

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ ВИРОБІВ 3D-ПРИНТЕРІВ

Б.О. Цапля

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: bohdan.tsaplia@nure.ua

Анотація: У статті розглядаються сучасні підходи до автоматизації процесу екстракції 3D-надрукованих моделей — одного з ключових етапів переходу від ручного до безперервного адитивного виробництва. Надано огляд особливостей 3D-друку як технології, що стрімко розвивається завдяки прогресу в обладнанні, матеріалах та програмному забезпеченні. Особлива увага приділяється проблематиці масштабування 3D-друку в промислових умовах, де ручне зняття моделей стає вузьким місцем. Проаналізовано основні автоматизовані методи екстракції, включно з використанням гнучких платформ, механічних штовхачів, стрічкових систем та роботів-маніпуляторів. Показано, як впровадження цих рішень підвищує ефективність, стабільність і продуктивність виробничих ліній. Робота буде корисною для розробників 3D-обладнання, операторів ферм 3D-друку та дослідників у галузі автоматизації.

Ключові слова: 3D-друк, 3D-ферми, автоматизація, екстракція, робототехніка

RESEARCH INTO METHODS FOR THE AUTOMATIC EXTRACTION OF 3D PRINTER PRODUCTS

Bohdan Tsaplia

Department of KITAP, Kharkiv National University of Radioelectronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave.,
E-mail: bohdan.tsaplia@nure.ua

Annotation: The article presents modern approaches to automating the process of extracting 3D printed models, which is one of the key stages in the transition from manual to continuous additive manufacturing. An overview of the features of 3D printing as a rapidly developing technology due to advances in equipment, materials and software is provided. Particular attention is paid to the problem of scaling 3D printing in industrial environments, where manual model removal becomes a bottleneck. The main automated extraction methods are analysed, including the use of flexible platforms, mechanical pushers, belt systems, and robotic manipulators. It is shown how the implementation of these solutions increases the efficiency, stability and productivity of production lines. The paper will be useful for 3D equipment developers, 3D printing farm operators, and automation researchers.

Keywords: 3D printing, 3D farms, automation, extraction, robotics.

3D-друк, або адитивне виробництво, — це технологія створення тривимірних об'єктів шляхом послідовного нанесення матеріалу шар за шаром відповідно до цифрової 3D-моделі. В основі цього процесу лежить комп'ютерне проектування (CAD), яке дозволяє точно керувати формою, розмірами та структурою майбутнього виробу [1].

Хоча перші технології 3D-друку з'явилися ще у 1980-х роках, справжній прорив стався в останні десятиліття завдяки значному вдосконаленню обладнання, широкому вибору матеріалів та розвитку програмного забезпечення. Сьогодні 3D-друк доступний не лише для дослідницьких лабораторій і великих промислових підприємств, а й для невеликих бізнесів, навчальних закладів, стартапів і навіть домашніх майстерень.

Разом із цим зростанням популярності 3D-друку виникає нова потреба — масштабування та автоматизація виробничих процесів. Якщо для одиничного прототипу ручне керування принтером є прийнятним, то при переході до серійного виробництва, де потрібно друкувати десятки або сотні однакових деталей щодня, ручні процеси стають вузьким місцем. Саме тому автоматизація всіх етапів — від підготовки до друку до зняття готових моделей — стає критично важливою.

Одним із ключових напрямів такої автоматизації є екстракція надрукованих моделей — тобто зняття деталей із платформи після завершення друку. Без цього етапу не може розпочатися нове завдання, тому автоматичне вилучення об'єктів є основою для побудови безперервних виробничих ліній, 3D-ферм та індустріальних комплексів. Впровадження таких систем не лише зменшує залежність від людського ресурсу, а й дозволяє досягти стабільності, передбачуваності та високої продуктивності в адитивному виробництві.

У традиційних системах після завершення друку оператор змушений вручну знімати модель з платформи, що не тільки потребує часу, але й може спричинити пошкодження виробу або самої поверхні друку. У промислових масштабах, де йдеться про сотні або навіть тисячі моделей на добу, такий підхід є вкрай неефективним. Саме тому автоматизовані рішення, які дозволяють без участі людини відділяти готову деталь від платформи та готувати принтер до нового циклу, стають ключовими у створенні масштабованих 3D-виробництв.

Автоматизація екстракції часто є складовою частиною комплексних систем, що включають автоматичну подачу філаменту, зміну насадок, контроль температури, а також вивантаження готової продукції в окремі контейнери або транспортні стрічки. Такі системи активно застосовуються в галузях, де важливі швидкість, повторюваність і якість виробів: автомобільна промисловість, виготовлення медичних протезів і ортопедичних пристроїв, серійне виробництво промислових компонентів, електроніки, побутових товарів та інше.

Особливо актуальним напрямом є автоматизація в рамках ферм 3D-друку (рис. 2) — кластерів із десятків або сотень принтерів, що працюють паралельно. У таких системах екстракція виробу може виконуватись за допомогою гнучких платформ, механічних штовхачів, автоматизованих систем зняття та навіть маніпуляторів-роботів. Це дозволяє скоротити час між завданнями до мінімуму та забезпечити практично безперервну роботу друкарських систем.

Загалом, автоматизація процесу екстракції є ключовим етапом у переході від прототипування до повноцінного адитивного виробництва. Вона сприяє зниженню собівартості, підвищенню надійності та стабільності виробництва, а також розширює можливості застосування 3D-друку в індустріальному масштабі.



Рисунок 1 – 3D ферма з автоматизованою екстракцією

II. МЕТОДИ АВТОМАТИЧНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ. 1) Механічні системи виштовхування:

Підхід до автоматизації екстракції 3D-моделей, що поєднує гнучку магнітну платформу з активними механічними елементами, є одним із найефективніших рішень для забезпечення безперервного циклу друку. Цей метод заснований на інтеграції декількох добре відомих технологій в єдину систему, яка може працювати без участі оператора протягом тривалого часу.

Основою конструкції є гнучка металева пластина, зазвичай зі сталевого листа з покриттям з PEI або іншого адгезивного матеріалу, що забезпечує надійне зчеплення з моделлю під час друку. Пластина кріпиться до нагрівального столу за допомогою сильних вбудованих магнітів, що гарантує стабільність під час друку та дозволяє легко зняти її після завершення процесу.

Після охолодження платформи запускається активна фаза екстракції. Тут у гру вступає механізм, який виконує часткове згинання або нахил пластини, наприклад:

- штовхач, який механічно виштовхує модель,
- обертовий валик або лопать, що проходить уздовж поверхні,
- підйомна платформа, яка змінює кут нахилу основи.

У момент деформації пластини або її руху модель відривається від поверхні і скочується або зсувається в спеціальний приймальний лоток, після чого платформа повертається у початкове положення і готова до наступного завдання. Цей процес може синхронізуватися з G-кодом або управлятися зовнішнім контролером.

Головна перевага цього методу — його адаптивність та надійність. Він не лише дозволяє уникнути ручного втручання, а й забезпечує стабільне відокремлення моделей, незалежно від їх геометрії чи площі прилягання до платформи. Це особливо важливо у великих фермах 3D-друку, де щодня виготовляються сотні однакових або схожих моделей, і де навіть кількосекундна затримка може вплинути на загальну продуктивність.

У реальних умовах цей підхід уже реалізований у фермах, зібраних на базі Prusa MK3/S та MK4, де подібна система дозволяє друкувати цілодобово без участі людини (рис. 2). Аналогічні модифікації створюються також для принтерів Creality Ender та інших, що робить цей метод доступним не лише для великих компаній, а й для малого бізнесу та ентузіастів, які прагнуть автоматизувати свою роботу.

Таким чином, це рішення успішно поєднує гнучкість, доступність і надійність, що робить його одним із найперспективніших напрямків розвитку автоматизації екстракції в сучасному 3D-друці.



Рисунок 2 – Автоматизована ферма на базі принтерів Prusa

2) Конвеєрні стрічки:

У принтерах з такою архітектурою друк виконується безпосередньо на рухомій стрічці, яка одночасно виконує функції платформи для друку та механізму автоматичної екстракції моделі. Після завершення формування деталі, стрічка автоматично просувається вперед, і надрукована модель скочується під власною вагою або під невеликим кутом нахилу у спеціальний приймальний лоток або кошик. Одразу після цього стрічка повертається у вихідне положення, і система готова до запуску наступного циклу друку.

Цей підхід має низку переваг. Насамперед — це повна автоматизація процесу друку й екстракції, що дозволяє створювати безперервні виробничі лінії, які можуть працювати цілодобово. Такі принтери ідеально підходять для масового виробництва однотипних компонентів, особливо коли йдеться про великі обсяги замовлень або серійне виготовлення. Вони також зменшують потребу в людському втручанні, підвищують надійність процесу та дозволяють економити робочий час.

Яскравим прикладом такої технології є Creality CR-30 (рис. 3), який став відомим завдяки своїй здатності безупинно друкувати однакові об'єкти протягом тривалого періоду часу без зупинок на зняття моделей. Подібні системи активно використовуються у невеликих виробництвах, 3D-фермах та навіть у логістичних стартапах, де необхідна швидка та стабільна генерація продукції.

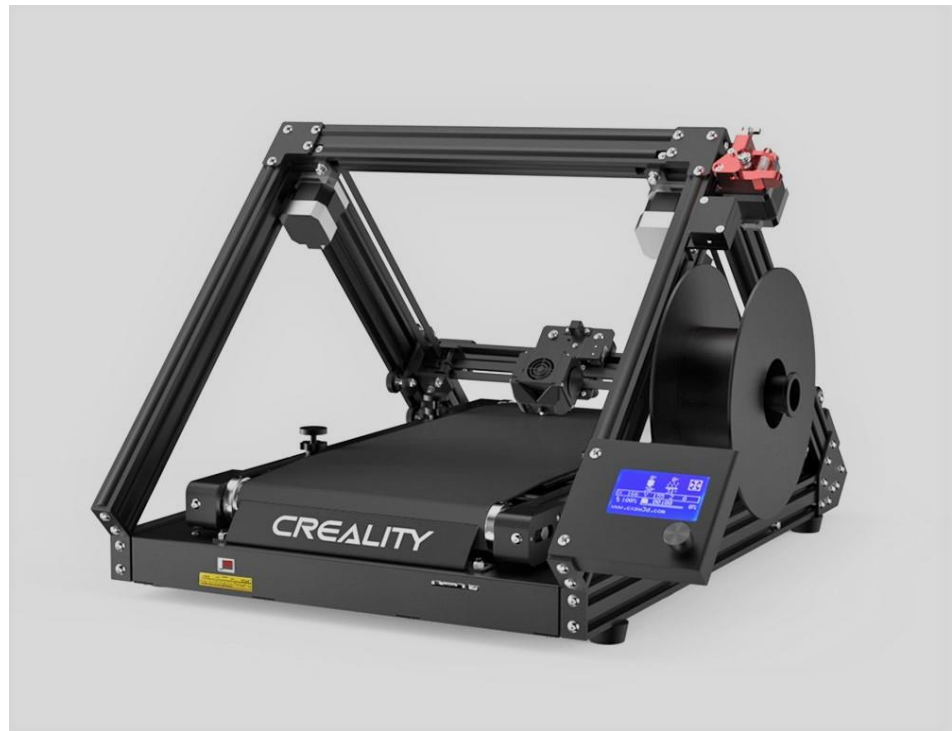


Рисунок 3 – Creality CR-30 («3DPrintMill»)

3) Пасивна екстракція після охолодження:

Деякі типи пластиків (наприклад, PLA) та друкарських поверхонь (скло, PEI) мають властивість втрачати адгезію після охолодження. Цей ефект дозволяє реалізувати пасивну автоматизацію: після завершення друку і вимкнення нагріву модель злегка відшаровується від платформи. Якщо додати легкий нахил або вібрацію, модель просто з'їжджає з поверхні.

Хоча пасивна екстракція на основі втрати адгезії після охолодження здається простою та економічною, на практиці цей метод має низку серйозних обмежень, які знижують його ефективність.

Насамперед, він сильно залежить від комбінації матеріалу та друкарської поверхні. Наприклад, PLA дійсно може втратити зчеплення після охолодження, але інші філаменти, як от PETG, TPU або ABS, навпаки, зберігають високу адгезію навіть після повного остигання, що робить метод малоефективним або зовсім непридатним для них. Так само не всі поверхні — наприклад, текстуроване PEI чи деякі типи скла — гарантують однакову поведінку в різних температурних режимах.

Крім того, геометрія моделі має величезне значення. Якщо деталь має велику площу прилягання до платформи або складну форму з численними виступами, вона може залишатися приклеєною до поверхні навіть після охолодження. У таких випадках навіть легка вібрація або нахил не допоможуть — потрібне фізичне втручання для зняття деталі.

Ще одним мінусом є нестабільність результату. В різних кліматичних умовах або при зміні вологості поведінка матеріалів може змінюватися. Це ускладнює прогнозованість процесу і не дозволяє використовувати метод у високонавантажених середовищах, де потрібна 100% надійність.

Загалом, пасивна екстракція на основі втрати адгезії — це скоріше тимчасове рішення для простих завдань або домашнього використання, ніж метод для серйозної автоматизації у виробництві. Вона може бути корисною для одиночних, малих моделей, але не забезпечує масштабованості та стабільності, необхідної для безперервного або комерційного 3D-друку.

4) Роботизовані маніпулятори:

Цей метод є найбільш технологічно просунутим серед усіх підходів до автоматизації екстракції 3D-моделей і водночас найгнучкішим у плані можливостей. Робот-маніпулятор, зазвичай промислового класу (з 3, 4, 6 або навіть більше ступенями свободи), встановлюється поруч із одним або кількома 3D-принтерами та виконує завдання, які раніше вимагали людської участі. Після завершення друку робот під'їжджає до платформи, обережно знімає модель за допомогою вакуумної присоски, пальцевого захоплення або спеціального інструмента, після чого переносить її у визначене місце — контейнер, лінію постобробки, зону охолодження чи пакування.

Цей тип систем часто включає інтегровані камери та візуальні сенсори, які дають змогу ідентифікувати точне розташування моделі на столі, навіть якщо вона зміщена або частково приклеєна. Інтелектуальні алгоритми обробки зображення допомагають визначити оптимальний кут підходу до об'єкта, силу захоплення, оцінити ризики пошкодження та за потреби скоригувати дії в реальному часі.

Однією з ключових переваг такого підходу є його масштабованість. Один маніпулятор може обслуговувати декілька 3D-принтерів, переміщуючись між ними по лінії або маючи доступ через систему конвеєрів чи поворотних столів.

Однак варто зазначити, що така система є найдорожчою у реалізації. Вона вимагає складного налаштування, точного калібрування та інтеграції з програмним забезпеченням, яке координує роботу принтерів, камер і самого маніпулятора. Незважаючи на це, інвестиції часто окупаються завдяки високій продуктивності, мінімізації браку й відсутності потреби в ручній праці.

Подібні системи вже використовуються в автоматизованих виробничих лініях, включаючи ті, що створені великими сервісами 3D-друку, виробниками автомобільних деталей, медичного обладнання та електроніки. Це один із напрямів, що набуває особливої актуальності в контексті впровадження «фабрик майбутнього» (рис. 4) та індустрії 4.0.



Рисунок 4 – Фабрика майбутнього (Smart Factory)

ВИСНОВКИ. Автоматизація процесу екстракції 3D-надрукованих моделей є ключовим фактором у переході від прототипування до масштабного адитивного виробництва. У контексті зростання попиту на безперервне, високопродуктивне 3D-друкування, автоматичне зняття готових виробів із платформи стає критично необхідним етапом.

У статті розглянуто чотири основні методи автоматизації екстракції: механічні системи виштовхування, принтери з конвеєрною стрічкою, пасивне охолодження та роботизовані маніпулятори. Кожен з них має свої переваги та обмеження, що визначають доцільність їх використання залежно від масштабу виробництва, типу матеріалів і геометрії моделей.

Механічні штовхачі на гнучких платформах та конвеєрні стрічки забезпечують високу ефективність і простоту інтеграції, особливо у 3D-фермах. Пасивна екстракція залишається варіантом для домашніх або малих проєктів, де стабільність не є критичною. Водночас роботизовані маніпулятори відкривають шлях до повної автономії та гнучкості, але вимагають значних інвестицій.

Отже, вибір підходу до автоматизації залежить від конкретних цілей, бюджету та умов експлуатації. Проте зрозуміло одне — без автоматизованої екстракції неможливо досягти справжньої масштабованості та ефективності в сучасному 3D-друці. Упровадження таких рішень є важливим кроком на шляху до розбудови індустрії майбутнього, заснованої на безперервних, самодостатніх виробничих процесах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. What is 3D printing [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://formlabs.com/3d-printers/>
2. RADAVICIUTE, Monika. 3D Printing Farm Set-Up: Printers and Software. 2022.

3. 3D printing. A Practical Guide / Redwood Ben, Garrat Brian, Chauffeur Philemon. – M .: DMK-Press, 2020
4. Vladyslav, Y., & Bronnikov, A. (2020, October). ANALYSIS OF THE CMMI MODEL APPLICATION FOR SOLVING THE TASKS OF CPPS CONTROL PROCESSES AUTOMATION DEVELOPMENT. In The 4 th International scientific and practical conference “Actual trends of modern scientific research”(October 11-13, 2020) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2020. 386 p. (p. 128).
5. Yevsieiev, V. V., & Bronnikov, A. I. (2020). Development of databases interconnection “essences” information model for cyber-physical production systems additive cyber design creation automation. *Збірник Наукових Праць НУК*, №3. С.56-62. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).7](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).7)
6. Yevsieiev V., Bronnikov A. Information systems development methodologies application analysis for cyber-physical production systems development. III International scientific-practical conference “Theory, science and practice” (Japan, Tokyo, 5–8 October 2020). P. 398–401. DOI: 10.46299/ISG.2020.II.III
7. Yevsieiev V., Bronnikov A. Analysis of the cyber-physical production systems implementation impact to achieve the goals of lean production. The IIth International scientific and practical conference «Development of scientific and practical approaches in the era of globalization» (USA, Boston, 28–30 September. 2020). P.221–226. DOI:10.46299/ISG.2020.II.II.
8. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
9. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>
10. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>
11. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). MATHEMATICAL MODEL BASED ON MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING (MARL) AND PARTIALLY OBSERVABLE MARKOV DECISION PROCESS (POMDP) FOR MODELING CARGO MOVEMENT FOR A MOBILE ROBOTS GROUP. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 480-489.
- 12 Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
13. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>
14. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.

Науковий керівник: Нікітін Дмитро Олександрович, старший викладач каф. КІТАР Харківського Національного Університету Радіоелектроніки