

УДК 655.05, 681.6

DOI: 10.20535/2077-7264.4(78).2022.274952

© М. Ю. Володько, магістрантка, Т. Є. Клименко,  
канд. техн. наук, доц., Н. Л. Талімонова, канд. техн. наук,  
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

### АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СУВЕНІРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Здійснено аналітичний огляд сучасного стану, аналіз та класифікацію адитивних технологій друку для створення 3D виробів сувенірної продукції. Проаналізовано програмні продукти для створення 3D моделей. Здійснено аналіз обладнання та витратних матеріалів для виготовленню 3D сувенірів.**

**Ключові слова: адитивне виробництво; сувенірна продукція; технології 3D друку; витратні матеріали для 3D друку.**

#### Постановка проблеми

У наш час адитивні технології стають невід'ємною частиною усіх галузей сучасного виробництва, адже, технології 3D друку дозволяють спроектувати полімерні вироби практично будь-якої складності та конфігурації. Ці технології займають досить невеликий відсоток на масштабних виробництвах, проте їх часто використовують для створення унікальної або індивідуальної продукції [1, 2].

Сувеніри сучасності можуть мати найрізноманітнішу форму справжніх предметів, мініатюрних копій визначних пам'яток, брелоків, логотипів, персонажів, прикрас та іншого, адже реклама служить потужним інструментом у процесі маркетингу.

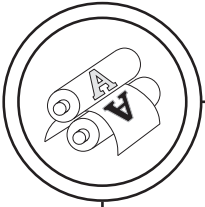
Враховуючи особливості зразків 3D продукції, що надалі можуть застосовуватись у різних галузях, важливо обирати оптимальні ре-

жими друку, щоб покращити їх якість та скоротити час на застосування операцій післядрукарської обробки.

Актуальність досліджень пов'язана з тим, що виробництво сувенірної продукції із застосування адитивних технологій з кожним роком має все більший попит в галузі рекламного ринку [3], зростає і конкуренція на ринку серед підприємств, які виробляють сувенірну продукцію цього типу, що підвищує вимоги до якості товарів даного виду.

#### Мета роботи

Огляд та класифікація адитивних технологій друку для створення 3D виробів сувенірної продукції, аналіз програмного забезпечення, обладнання та витратних матеріалів для виготовлення 3D сувенірів.



## Результати проведеного дослідження

Результати проведеного патентного пошуку за період з 2011 по 2022 рр. дають підстави стверджувати, що тема є актуальною, оскільки кількість запитів за досліджуваною тематикою складає понад 280 тис. патентів [4–7]. Проводили аналіз за класифікаційними індексами B29C (B29C64/112; B29C64/236; B29C64/241; B29C64/245; B29C64/321; B29C64/393; B29C64/171; B29C64/20; B29C67/00; B29C41/32; B29C64/40; B29C67/00); B33Y (B33Y10/00; B33Y30/00; B33Y40/00; B33Y10/00; B33Y30/00; B33Y80/00); G07F (G07F17/26), B41F (B41F17/00) відповідно до Міжнародної класифікації. Динаміку публікацій патентів за ретроспективністю в 11 років наведено на рис. 1. Кількість патентів за вказаними запитами у період з 2011 по 2019 рр. стрімко зростала, а у 2020 р. стабілізувалася, що може свідчити про переважну більшість сформованих та стабільно діючих технологій адаптивного друку. У 2021 р. відбувся спад, який триває й у 2022 р., що насамперед, пов'язано із за-

гальною світовою економічною кризою та вторгненням на територію України.

Проведений патентний пошук показав, що пріоритетними напрямками подальшого розвитку у 3D друці є удосконалення наявних технологій 3D друку в рекламно-сувенірній галузі; покращення технічних характеристик 3D принтерів, серед яких: розміри монтажного столу, потужність екструдера, налаштування системи позиціонування, габаритні розміри 3D пристроїв; розробка нових рецептур сумішей для 3D принтерів, які можуть включати до свого складу різні добавки для підвищення експлуатаційних характеристик сувенірів; використання комбінування різних полімерних матеріалів при виготовленні одного виробу; розробка нового програмного забезпечення та удосконалення того, що існує, що дозволить здійснити реалізацію надскладних сувенірних 3D моделей в коротші терміни.

Адитивне виробництво передбачає повний технологічний процес у створенні тривимірних об'єк-

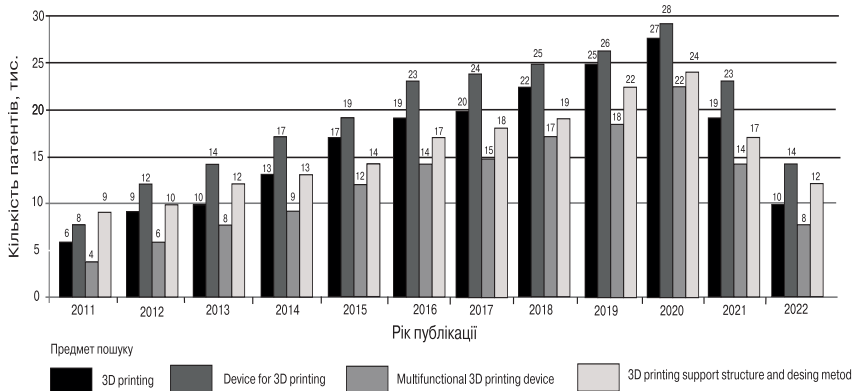
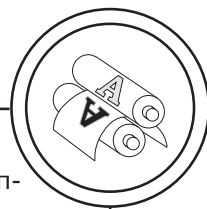


Рис. 1. Динаміка патентування за тематикою з 2011 по 2022 рр.



тів різної групи складності та довільної геометричної форми, що опирається на цифрову 3D модель [8, 9].

На рис. 2 представлено систематизовану узагальнену схему основних методів адитивного виробництва, що застосовують у поліграфічній галузі.

Серед новітніх методів, що найбільш затребувані у галузі рекламно-поліграфічного виробництва можна виділити наступні [9–12]:

- друк шляхом спікання та плавлення матеріалів (Fused Deposition Modeling — FDM);
- фотополімеризація — затвердіння полімеру ультрафіолетовим або лазерним випромінюванням (SLA або STL);
- ламінування — склеювання шарів матеріалу з подальшим вирізанням;
- екструзування — вичавлювання розплавленого матеріалу.

Адитивна технологія передбачає наступні етапи створення кінцевого поліграфічного продукту [13] (рис. 3):

1) Розробка базової концепції 3D сувеніру.

2) Створення CAD-моделі (Computer-aided design — комп'ютерна підтримка проектування), тобто створення електронної (цифрової) документації на спроектований 3D сувенір.

3) Запис STL-файлу (stereo lithography — стереозображення), тобто створення файлу в форматі, що застосовується для зберігання тривимірних моделей.

4) Поділ моделі на шари — розподіл (віртуальний) виробу програмою-слайсером на шари в контурних межах макетованого 3D сувеніру.

5) 3D друк, який передбачає фізичне відтворення виробу на 3D обладнанні, на основі попередньо створеного цифрового макету.

6) Післядрукарська обробка для надання 3D сувеніру необхідних якостей, властивостей чи зовнішнього виду, що передбачає можливу фізичну, теплову, декоративну чи іншу обробку.

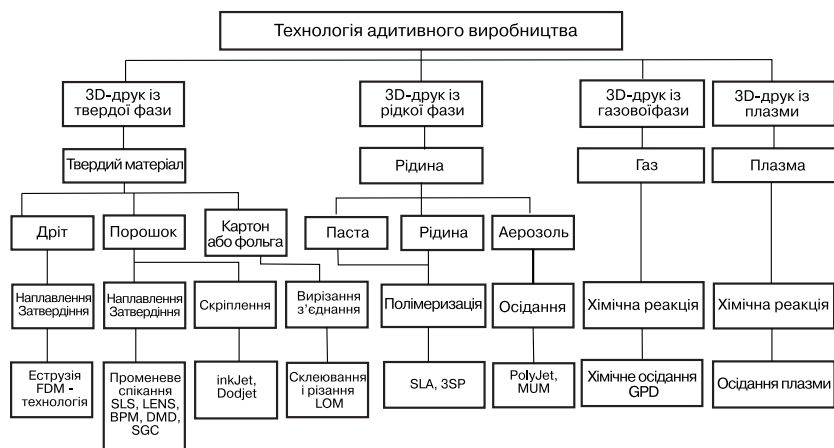


Рис. 2. Узагальнена класифікація основних методів адитивного виробництва

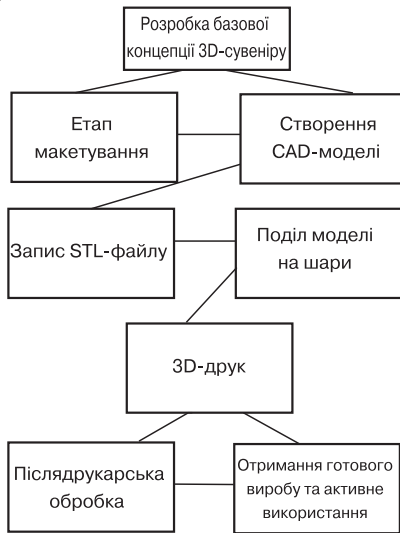
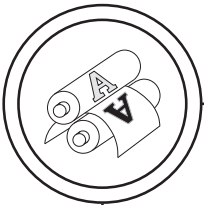


Рис. 3. Життєвий цикл виготовлення 3D сувенірного виробу

7) Отримання готового виробу та його використання.

Вітчизняні та іноземні здобутки у сфері 3D друку за останні роки дають змогу суттєво розширити номенклатуру матеріалів, що використовують у 3D друці. На сьогодні, представлено три основні види обладнання для 3D друку, витратними матеріалами для яких є: пластики, фотополімери та метали [14]. Найефектив-

нішим видом друку для сфери рекламно-сувенірного напряму сьогодні визначено друк пластиком та різними видами фотополімерів. Для друку сувенірної продукції найрозповсюдженішими матеріалами є види пластику, представлені на рис. 4.

Дорожчою для виготовлення рекламно-сувенірних виробів та для впровадження у діяльність поліграфічних підприємств вважається технологія — Stereo-lithography (SLA або STL), в перекладі українською стереолітографія.

В процесі друкарських операцій використовують рідкий фотополімер, який застигає під дією лазерного випромінювання. Витратні матеріали, як саме друкарське обладнання, що дає можливість використовувати SLA технологією, набагато дорожчі порівняно із FDM друком. Використання лазерних систем вимагає набагато вищих навичок оператора друкарського обладнання, підвищує небезпеку використання.

Витратні матеріали для здійснення адитивного друку прийнято класифікувати за трьома категоріями: механічними характеристиками, технологічними про-

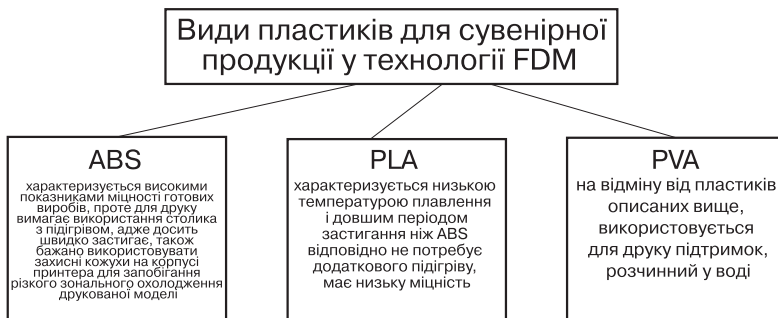


Рис. 4. Витратні матеріали для виготовлення сувенірних виробів із застосуванням FDM технології

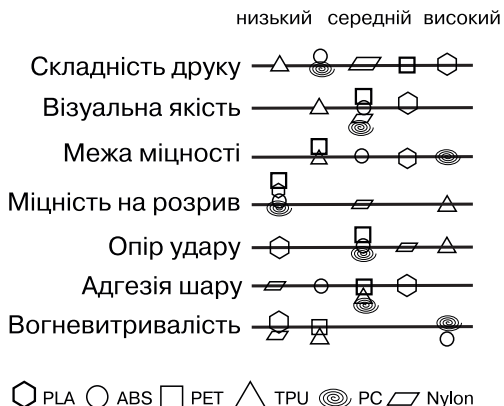
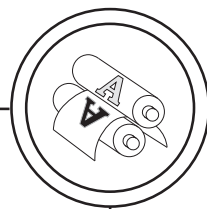


Рис. 5. Розподіл оцінки технологічних параметрів матеріалів для 3D друку за критеріями якості

цесами, візуальною складовою [15–17]. Для оцінки властивостей витратних матеріалів для FDM-друку було залучено п'ять експертів, робота яких пов'язана із виготовленням сувенірної продукції методом 3D друку. Для узагальненого порівняння властивостей витратних матеріалів для FDM-друку створено графік розподілу експертних оцінок матеріалів, де кожен матеріал був оцінений за вищезазначеними критеріями за шкалою від одиниці (низький) до п'яти (високий) (рис. 5).

Вибір правильного виду полімеру має вирішальне значення для отримання затребуваних замовником властивостей 3D сувеніру, особливо, якщо сувеніри матимуть довготривале функціональне застосування.

На рис. 6 представлено класифікацію витратних матеріалів, які використовуються для технології SLA-друку, орієнтовану на подальшу сферу застосування виробів.

3D друк може здійснюватися різними способами та з використанням різних витратних матеріалів, але, у будь-якому випадку, в основі лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкту. Принцип друку ґрунтується на промальовуванні голівкою 3D принтера периметра майбутньої деталі сувенірного виробу та її внутрішньої структури на певній висоті (шарі). У процесі накладання шарів один за одним, створюється певна фактура 3D друку, вона і буде показувати значення шорсткості поверхні

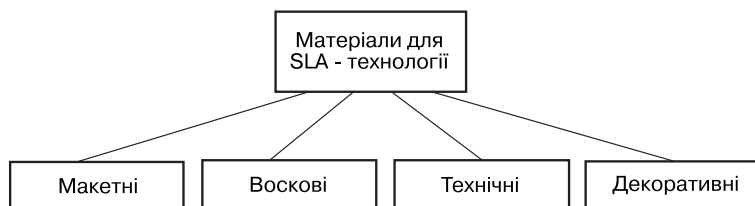


Рис. 6. Класифікація витратних матеріалів SLA-технології



3D виробу. Точність шорсткості при друці визначається ще і додатковими чинниками: точністю позиціонування екструдера відносно платформи, повторюваністю та точністю позиціонування стола відносно осей.

Вимоги до якості 3D друку з описаними стандартами зводяться в декілька технологічних груп (рис. 7).

Основним обладнанням для забезпечення технологій адитивного виробництва є 3D принтери, що класифікують за: технологією, за матеріалами та сферою використання (табл.). Однак, 3D принтери ще можна класифікувати з огляду на функціональні можливості та розміри сувенірних виробів. Зважаючи на тенденції розвитку комп'ютерних графічних технологій, розуміння процесу створення тривимірного контенту в спеціалізованих системах є важливим компонентом повноцінного професійного надання поліграфічних послуг.

Оптимальним рішенням при виборі обладнання для 3D друку є вибір та застосування обраної технології здійснення 3D друку; витратні матеріали (PLA, ABS

пластики, смоли, полімери, порошки, сплави тощо); термін експлуатації сувенірного виробу та його габаритні розміри; терміни виготовлення 3D сувеніру; наявність великої кількості дрібних деталей, що мають бути деталізовані; наклад сувенірної продукції.

Програмне забезпечення, що використовують для 3D друку можна поділити на чотири види [8, 13] (рис. 8).

У випадку застосування технологій адитивного друку, виготовлення функціональних 3D виробів, таких як корпоративні сувеніри, ігрові фішки та персонажі, важливим аспектом є отримання якісного 3D виробу.

Для визначення якості 3D виробів зазвичай обирають декілька параметрів, що необхідні для забезпечення ним поставлених функцій [14]. Характеристики 3D виробу, що визначають його якість наведено на рис. 9.

Одним з ефективних напрямів розвитку адитивних технологій в рекламно-сувенірній промисловості є методи виготовлення поліграфічних виробів на 3D принтерах. При цьому точність та якість виготовлення 3D моделей та 3D

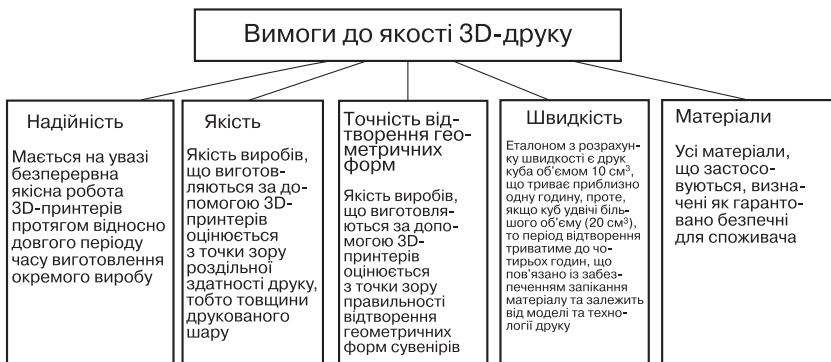
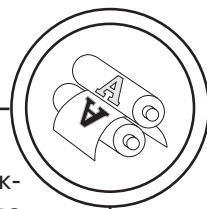


Рис. 7. Класифікація вимог до якості 3D друку



сувенірів залежить від виду рекламно-сувенірної продукції, вибору методу друку і витратних матеріалів.

## Висновки

Аналізуючи сучасні можливості адитивних технологій, можна відмітити, що 3D друк перетворюється на універсальний інструмент створення різноманітних конструкцій, починаючи з сувенирних виробів, таких як іграшки та скульптури, закінчуючи складними виробами будь-якої галузі сучасного виробництва.

Адитивна технологія для рекламно-сувенірного виробництва із використанням 3D друку дозволяє об'єднати новітні наукові розробки в галузях поліграфічного обладнання та технологій, матеріалознавства, моделювання 3D сувенірів та програмного забезпечення. Інтегрування в нову інноваційну систему викликає низку проблемних питань щодо необхідності стандартизації сувенірного 3D виробництва, вдосконалення методів організації та управління поліграфічним виробництвом.

Класифікація 3D обладнання відповідно до методів формування об'єктів [18]

Метод друку	Технологія друку	Витратні матеріали
Екструзійний	Моделювання методом шарового наплавлення (FDM або FFF)	Термопластики (такі як полілактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS) тощо)
Ламінування	Виготовлення об'єктів методом ламінування	Папір, металева фольга, пластикова плівка
Струминний	Струминний тривимірний друк (3DP)	Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші
Дротовий	Виробництво довільних форм електронно-променевим плавленням (EBF)	Майже будь-які металеві сплави
Полімеризація	Стереолітографія (SLA)	Фотополімери
	Цифрова світлодіодна проекція (DLP)	Фотополімери
Порошковий	Пряме лазерне спікання металів (DMLS)	Майже будь-які металеві сплави
	Електронно-променеве плавлення (EBM)	Титанові сплави
	Вибіркове лазерне плавлення (SLM)	Титанові сплави, кобальт хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній
	Вибіркове теплове спікання (SHS)	Порошкові-термопластики
	Вибіркове лазерне спікання (SLS)	Термопластики, металеві порошки, керамічні порошки

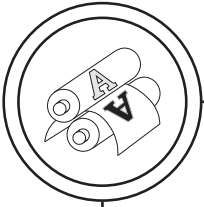


Рис. 8. Класифікація програмного забезпечення для 3D друку

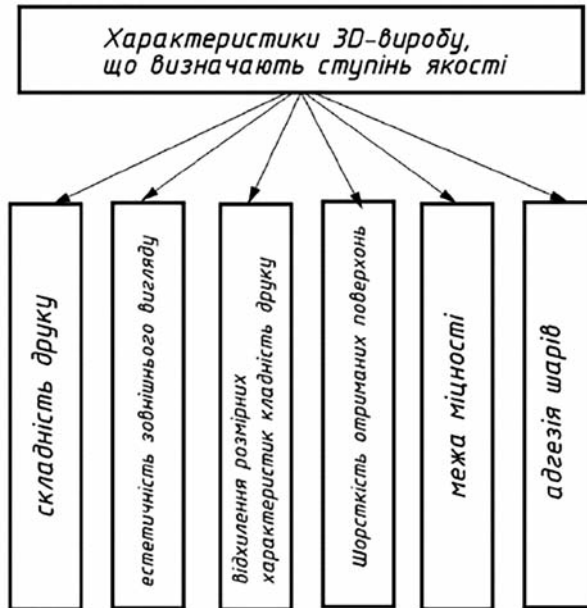
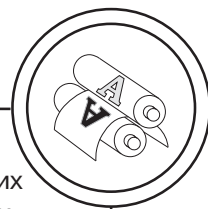


Рис. 9. Схема характеристик 3D виробу, що визначають його якість





вом. Саме це дозволить ефективно застосування новітніх адитивних технологій 3D друку в сувенірній галузі України. Під час досліджен-

ня здійснено аналіз характерних особливостей застосування адитивних технологій у поліграфічній галузі.

## Список використаних джерел

1. R. Ranjan. A critical review on Classification of materials used in 3D printing process / R. Ranjan, D. Kumar, M. Kundu, S. Chandra Moi // *Materials Today: Proceedings*. 2022. V. 61. Part 1. pp. 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.308>.

2. N. Shahrubudin. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications / N. Shahrubudin, T. C. Lee, R. Ramlan // *Procedia Manufacturing*. 2019. V. 35. pp. 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.

3. Chadha U. Performance evaluation of 3D printing technologies: a review, recent advances, current challenges, and future directions / U. Chadha, A. Abrol, N. P. Vora et al. // *Prog Addit Manuf* 7. 2022. pp. 853–886. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00257-4>.

4. European Patent Office (Esp@cenet). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ep.espacenet.com>.

5. Всесвітня організація інтелектуальної власності (WIPO). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wipo.int/portal/index.html.en>.

6. Євразійська патентно-інформаційна система (EAPATIS). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.eapatis.com>.

7. Державне підприємство «Український інститут промислової власності» (УкрПатент). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrpatent.org>.

8. Яригін В. А. Про сучасні методи та засоби моделювання / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // XV науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 10–11 грудня 2019 р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. 2019. С. 211–213.

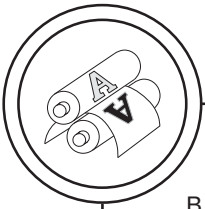
9. Гречко О. М. Сучасні адитивні технології та 3D-друк. Огляд останніх досягнень в різних сферах людського життя / О. М. Гречко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2019. № 1. С. 63–75. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2022.1.12>.

10. Mohamed O. A. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects / O. A Mohamed, S. H. Masood, J. L. Bhowmik // *Adv. Manuf.* 2015. 3. pp 42–53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0097-7>.

11. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D друку (I частина) / Г. О. Андрощук // *Наука, технології, інновації*. 2017. № 1. С. 68–77.

12. Manu S. Mannoor. 3D Printed Bionic Ears / Manu S. Mannoor, Ziwen Jiang, Teena James, Yong Lin Kong, Karen A. Malatesta, Winston O. Soboyejo, Naveen Verma, David H. Gracias, and Michael C. McAlpine // *Nano Lett.* 2013. 13. 6. 2634–2639. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl4007744>.

13. Грабченко А. І. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей: навч. посібник / А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок. Харків: НТУ «ХПІ», 2009. 86 с.



14. Яригін В. А. Аналіз параметрів, що впливають на якість 3D друку / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // *Materials of the 20th International Scientific and Technical Seminar «Modern questions of production and repair in industry and in transport»*. March 23–29, 2020. Tbilisi, Georgia. С. 180–183.

15. Андрощук Г. О. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання / Г. О. Андрощук, Я. В. Копил // *Інтелектуальна власність в Україні*. 2016. № 5. С. 17–26.

16. Яригін В. А. Особливості отримання прототипів за допомогою 3D друку / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // XIII науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13–14 травня 2020 р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. 2020. С. 139–142.

17. Чонка Е. Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D принтері / Е. Я. Чонка, В. С. Антонюк // XV науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10–11 грудня 2019 р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. 2019. С. 197–200.

### References

1. Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., & Chandra Moi, S. (2022). A critical review on Classification of materials used in 3D printing process. *Materials Today: Proceedings*, V. 61, Part 1, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.308>.

2. Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, V. 35, 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.

3. Chadha, U., Abrol, A., Vora, N. P., & et al. (2022). Performance evaluation of 3D printing technologies: a review, recent advances, current challenges, and future directions. *Prog Addit Manuf* 7, 853–886. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00257-4>.

4. *European Patent Office (Esp@cenet)*. Retrieved from <http://ep.espacenet.com>.

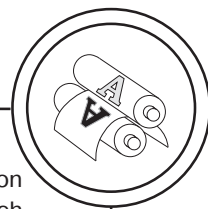
5. *Vsesvitnia orhanizatsiia intelektualnoi vlasnosti (WIPO) [World Intellectual Property Organization (WIPO)]*. Retrieved from <http://www.wipo.int/portal/index.html.en> [in English].

6. *Yevraziiska patentno-informatsiina sistema (EAPATIS) [Eurasian Patent Information System (EAPATHIS)]*. Retrieved from <http://www.eapatiss.com> [in English].

7. *Derzhavne pidpriemstvo 'Ukrainskyi instytut promyslovoi vlasnosti' (UkrPatent) [State enterprise 'Ukrainian Institute of Industrial Property' (UkrPatent)]*. Retrieved from <http://www.ukrpatent.org> [in Ukrainian].

8. Yaryhin, V., & Vysloukh, S. P. (2019, December 1–3). Pro suchasni metody ta zasoby modeliuvannya [About modern modeling methods and tools]. *Efektivnist inzhenernykh rishen u prykladobuduvanni*, 211–213 [in Ukrainian].

9. Hrechko, O. (2019). Suchasni adytyvni tekhnolohii ta 3D-druk. Ohliad ostannikh dosiahnen v riznykh sferakh liudskoho zhyttia [Modern additive technologies and 3D printing. Review of recent achievements in various spheres of human life]. *Visnyk NTU 'KhPI'. Seriya: Problemy udoskonaliuvannya elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka*, 1, 63–75. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2022.1.12> [in Ukrainian].



10. Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Adv. Manuf.*, 3, 42–53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0097-7>.

11. Androshchuk, H. (2017). Adytyvni tekhnolohii: perspektyvy i problemy 3D druku (I chastyna) [Additive technologies: prospects and problems of 3D printing (Part I)]. *Nauka, tekhnolohii, innovatsii*, 1, 68–77 [in Ukrainian].

12. Mannoor, Manu S., Jiang, Z., James, T., Kong, Y. L., Malatesta, K. A., Soboyejo, W. O., Verma, N., Gracias, D. H., & McAlpine, M. C. (2013). 3D Printed Bionic Ears. *Nano Lett.*, 13, 6, 2634–2639. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl4007744>.

13. Hrabchenko, A., & Dobroskok, V. L. (2009). *Suchasni tekhnolohii materializatsii komp'uternykh modelei* [Modern technologies of materialization of computer models]. Kharkiv: NTU 'KhPI', 86 p. [in Ukrainian].

14. Yaryhin, V., & Vysloukh, S. P. (2020, March 23–29). Analiz parametriv, shcho vplyvaiut na yakist 3D druku [Analysis of parameters affecting the quality of 3D printing]. *20th International Scientific and Technical Seminar 'Modern questions of production in the repair industry and in transport'*, 180–183 [in Ukrainian].

15. Androshchuk, H., & Kopyl, Ya. V. (2016). 3D-druk v epokhu innovatsiinykh tekhnolohii: problemy rehulivannia [3D printing in the era of innovative technologies: regulation problems]. *Intelektualna vlasnist v Ukraini*, 5, 17–26 [in Ukrainian].

16. Yaryhin, V., & Vysloukh, S. P. (2020, May 13–14, Kyiv). Osoblyvosti otrymannia prototypiv za dopomohoiu 3D druku [Peculiarities of prototyping using 3D printing]. *XIII Naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh 'Pohliad u maibutnie pryladobuduvannia'*, 139–142 [in Ukrainian].

17. Chonka, E., & Antoniuk, V. S. (2019, December 10–11, Kyiv). Analiz tochnosti formuvannia poverkhon detalei vyhotovlenykh na 3D prynteri [Analysis of the precision of the formation of the surfaces of parts made on a 3D printer]. *XV naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh 'Efektyvnist inzhenernykh rishen u pryladobuduvanni'*, 197–200 [in Ukrainian].

**An analytical review of the current state, analysis and classification of additive printing technologies for creating 3D souvenir products was carried out. Software products for creating 3D models were analyzed. An analysis of equipment and consumables for the production of 3D souvenirs was carried out.**

**Keywords: additive production; souvenir products; 3D printing technologies; consumables for 3D printing.**

Надійшла до редакції 03.11.22