

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ
НАЦІОНАЛЬНИМ ГОСПОДАРСТВОМПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ 3D-ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ
PROBLEMS AND PROSPECTS OF 3D TECHNOLOGY MARKET
DEVELOPMENT IN UKRAINE

У статті визначено сфери теперішнього та майбутнього поширення 3D-технологій в Україні та світі. Автор проводить аналіз розвитку глобальних трендів 3D-технологій та обґрунтовує важливу роль адитивних технологій у прискоренні інноваційних перетворень у виробництві та наданні послуг. Визначено перспективні напрями розвитку ринку 3D-технологій в Україні, а саме: 3D-біопрінтинг (технологія створення об'ємних 3D-моделей із використанням живих клітин, за якого зберігаються функції та життєздатність клітин); фармацевтична галузь; авіа- та ракетобудування; автомобілебудування; масове друкування одягу та взуття; кулінарія; ювелірна галузь та ін. Проаналізовано стримуючі чинники для розвитку ринку 3D-технологій в Україні, а саме недостатність освітніх навичок, висока вартість устаткування, спеціальне програмне забезпечення, дефіцит матеріалів, валідація та дотримання стандартів якості. Автор пропонує можливі напрями сприяння розвитку ринку 3D-технологій та обґрунтовує пропозиції щодо вдосконалення його розвитку.

Ключові слова: ринок 3D-технологій, адитивні технології, Індустрія 4.0, конкурентоспроможність, промисловість.

В статті определены сферы настоящего и будущего развития 3D-технологий в Украине и мире. Автор проводит анализ развития глобальных трендов 3D-технологий и обосновывает важную роль аддитивных технологий в ускорении инновационных преобразований в производстве и предоставлении услуг. Определены перспективные направления развития рынка 3D-технологий в Украине, а именно: 3D-биопринтинг (технология создания объемных 3D-моделей с использованием живых клеток, при котором сохраняются функции и жизнеспособность клеток); фармацевтическая отрасль; авиа- и ракетостроение; автомобилестроение; массовое печатание одежды и обуви; кулинария, ювелирная отрасль и др. Проанализированы сдерживающие факторы для развития рынка 3D-технологий в Украине, а именно: недостаточность образовательных навыков, высокая стоимость оборудования, специальное программное обеспечение, дефицит материалов, валидация и соблюдение стандартов качества. Автор предлагает возможные направления содействия развитию рынка 3D-технологий и обосновывает предложения по совершенствованию его развития.

Ключевые слова: рынок 3D-технологий, аддитивные технологии, Индустрия 4.0, конкурентоспособность, промышленность.

УДК 338.3:[330.341.1:004.94](477)

<https://doi.org/10.32843/infrastruct39-10>

Кушніренко О.М.

к.е.н., доцент,
старший науковий співробітник відділу
промислової політики
ДУ «Інститут економіки
та прогнозування
Національної академії наук України»

Kushnirenko Oksana

Institute for Economics and Forecasting
National Academy of Sciences of Ukraine

This article is devoted to the problems of the 3D technologies market development in Ukraine and all over the world. Then the author analyses the global trends of 3D technologies and argues the important role of additive technologies in accelerating innovative transformations of the manufacturing and provision of services. It was emphasized future directions for the 3D technologies market development in Ukraine, among them are 3D bioprinting (the technology of 3D-model construction using living cells, where functions and vitality are preserved) pharmaceutical industry (printing of drugs for individual needs); aircraft and rocket science; automotive industry; mass printing of clothes and shoes; culinary; jewellery industry and others. The author identifies constraints for the development of the 3D technology market in Ukraine, such as the lack of educational skills, high cost of printers, special software, shortage and high cost of printing materials, validation and compliance with quality standards. This allowed justifying propositions for promoting the development of the 3D technology market. Ukraine has its own strong points and advantages in 3d technology development which can be enhanced by successful adaptation to their effects. The author invites consideration of measures that would enable the Ukrainian 3D technology market to increase its effectiveness such as an effective dialogue between the public and the private sectors can provide important information inputs to shape public interventions seeking to promote innovation-based competitiveness; developing public private partnerships; support to national research on new materials and technologies for their processing; deregulated domestic financial markets, promoting co-financing and venture capital funds, build-operate-transfer schemes for the financing of infrastructure projects, and privatizing utilities; improvement the legal basis for venture capital financing. The benefits of 3D technology will have a multiplier effect on the whole economy, because their dissemination is a leap-globalized field of innovation, with extensive cooperation and competition between large and small companies, where innovation is constantly taking place.

Key words: 3D technology market, additive technologies, Industry 4.0, competitiveness, industry.

Постановка проблеми. Початок 2020 р. характеризується появою нових можливостей для всіх учасників глобальної економіки. Водночас не можна оминати й численні виклики: зростаючу нерівність, торговельні війни, технологічні розриви, кібератаки, зміни клімату, геополітичну невизначеність, глобальну міграцію, старіння націй та багато інших, які загрожують сталому соціально-економічному розвитку суспільства. Це підтверджують висновки Всесвітнього економічного

форуму в Давосі, однією з ключових тез якого було визнано підвищений ризик стагнації економічного та політичного розвитку багатьох країн. Відповідно до останнього звіту Форуму про глобальну конкурентоспроможність, світ знаходиться в економічній «переломній точці», пов'язаній зі стрімким розповсюдженням новітніх технологій у всі сфери суспільного життя та посиленням їхнього впливу [1; 4]. Для того щоб успішно реалізувати можливості, які відкриває глобальна діджиталізація та

виникнення й стрімке поширення пов'язаних із нею інноваційних трансформацій, зокрема адитивних технологій та технологій 3D-друку для всіх учасників економіки, необхідно спрямовувати ресурси та зусилля в безперервне продукування інновацій, створення нових розробок, формування нових цінностей та впровадження їх у виробництво та розповсюдження матеріальних благ. Особливо сильно відчувається вплив адитивних технологій на розвиток суспільних відносин та високотехнологічних галузей промисловості, де вони відкривають багато можливостей на всіх стадіях життєвого циклу виробництва: проектування, продукування, збут, маркетинг, післяпродажне обслуговування.

Сегмент 3D-технологій як процес широкого застосування в промисловості цифрових інформаційних технологій може стати тим інструментом, який трансформує поняття фізичної праці людини, поставивши на перший план творчу й розумову діяльність, а його поширення підвищить якість продукції, зменшить навантаження на навколишнє середовище, тобто в довгостроковій перспективі матиме не тільки економічні, а й соціальні ефекти. Україні, яка опинилася перед новими викликами, пов'язаними зі стрімким розвитком інформаційних технологій, україні необхідно вивчати та застосовувати досвід країн-лідерів, щоб здійснити технологічний стрибок та зайняти гідне місце в системі міжнародних економічних відносин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Особливості застосування технологій 3D-друку як перспективної світової тенденції привертають увагу як зарубіжних, так і вітчизняних учених. Цьому питанню присвячено праці Д. Ріфкіна, К. Шваба, М. Коултера, Ч. Халла, С. Крампа, М. Хаммера, Т. Давенпорта, Дж. Шорта, Д. Чампі та ін. Важливий науковий внесок у розвиток і суттєве поглиблення окремих аспектів розвитку української промисловості в рамках поширення досягнень Індустрії 4.0 та 3D-технологій зокрема роблять такі українські вчені, як Г. Андрущук, А. Гречко, Д. Дубов, М. Ожеван, О. Юрчак та ін. Але багатогранність і комплексність проблематики потребує подальших науково-технічних і економіко-правових досліджень. З огляду на важливість цієї проблеми, теоретичні і практичні питання впливу даної технології на суспільний розвиток є актуальними, адже досі залишаються невирішеними окремі аспекти, що стримують розвиток ринку 3D-технологій в Україні та обґрунтування перспективних напрямів його розвитку в майбутньому.

Постановка завдання. Розвиток ринку 3D-технологій в Україні сприятиме виникненню синергетичних ефектів як в Україні, так і за кордоном, а саме зростанню інноваційності та конкурентоспроможності вітчизняних суб'єктів господарювання, можливостям залучення широкого

кола підприємств до глобальних ланцюгів доданої вартості.

Вищезазначене визначає важливість висвітлення концептуальних аспектів розвитку ринку 3D-технологій, окреслення кола проблем для українських учасників ринку та розроблення практичних рекомендацій щодо подальшого розвитку 3D-технологій як інструмента підвищення якості життя суспільства та конкурентоспроможності України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Сучасна реальність тісно пов'язана з технологічними перетвореннями, що стосуються не тільки появи «розумних» машин, а й широкого використання новітніх технологій створення продукту та застосування новітніх матеріалів у рамках Четвертої промислової революції – популярної Стратегії Industrie 4.0 (Industry 4.0), які вже широко застосовуються провідними світовими виробниками [5]. Згідно з дослідженнями багатьох зарубіжних науковців, компанія, яка не справляється з технологічними викликами, опиняється поза межами сучасних ланцюгів створення доданої вартості [11, с. 15].

Однією з перспективних технологій Індустрії 4.0 є 3D-принтинг, історія виникнення якого не нараховує й тридцяти років, хоча формування наукових підвалин тривало багато років. Засновником технології 3D є американець Чак Халл, який у 1983 р. подав свій винахід на патентування, а вже в 1986 р. представив усьому світові пристрій, який тоді він назвав «пристроєм для стереолітографії» (SLA-установка), в основі роботи якої лежить принцип додавання шарів форми об'єкта [7]. Подальший розвиток технології відзначився вдосконаленням способів отримання об'ємних «друкованих відбитків» (табл. 1).

Для розуміння сутності 3D-технологій необхідно розглянути їхні ключові характеристики. У багатьох традиційних способах обробки матеріалів, особливо тих, які використовуються на етапі моделювання і створення прототипів, найчастіше використовується принцип «взяти заготовку і видалити все зайве», за якого утворюється велика кількість відходів. У цьому плані 3D-друк відрізняється радикально: процес починається з нуля і поступово, послідовним додаванням шарів (тобто адитивно), «вирощується» майбутній виріб. Відрізняється така технологія повною або частковою відсутністю відходів. До того ж на відміну від роботи на звичних пристроях обробки (фрезерних, токарних та інших верстатах) 3D-друк не вимагає глибоких знань та великого досвіду в обробці матеріалів.

Сьогодні глобальний ринок 3D-технологій є надзвичайно перспективним, темпи його приросту значно випереджають інші сектори. Його середній щорічний приріст оцінюється в 27%, а

за 2019 р. становив 267 млрд дол США порівняно з 11 млрд у 2015 р. Застосування адитивних технологій за галузями економіки розподіляється у таких сферах, як виробництво споживчих товарів і електроніки, автомобілебудування, медицина, фармацевтична галузь, стоматологія, авіабудування і космічна галузь, виготовлення засобів виробництва, військова техніка, освіта, будівництво (рис. 1).

За останні п'ять років динаміка зростання адитивних технологій становить 27%. Недарма такі гіганти, як Boeing, Nike, Adidas, Hewlett Packard, Ford, Coca-Cola, GE та ін., активно адаптують 3D-друк і сканування під свої потреби. Усі нормативні документи з адитивних технологій нині затверджує спеціальний міжнародний комітет, створений альянсом Global Alliance of Rapid Prototyping Associations (GARPA), до якого входять національні асоціації з 3D-технологій 22 країн, які активно їх розвивають [3].

Світовий ринок адитивних технологій у 2018 р. становив близько 3,8 млрд дол. США [2]. Перше місце у цій сфері належить США (рис. 2), далі йдуть Японія, Німеччина і Китай, хоча і з чотири-кратним відставанням. Україна поки що не входить до країн-лідерів та перебуває на початковому етапі розвитку цього напрямку. Рейтинг національної конкурентоспроможності, представлений в огляді The Global Competitiveness Report 2019, за показниками інноваційної спроможності ставить США на перше місце, а Україну – лише на 81-е (зі 137 країн) з оцінкою конкурентоспроможності країни 4.1 [9].

Друкування у 3D-форматі вже отримало широке розповсюдження не тільки в реальному секторі економіки (рис. 3), а й у інших сферах суспільного життя [10, с. 70]:

– промисловості та виробництві (проєктування та тривимірне друкування двигунів, електромобілів, промислове прототипування);

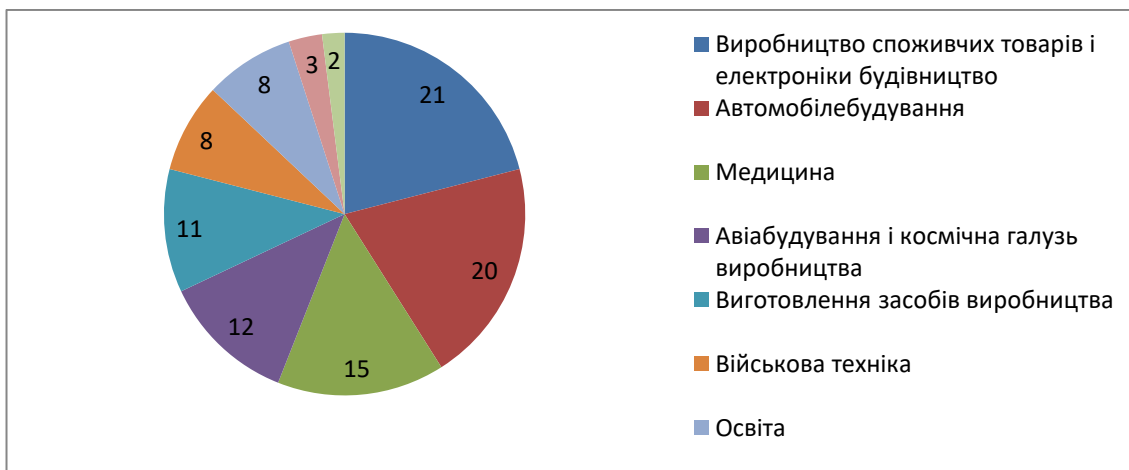


Рис. 1. Сфери застосування технологій 3D за галузями економіки у 2018 р., %

Джерело: складено автором за даними [6]

Таблиця 1

Основні віхи розвитку 3D-технології

Рік	Подія
1984	Подання Чаком Халлом заявки на патент технології стереолітографії
1988	Патентування Скотом Крапом нових технологій моделювання методом наплавлення (Fused Deposition Modeling (FDM)) і методом селективного лазерного спікання (Selective Laser Sintering (SLS))
1988	Заснування компанії Stratasys та початок виробництва промислового устаткування
1993	Патентування технології тривимірного друку в Массачусетському технологічному інституті
2005	Випуск на ринок нової моделі принтера Spectrum Z510 для 3D-друку з високою роздільною здатністю кольорів компанією Z Corporation
2006	Створення загальнодоступного проекту Reprap, націленого на виробництво 3D-принтера, здатного відтворювати деталі власної конструкції
2010	Розроблення моделі легкового автомобіля, у якого корпус був виготовлений на 3D-принтері
2010	Виготовлення штучних кровеносних судин
2013	Патент на друк індивідуальних протезів
2014 – дотепер	Поява на ринку все більше нових виробників 3D-машин, зниження їх вартості та насичення ринку принтерів для домашнього використання

Джерело: складено автором на основі [8]

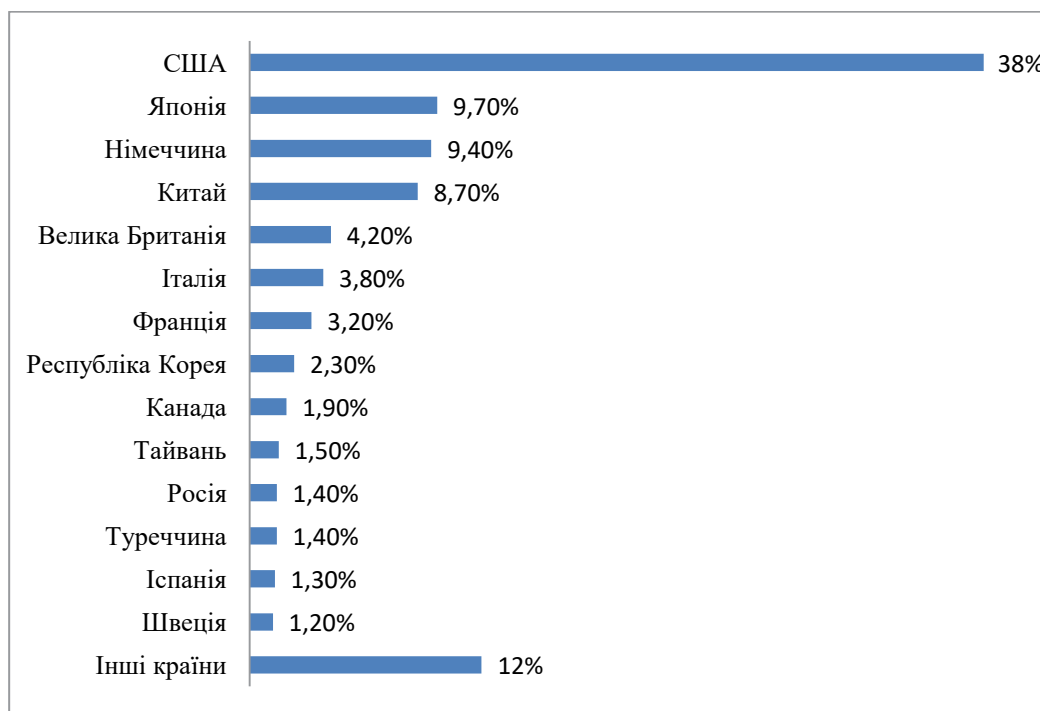


Рис. 2. Частка ринку 3D-технологій у провідних країнах світу в 2018 р.

Джерело: складено автором за даними [21]



Рис. 3. Головні напрями використання 3D-технологій

Джерело: складено автором на основі [2]

- медицині (друкування елементів для хірургії, стоматології, ортопедії, індивідуального протезування);
- архітектурі та дизайні (друкування архітектурних макетів будівель, споруд, окремих районів міст та котеджних сіл із відповідною інфраструктурою; друкування будинків та інших архітектурних об'єктів);
- космічній галузі (друкування для космічних досліджень, наприклад друкування споруд для будівництва місячних баз);

- військовій галузі (дизайн нового обладнання, запуск його у промислову серію, наприклад друкування прототипів лінз для пілотів, безпілотних літаків (дронів), окремих видів зброї та ін.);
- робототехніці;
- освіті.

В Україні на ринку 3D-технологій тільки формується попит. Сьогодні технологія обмежена технічними можливостями устаткування (робочим розміром принтера і швидкістю друку). Потрібне вдосконалення в підвищенні тривимірної точності

готових виробів, повторюваності на рівні заданої якості деталі на виході (на разі кожний бізнес-процес друкування завершується різними результатами), обмежений перелік матеріалів потребує наукових досліджень з можливістю розширення доступних матеріалів для друку. Для отримання гарантованої якості виробу потрібно забезпечити працездатність, надійність і єдність обладнання, процесів та продукту.

Основні виробничі бар'єри 3D-друку в Україні пов'язані з розробленням повнофункціональної, потужної, надійної, зручної і безпечної інтегрованої системи для забезпечення сканування (аналізу) в процесі нанесення необхідної кількості матеріалу, швидкості, високої якості деталі і здійснення контролю над технічними параметрами.

До того ж недосконалість програм підтримки діджиталізації та нерозвиненість інституційного середовища в Україні, а також невідповідність підготовки наявних фахівців, відсутність фахових компетенцій у більшості населення стримують розвиток 3D-принтингу. Проблема залучення унікальних фахівців є особливим чинником, пов'язаним зі створенням особливих умов для роботи професійних кадрів у рамках загального законодавства.

Розвиток ринку 3D-друку відкриває небачені раніше перспективи для всіх учасників економіки, особливо у сфері малого та середнього бізнесу. Ще декілька років тому тривимірним друком займалися лише окремі виробники, але останнім часом усе більше компаній різних сфер застосовують передові технології у виробництві. За даними прогнозу компанії IDC, обсяг ринку 3D-друку у світі до 2020 р. збільшиться в десять разів. Приріст у грошовому еквіваленті становитиме 59%, у кількісному – 29%, а до 2050 р. кожна сім'я, що проживає в країні розвинутого світу, використовуватиме тривимірний друк у домашніх умовах. Це означає, що надрукувати велосипед, меблі, посуд і аксесуар не буде проблемою для непрофесійних користувачів [2].

Підсумовуючи вищевикладене, можемо визначити, що основними перспективними напрямками інноваційного розвитку 3D-технологій є:

- поступове поширення технологій 3D-друку найближчими роками, що дасть цій технології змогу увійти в масовий сегмент;
- зниження вартості витратних матеріалів (полімерів, металевих деталей);
- скорочення витрат на капітальні інвестиції, витрат на логістику, складські потужності внаслідок трансформації малосерійного виробництва;
- формування та розвиток ринку 3D-моделювання, можливість обмеженого безкоштовного доступу до основних моделей та креслень;
- 3D-друк створить новий ринок медичних послуг із можливістю заміни уражених органів на нові, вирощені з власних клітин пацієнта;

– будівельна галузь переживе значні метаморфози, пов'язані з масовим, індивідуальним, недорогим будівництвом, майбутні проекти будуть реалізовуватися в концепції «нової урбаністики».

Таким чином, після десятиліть розвитку 3D-друк, нарешті, досяг періоду стійкого зростання, що перевищує більшість інших технологій виготовлення. Як і для багатьох інших нових технологій, наступні кілька років, ймовірно, 3D-друк стане поширеною технологією в усіх видах виробництва – від роботів до ракетних кораблів. Зокрема, у сфері селективного лазерного спікання (SLS) підвищиться швидкість виготовлення деталей із різних нейлонових матеріалів. Поєднуючи всі ці досягнення зі зростаючою обчислювальною потужністю у хмарі, підключенням IoT, великими даними та робототехнікою нового покоління, поєднання 3D-технологій з іншими технологіями Industry 4.0 сприятиме розвитку когнітивного, адаптивного та смарт-виробництва.

3D-друк, який раніше вважався фантастичною категорією, сьогодні стає повсякденною реальністю. Це надає широкі можливості для всіх учасників світової економіки, не тільки для країн – лідерів в інноваціях, а й для країн, що розвиваються. Зокрема, Україна має всі можливості для формування конкурентних переваг на цьому ринку без будь-якого помітного відставання від світу; більше того, українські фахівці спроможні зайняти свою нішу у сфері 3D-моделювання та розроблення програмного забезпечення для 3D-друку.

Висновки з проведеного дослідження. Розвиток 3D-технологій в промисловості сьогодні вже не просто тренд, а важлива умова економічного зростання і конкурентоспроможності. Прогрес у сфері 3D-друку відбувається дуже швидко. Застосування та поширення 3D-технологій характеризується великими можливостями для розвитку та включення у світовий торговельний простір, що визначає конкурентні переваги, встановлює стратегічні пріоритети та впроваджує інтелектуальну політику для максимізації потенціалу розвитку на основі знань.

Переваги перед традиційними методами виробництва колосальні: математичне моделювання заданих характеристик, моментальне прототипування, створення форм, раніше недоступних для машинного виконання, точність отриманих на виходів параметрів виробу, зниження собівартості, можливості індивідуалізації виробництва. Але водночас існують і негативні чинники, що стримують їх розвиток.

Отже, впровадження і поширення 3D-технологій має сильний вплив на прискорення промислового розвитку як у виробничих, так і у сферах послуг, що особливо важливо для зростання підприємницького потенціалу сектору малого та середнього бізнесу. Основними чинниками успішної

адаптації українських користувачів до даної технології є посилення спроможності збирати і використовувати дані, створення цифрових інтерфейсів клієнтів та усунення кіберзагроз. Також необхідно відзначити важливу роль держави щодо сприяння адаптації українських виробників до новітніх технологічних викликів, а саме розробленню та впровадженню програм технологічної модернізації економіки та промисловості, переходу на засади циркулярної економіки (економіки замкнутого циклу); створенню умов для підготовки кадрів відповідної кваліфікації; розвитку інноваційної інфраструктури (зокрема, індустриальних парків). Створення комплексної системи підтримки українського виробника є важливим елементом подальших наукових досліджень у цій сфері.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Davos 2020: Here's what you need to know about the global economy. Christopher Alessi. URL : <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/davos-2020-towards-a-fairer-global-economy-what-you-need-to-know/> (дата звернення: 22.01.2020).
2. Global 3D Printer Market 2018-2022. URL : https://www.technavio.com/talk-to-us?report=IRTNTR20178&type=sample&src=report_banner&utm_source=t6&utm_medium=bw&utm_campaign=businesswire (дата звернення: 23.12.2019).
3. Global Alliance of Rapid Prototyping Associations. URL : <https://wohlersassociates.com/GARPA.html> (дата звернення: 16.01.2020).
4. Global Risks Report 2020. The 15th edition of the World Economic Forum's. URL : <https://www.weforum.org/global-risks/reports> (дата звернення: 22.01.2020).
5. Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. White Paper. World Economic Forum. URL : http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf (дата звернення: 23.12.2019).
6. The data visualization can be found on the McKinsey Global Institute public site at tableau. URL : <http://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/WhereMachinesCanReplaceHumans> (дата звернення: 26.12.2019).
7. The state of 3D PRINTING, 2018. URL : https://www.sculpteo.com/State_of_3DP_2018 (дата звернення: 26.12.2019).
8. Wohlers T. Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report 2018, WohlersAssociates, 2014. 276 p. URL : <https://wohlersassociates.com/state-of-the-industry-reports.html> (дата звернення: 26.12.2019).
9. World Economic Forum: The Global Competitiveness Report 2019 / Ukraine The Global Competitiveness Report 2018 edition. P. 296. URL : <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018> (дата звернення: 23.12.2019).
10. Андрощук Г.О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку Наука, технології, інновації. 2017. № 1. С. 68–77.
11. Шваб К. Четвертая промышленная революция. Москва : Эксмо, 2018. 208 с.

REFERENCES:

1. Davos 2020. Here's what you need to know about the global economy. Christopher Alessi. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/davos-2020-towards-a-fairer-global-economy-what-you-need-to-know/>. (accessed: 22 January 2020).
2. Global 3D Printer Market 2018-2022. URL: https://www.technavio.com/talk-to-us?report=IRTNTR20178&type=sample&src=report_banner&utm_source=t6&utm_medium=bw&utm_campaign=businesswire (accessed: 23 December 2019).
3. Global Alliance of Rapid Prototyping Associations. URL: <https://wohlersassociates.com/GARPA.html> (accessed: 16 January 2020).
4. Global Risks Report 2020. The 15th edition of the World Economic Forum's. URL: <https://www.weforum.org/global-risks/reports>. (accessed: 22 January 2020).
5. Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. White Paper. World Economic Forum. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf (accessed: 23 December 2019).
6. The data visualization can be found on the McKinsey Global Institute public site at tableau. URL: <http://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/WhereMachinesCanReplaceHumans> (accessed: 26 December 2019).
7. The state of 3D PRINTING, 2018. Annual report. Sculpteo. URL: https://www.sculpteo.com/State_of_3DP_2018. (accessed: 26 December 2019).
8. Wohlers T. Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report 2018, WohlersAssociates, 2014. 276 p. URL: <https://wohlersassociates.com/state-of-the-industry-reports.html> (accessed: 26 December 2019).
9. World Economic Forum: The Global Competitiveness Report 2019 / Ukraine The Global Competitiveness Report 2018 edition. P. 296. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018> (accessed: 23 December 2019).
10. Androshuk G.O. (2017). Additivni tekhnologiyi: perspektivi i problemi 3D-druku. Nauka, tekhnologiyi, innovaciyi. Vol. 1. S. 68-77.
11. Shvab K. (2018). Chetvertaia Promyshlennaia Revoliutsiya. Moscow: «Eksmo» (in Russian).