

УДК 681.6

Владислав Романенко, <https://orcid.org/0000-0002-3227-4183>

Інститут загальної енергетики НАН України, Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

e-mail: vlad.romanenko.24@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА В ХОДІ ДРУКУ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Ключові слова: технології адитивного виробництва, програмне забезпечення контролю якості адитивного виробництва, штучний інтелект, енергетичні комплекси.

Мета роботи. Основна мета роботи полягає в аналізі різних методів і засобів, а також сучасних інформаційно-вимірювальних технологій діагностики 3D-друку елементів енергетичних комплексів, методів моніторингу процесів друку, аналіз структури матеріалу.

Результати роботи. 3D-друк у промисловості: технології і матеріали. 3D-принтери здатні працювати з найширшим спектром матеріалів, що використовуються у виробництві [3]. Вибір матеріалу та методу друку залежить від властивостей, які вже вбудовані у проєкт. Використання промислового 3D-друку з пластику дозволяє отримувати міцні та стійкі вироби, які можна піддавати фізичним випробуванням. Зазвичай з пластику друкують прототипи різноманітних пристроїв, корпуси приладів, компоненти конструкцій та деталі. Пластик є одним з найбільш доступних і міцних матеріалів для промислового 3D-друку. Промисловий 3D-друк з використанням воску ідеально підходить для створення обладнання, необхідного для виготовлення виробів у медичній та ювелірній галузях, зокрема у стоматології. 3D-друк у промисловості з використанням металу застосовується в автомобілебудуванні, енергетиці, аерокосмічній галузі та наукових дослідженнях [4]. Металеві прототипи підходять для розробки нових вузлів та агрегатів, складних пристроїв. З їх допомогою розробляють і тестують нові системи двигунів, механізмів, елементів для літаків, автомобілів. Нижче на рисунку 1 показана загальна якісна статистика використання технологій адитивного виробництва серійної продукції [3].

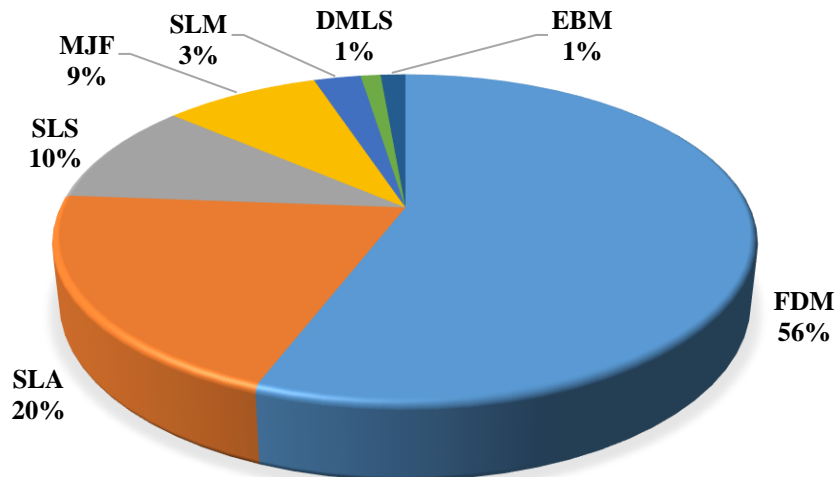


Рисунок 1. Загальна статистика використання існуючих технологій

Аналіз даних придатності до 3D-друку на основі штучного інтелекту. В області діагностичного обслуговування алгоритми машинного навчання використовуються для передбачення потреби в заміні або ремонті деталей до їх відмови (рисунок 2). Адитивна технологія теоретично здатна створити будь-який

тривимірний об'єкт [3]. Проте, порівняно з традиційними виробничими процесами, розвиток та використання 3D-друку все ще обмежено через топологічні характеристики та особливі вимоги до матеріалів.

Роль штучного інтелекту у 3D-друці металевих деталей для авіакосмічної техніки. Інтеграція штучного інтелекту в 3D-друк металами має великий потенціал і таким чином стане підмогою для розвитку аерокосмічних технологій [4]. Поєднання адитивних технологій зі штучним інтелектом дозволяє виробникам авіакосмічної техніки створювати більш точні компоненти з високою свободою проєктування, за нижчою ціною та з меншою кількістю відходів.



Рисунок 2. Приклад застосування штучного інтелекту для пошуку дефектів під час застосування технологій адитивного виробництва у ході серійного виготовлення деталей

Датчики і камери встановлюються у 3D-принтері, часто поруч із соплом, де твердий шар формується з порошку під впливом лазерного променя, для забезпечення контролю та спостереження в процесі виробництва. Потім дані передаються у спеціалізоване програмне забезпечення, яке оцінює та інтерпретує різні конструкції у режимі реального часу. Розпізнаючи проблеми та концентруючи міць штучного інтелекту для їх вирішення, принтери розвиваються під час перебігу процесу [6].

Комп'ютерний зір в контролі процесів в адитивному виробництві. Архітектура згорткової нейронної мережі аналогічна структурі зв'язків нейронів у мозку людини, вчені черпали натхнення в організації зорової кори головного мозку. Приклад структури і загального принципу роботи згорткової нейронної мережі (CNN) наведено на рисунку 3 на прикладі довільного зображення, яке може бути отримане з камери.

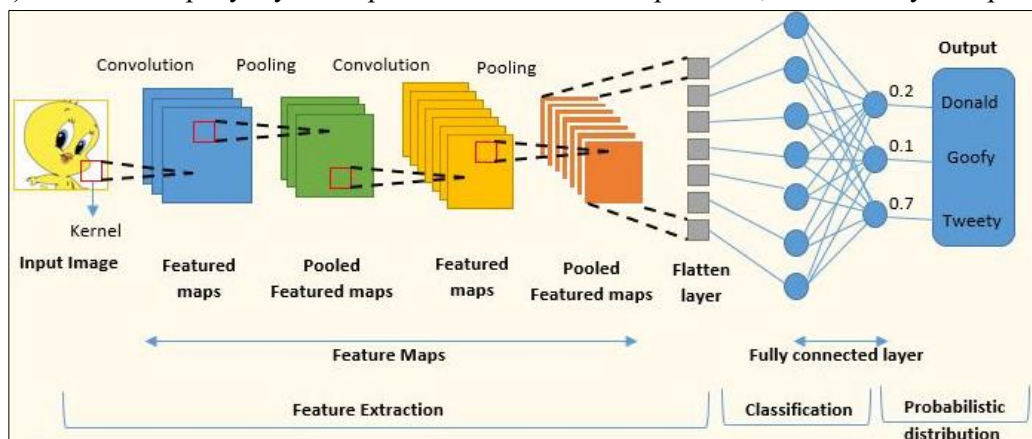


Рисунок 3. Структура та загальний принцип роботи згорткових нейронних мереж

У комп'ютерному зорі для 3D-друку використовуються різноманітні типи нейронних мереж для вирішення різних завдань, включаючи виявлення дефектів, аналіз зображень, управління процесом друкування та інші. Згорткові нейронні мережі є ефективними у виявленні шаблонів і фільтрації зображень. Вони широко використовуються для виявлення дефектів на поверхні друкованих виробів та аналізу якості друку [4].

У таблиці 1 коротко наведені основні технології, які активно застосовуються в процесах серійного адитивного виробництва.

Таблиця 1. Технології і сфери застосування цих технологій в адитивному виробництві

Метод / Технологія	Використання
Комп'ютерне бачення	Використовується для виявлення дефектів, контролю за якістю друку та аналізу зображень
Фотографування та відеоспостереження	Застосовується для моніторингу процесу друкування та фіксації візуальних даних
Засоби аналізу поверхні	Використовуються для вимірювання та аналізу якості поверхні виробів
Комп'ютерне моделювання	Допомагає у віртуальному аналізі та оптимізації процесів виробництва
Термографія	Використовується для виявлення нерівномірностей температури та можливих дефектів
Ультразвуковий контроль	Використовується для виявлення внутрішніх дефектів у друківаних виробах
Візуальне спостереження операторів	Забезпечує візуальний контроль на різних етапах процесу виробництва
Використання датчиків тиску та моменту	Допомагає в моніторингу та регулюванні параметрів процесу друкування

Слід зазначити, що з таблиці 1 особливо актуальними технологіями для серійного адитивного виробництва є саме комп'ютерне бачення і використання датчиків тиску та моменту.

Висновки. У роботі висвітлені основні сучасні технології адитивного виробництва, які використовуються в ході серійного виготовлення продукції. Досліджені сучасні технології контролю якості виробництва у сфері адитивного виробництва, зокрема в контексті друку елементів енергетичних комплексів. Зроблено огляд найновіших методів та інструментів керування, що застосовуються для забезпечення високої якості 3D-друкованих деталей, необхідних для ефективної роботи енергетичних систем.

Посилання

1. Babak V., Dekusha O., Kovtun S. Information-measuring technologies in the metrological support of heat flux measurements. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2608. P. 379—393. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2608/paper29.pdf> (дата звернення: 15.05.2024).
2. Hotra O, Kovtun S, Dekusha O, Grądz Ż, Babak V, Styczeń J. Analysis of Low-Density Heat Flux Data by the Wavelet Method. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. <https://doi.org/10.3390/en16010430>
3. Romanenko V., Nazarenko O. Comparative analysis of modern technologies of additive production. *System Research in Energy*. 2024. No. 2(77). P. 84—96. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.02.084>
4. Cui W., Zhang Y., Zhang X., Li L., Liou F. Metal Additive Manufacturing Parts Inspection Using Convolutional Neural Network. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. Iss. 2. <https://doi.org/10.3390/app10020545>
5. TensorFlow. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення: 13.10.2020).
6. Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media, Amsterdam, The Netherlands, 2010.

TECHNOLOGY OF QUALITY CONTROL OF ADDITIVE PRODUCTION PRODUCTS DURING PRINTING OF ELEMENTS OF ENERGY COMPLEXES

Vladyslav Romanenko, <https://orcid.org/0000-0002-3227-4183>

General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine

e-mail: vlad.romanenko.24@gmail.com

Abstract. *Describes the state-of-the-art methods and controls used to ensure the high quality of 3D printed parts required for efficient operation of energy systems. Various aspects of inspection are covered, including printing process monitoring, flaw detection, material structure analysis, and geometric inspection.*

Keywords: technologies of additive manufacturing, additive manufacturing quality control software, artificial Intelligence, energy complexes.