUCTION AND THEIR IMPACT ON BUSINESS PROCESSES

У статті розкрито сутність та переваги застосування адитивних технологій у виробництві, а також проаналізовано їхній вплив на бізнес-процеси компаній. Динамічний розвиток 3D-друку дає змогу виробникам збільшувати прибутковість виготовлення окремої одиниці продукції і знижувати бар'єри в організації виробничого процесу. Дослідження динаміки розвитку ринку адитивних технологій показує, що він значно випереджає інші галузі виробництва. Здійснено огляд основних сфер застосування даних технологій та визначено цілі використання 3D-друку промисловими компаніями. Продемонстровано трансформацію ланцюга доданої вартості під час інтеграції концепції адитивного виробництва. Автор підкреслює, що «підричний» характер адитивних технологій здатен кардинально змінити виробничі бізнес-процеси, надати спектр широких можливостей та вивести організацію виробництва на новий якісний рівень. Упровадження адитивних технологій здатне ефективно скоротити ланцюг постачання для усунення одного або декількох гравців. Упровадження цих технологій вимагає значних інвестицій у фундаментальні й прикладні дослідження. Досвід інтеграції адитивного виробництва в інших країнах показує, що дане завдання потребує уваги з боку уряду і вимагає фінансового стимулювання.

Ключові слова: адитивне виробництво, цифрові технології, 3D-друк, ланцюг доданої вартості, трансформація виробництва.

В статье раскрыты сущность и преимущества применения аддитивных технологий в производстве, а также проанализировано их влияние на бизнес-процессы компаний. Динамичное развитие 3D-печати позволяет производителям увеличивать прибыльность изготовления отдельной единицы продукции и снижать барьеры в организации производственного процесса. Исследование динамики развития рынка аддитивных технологий показывает, что он значительно опережает другие отрасли производства. Осуществлен обзор основных сфер применения данных технологий и определены цели использования 3D-печати промышленными компаниями. Продемонстрирована трансформация цепи добавленной стоимости при интеграции концепции аддитивного производства. Автор подчеркивает, что «подричной» характер аддитивных технологий способен кардинально изменить производственные бизнес-процессы, предоставит спектр широких возможностей и вывести организацию производства на новый качественный уровень. Внедрение аддитивных технологий способно эффективно сократить цепь поставок для устранения одного или нескольких игроков. Внедрение этих технологий требует значительных инвестиций в фундаментальные и прикладные исследования. Опыт интеграции аддитивного производства в других странах показывает, что данная задача требует внимания со стороны правительства и финансового стимулирования.

Ключевые слова: аддитивное производство, цифровые технологии, 3D-печать, цепь добавленной стоимости, трансформация производства.

The article reveals the essence of additive manufacturing and its main advantages. The influence of additive technologies on the digital transformation of production processes is analyzed. The dynamics of the additive technology market shows that it is significantly ahead of other industries. Done overview of the main applications of these technologies and outlined the main objectives of the use of 3D-printing industry. Rapid development of additive technologies allows manufacturers increasing the profitability of manufacturing a single unit of production and reducing the organization barriers of the production process. AM technologies are capable of dramatically changing the existing way of design and production. Transformation of the value chain with additive manufacturing concept integration is demonstrated. The comparative characteristic of traditional and production using additive technologies is conducted. Revealed that 3D printing is growing rapidly and drastically change production, reducing energy-using,

time to market and providing and gives opportunities alternating design. Investigated the benefits of this method of production efficiency compared to traditional methods of production. The author emphasizes that main advantage of additive manufacturing is the simplification of the technological process and notes that the "subversive" nature of additive technologies is able to transform production business processes, to provide a range of opportunities and to take the organization of production to a new quality level. As part of studying the process of introducing additive technologies into manufacturing, new economic principles of 3D printing, such as economy-of-one and complexity for free, are outlined. Demonstrated conversion of the value chain, the degree of change which depends on the level where the introduction of additive technologies. Implementation of these technologies requires significant investment in fundamental and applied research. Experience integrating additive production in other countries shows that this task requires attention from the government and requires financial incentives.

Keywords: additive manufacturing, digital technologies, 3D printing, value chain, the transformation of production.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Глобалізація ринку та новітні економічні реалії вимагають переосмислення промисловими компаніями способів організації виробництва та впровадження передових технологій у його процес. Адитивні технології, або технології пошарового синтезу, сьогодні є одним із найбільш динамічних напрямів цифровізації виробництва, їх використання надає низку переваг, що включають можливості переробляти та спрощувати компоненти, продукти і процеси, налаштовувати продукцію відповідно до вподобань замовника, прийняття концепції економіки замкненого циклу тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Різноманітні аспекти впровадження та використання адитивних технологій досліджено зарубіжними науковцями, зокрема вартість та ефективність 3D-друку висвітлено в працях П. Дудека та К. Загорського [6], дію адитивних технологій на стійкість ресурсів розкрито у статтях М. Деспейс і С. Форда [4], а вплив технологій тривимірного друку на інноваційний розвиток розглянуто С. Бехтольдом, К. Джуеллом, Б. Депортером. Серед вітчизняних науковців варто відзначити Г. Андрощука [7], Д. Дубова та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У процесі бурхливого розвитку технологій адитивного виробництва бар'єри, що перешкоджали їх впровадженню у виробничі процеси, поступово послаблюються, тому особливої актуальності набувають аналіз використання 3D-друку у виробництві та дослідження їхнього впливу на бізнес-процеси

Формулювання цілей статті (**постановка завдання**). Метою статті є дослідження процесу використання адитивних технологій у виробництві, аналіз та узагальнення їхніх основних переваг та впливу на бізнес-процеси компаній.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Важливим чинником, що сприяє процесу оновлення індустріалізації розвинених економік, стає розвиток нових виробничих технологій, які дають змогу здійснити перехід до нових бізнес-моделей, що ґрунтуються на кастомізації продукції. Кастомізація може забезпечуватися шляхом прискорення і здешевлення розроблення нових моделей і типів продукції на базі адитивних технологій, а також організації гнучких виробничих систем, що оперативно реагують на зміну ринкових потреб.

Адитивне виробництво (Additive Manufacturing – AM) – процес створення фізичного об'єкта за допомогою його пошарового друку із цифрового 3D-шаблону чи моделі, що є протилежністю субтрактивному виробництву, коли шари один за одним знімаються з матеріалу до досягнення бажаної форми. Це дає можливість ефективно використовувати сировину та утворювати мінімальні відходи, досягаючи задовільної геометричної точності [1, с. 20].

AM також забезпечує екологічний дизайн продукту на відміну від традиційних виробничих процесів гнучкість 3D-друку дає змогу виробникам оптимізувати дизайн із метою ощадливого виробництва, що за своєю природою виключає відходи. Крім того, топологічно оптимізовані конструкції, які можна реалізувати за допомогою адитивного виробництва, збільшують функціональність продукту, знижуючи, таким чином, кількість енергії, палива або природних ресурсів, необхідних для його виготовлення [2].

Згідно з результатами досліджень консалтингової компанії PWC, 91% промислових компаній активно працюють над цифровим перетворенням виробничих процесів (digital factories), де впровадженню адитивних технологій приділяється значна увага, проте лише 6% із них змогли інтегрувати дану концепцію у виробничий процес. Цифрова трансформація і реалізація концепції digital factory вимагають як внутрішніх, так і зовнішніх інвестицій, цей процес передбачає найм і навчання відповідних спеціалістів, докорінну зміну виробничих процесів та інтеграцію значних обсягів програмних рішень.

Сьогодні основними сферами застосуваннями 3D-друку на виробництві є дизайн і прототипування, яке залишається найбільшим сегментом AM, високими темпами зростає затребуваність адитивних технологій і в інших сегментах, таких як виробництво функціональних деталей та доведення концепції (рис. 1).

Рівень проникнення 3D-друку має нерівномірний характер у різних сферах і передусім залежить від переваг, які несуть адитивні технології тій чи іншій галузі, а також від бар'єрів у їх використанні. Домінуючі позиції у застосуванні технологій пошарового синтезу займають промисловий сектор, авіакосмічний, автомобілебудування, медицина і стоматологія та споживчий сектор. Довгостроковими драйверами розвитку адитивного виробництва виступають позитивні ефекти, котрі дані інноваційні технології здатні здійснити на розвиток окремих підприємств, галузей, а також економіку окремих країн у цілому.

Можливість докорінної трансформації виробничих систем за допомогою адитивних технологій

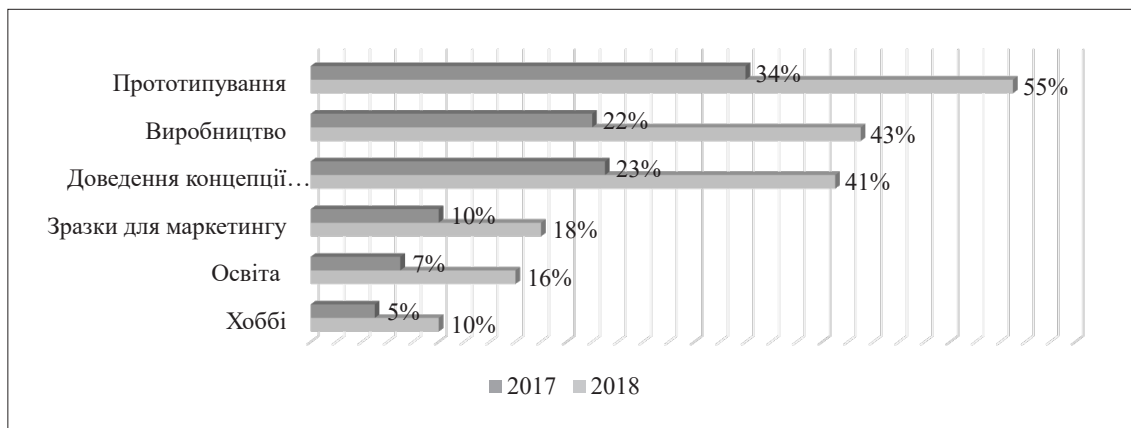


Рис. 1. Цілі використання 3D-друку промисловими компаніями у світі, порівняння 2017 та 2018 рр. [3, с. 8]

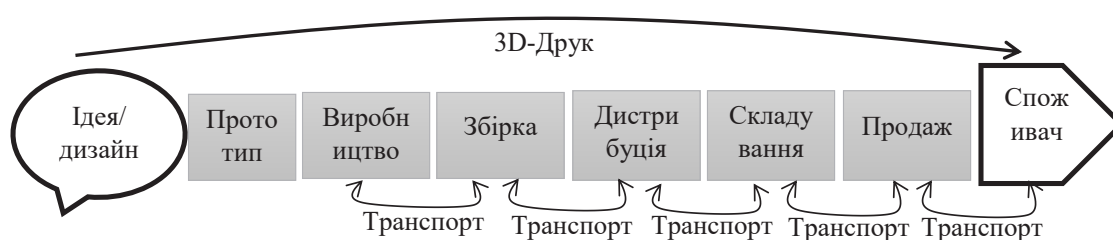


Рис. 2. Ланцюг доданої вартості в традиційному й адитивному виробництві [5]

ставить актуальне питання підтримки, розроблення та їх упровадження у виробництво. Дослідження Additive Manufacturing Special Interest Group у Великобританії показують низку потенційних переваг, які адитивні технології можуть надати, зокрема поліпшення ефективності використання ресурсів, більш ефективні виробничі системи, інтеграція нових матеріалів, впровадження нових виробничих процесів та прийняття нових бізнес-моделей. Дослідження та аналіз життєвого циклу показали, що впровадження адитивних технологій дає змогу суттєво заощадити на фазах виробництва та використання товару. Розраховані прогнози результати до 2025 р. дадуть економію в діапазоні 113–370 млрд дол. США і 56–219 млрд дол. США відповідно на кожній із цих фаз. Економія на етапі виробництва відбувається за рахунок знижених матеріальних витрат і обробок разом зі скороченнями ланцюгів поставок. На стадії використання легкі компоненти дають змогу зменшити споживання енергії [4, с. 2–3].

3D-друк називають однією з найбільш передових технологій, що здатна кардинально змінити сформований спосіб проектування і виробництва. Схематично найрадикальніший варіант впливу адитивних технологій на ланцюг доданої вартості представлено на рис. 2.

Традиційна промисловість є жорстко централізованою і керується з єдиного центру, навіть коли різні виробничі ланки ланцюга поставок розташовані в різних країнах. Виробничі процеси строго регламентовані, послідовні й обмежені технічними і фізичними можливостями застосовуваного устаткування. Ці обмеження значною мірою пов'язані з необхідністю застосування оснастки, різних видів

механічної обробки і постобробки продукту, складання великої кількості деталей і комплектуючих від різних постачальників [5].

Терміни виготовлення оснащення значно подовжують терміни основного виробництва; крім того, чим складнішою є кінцева продукція, тим більше видів різного обладнання необхідно в межах одного виробничого процесу. Жорсткі вимоги до властивостей обладнання і складність форм, логістичні відстані до місця виробництва забезпечують тривалий цикл виготовлення й високу вартість, яка виправдана тільки в умовах масового виробництва і не дає змоги виготовляти одиничну модель. Будь-які зміни продукту вимагають також переоснащення усієї виробничої лінії, нових інструментів оснащення і тривалого часу, тому дрібносерійне виробництво в традиційних рамках є неефективним.

3D-друк істотно спрощує технологічний процес, знижує трудомісткість, прискорює виробництво, знижує логістичне та енергетичне навантаження і збільшує собівартість виготовлення.

Підривний (disruptive) характер адитивних технологій кардинально змінює ситуацію організації виробничого процесу і надає спектр широких можливостей, які раніше були недосяжними, тому цю технологію вважають одним із найважливіших драйверів Індустрії 4.0 [6, с. 3–4]:

– змінюється (підривається), схема організації виробництва, замість централізованого управління можливим стає друк деталей/комплектуючих на місці, на різних ланках коопераційного ланцюжка і на різних етапах виробничого циклу залежно від галузі та від потреб споживача;

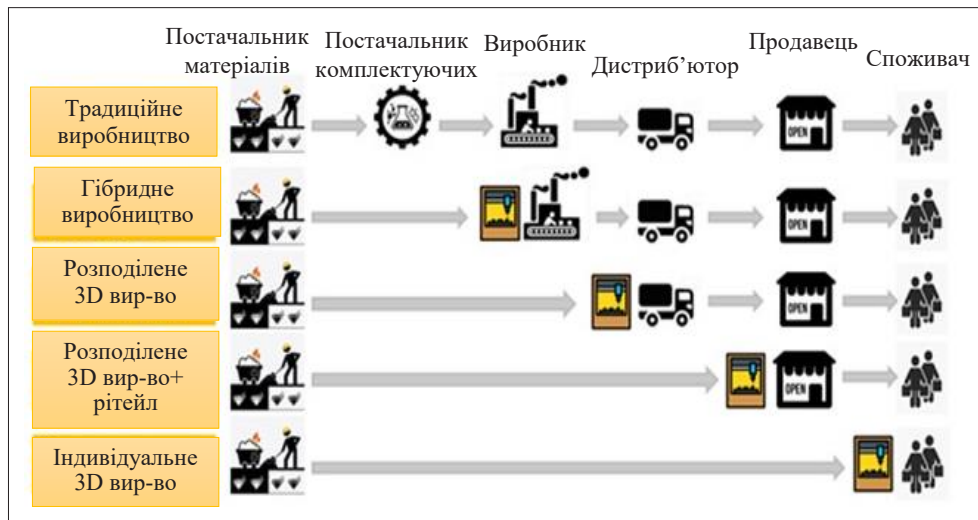


Рис. 3. Трансформація ланцюга доданої вартості під впливом 3D-друку [8]

– за рахунок виготовлення деталі будь-якої форми і складності, економії на оснащенні або її більш дешевого виготовлення підривається і перестає діяти головний економічний принцип сучасної промисловості – ефект масштабу

Замість ефекту масштабу виникає новий економічний принцип 3D-друку – «економіка одиниці» (economy-of-one). А також «складність за безкоштовно» (complexity for free) – друк одиначної деталі будь-якої складності за індивідуальною моделлю, за однаковою вартістю незалежно від розміру партії і без необхідності налагодження виробничої лінії й формування масового замовлення для зниження та розподілу собівартості, оскільки для принтера все одно якої форми друкувати деталь завдяки технології пошарового додавання матеріалу [7, с. 70].

У широкому сенсі Індустрія 4.0 характеризує новий рівень організації виробництва й управління ланцюжком створення вартості протягом усього життєвого циклу продукції, що випускається. З впровадженням 3D-друку у виробництво існуючий ланцюг постачання зазнає трансформації, їх ступінь залежить від рівня, на якому відбувається впровадження адитивних технологій. Ланцюг постачання включає низку зацікавлених сторін – від постачальників матеріалів, постачальників компонентів до кінцевих споживачів. 3D-друк може ефективно скоротити цей ланцюжок поставок, щоб усунути одного або декількох гравців (рис. 3).

Застосування 3D-друку стимулюватиме децентралізоване виробництво, проте за такої виробничої схеми вартість доставки товарів за останню милю значно зростає. Дана оцінка заснована на реаліях сектору електронної комерції. Компанії повинні бути досить гнучкими, щоб протистояти зрушенням такого масштабу [8].

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Впровадження нових технологій є основою успішного функціонування будь-якого комерційного підприємства, оскільки в умовах нестабільності ринку необхідно постійно адаптовувати продукцію і бізнес-процеси. Основна

мета впровадження адитивного виробництва на підприємстві полягає у підвищенні його економічних показників ефективності та усуненні недоліків традиційних способів виробництва, що виражаються в перевиробництві й утратах, зумовлених наявністю зайвих запасів, витратами часу на прості обладнання, наявністю зайвих довгих виробничих ланцюжків, високими транспортними витратами тощо.

Сьогодні використанням та впровадженням технологій адитивного виробництва займається обмежена кількість українських промислових підприємств і дослідницьких центрів. Діапазон їхньої діяльності дуже вузький, тому вони переважно виступають як посередники, що продають АМ-обладнання та/або займаються швидким прототипуванням, тому в умовах дефіциту фінансових ресурсів дуже важливо забезпечити комплексний підхід і координацію робіт у галузі фундаментальних і прикладних досліджень із цього питання.

Бібліографічний список:

1. Klaus Schwab. The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum. 2016. 192 p.
2. Samuel H. Huang, Peng Liu, Abhiram Mokasdar, Liang Hou. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 67. Issue 5–8. P. 1191–1203. DOI : 10.1007/s00170-012-4558-5.
3. Sculpteo – The State of 3D printing 2018. *Edition*. 2018. P. 1–29. URL : https://www.sculpteo.com/media/ebook/State_of_3DP_2018.pdf (дата звернення: 17.09.2019).
4. Mélanie Despeisse, Simon Ford. The role of Additive Manufacturing in improving resource efficiency and sustainability. *Centre for Technology Management working paper series*. 2015. №. 3. P. 1–11. DOI : 10.1007 / 978-3-319-22759-7_15.
5. Рынок 3D-печати в странах СНГ и мире (Аддитивное Производство, АП / Additive Manufacturing, AM). *Аналитический звіт J'son & Partners Consulting*, 2019. URL : http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-3d-pechati-v-rossii-i-mire-additivnoe-proizvodstvo-ap-additive-manufacturing-am-2018-g-20190117060056 (дата звернення: 20.09.2019).
6. Piotr Dudek, Krzysztof Zagórsky. Cost, resources, and energy efficiency of additive manufacturing. *Energy*

and Fuels. 2017. №. 6. P. 1–8. DOI : 10.1051/e3sconf/20171401040.

7. Андрощук Г.О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку. *Наука, технології, інновації*. 2017. Вип. 1. С. 68–77.
8. Alan Sam Baby. 3D Printing and supply chain : to be or not to be disrupted. 2018. URL : https://medium.com/@Myst_AI/3d-printing-supply-chain-to-be-or-not-be-disrupted-6c213611ae07 (дата звернення: 20.09.2019).

References:

1. Klaus M. Schwab, (2016) [The Fourth Industrial Revolution]. Geneva: World Economic Forum.
2. Samuel H. Huang, Peng Liu, Abhiram Mokasdar, Liang Hou (2014). [Additive manufacturing and its societal impact: a literature review]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, no 5–8, pp 1191–1203
3. Sculpteo (2018) The State of 3D printing 2018. San Francisco. Available at: https://www.sculpteo.com/media/eb-book/State_of_3DP_2018.pdf (accessed 17 Sep 2019)
4. Mélanie Despeisse, Simon Ford (2015). [The role of Additive Manufacturing in improving resource efficiency and sustainability]. *Centre for Technology Management working paper series*. no. 3. pp. 1-11.
5. J'son & Partners Consulting (2019) *Rynek 3D печати v stranakh SNG i mire*, [3D printing market in the CIS countries and the world]. Available at: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-3d-pechati-v-rossii-i-mire-additivnoe-proizvodstvo-ap-additive-manufacturing-am-2018-g-20190117060056 (accessed 20 Sep 2019).
6. Piotr Dudek, Krzysztof Zagórsky (2017) [Cost, resources, and energy efficiency of additive manufacturing]. *Energy and Fuels*, no.6. pp. 1-8.
7. Androshuk Gh. O. (2017) *Adytyvni tekhnologhiji: perspektyvy i problemy 3D – druku* [Additive technologies: perspectives and problems of 3D printing]. *Nauka, tekhnologhiji, innovaciji*. [Science, technology and innovations]. vol. 1, pp.68-77
8. Alan Sam Baby (2018). [3D Printing and supply chain : to be or not to be disrupted]. Available at: https://medium.com/@Myst_AI/3d-printing-supply-chain-to-be-or-not-be-disrupted-6c213611ae07 (accessed 20 Sep 2019)