

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2023

Головий редактор **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Редакційна колегія: **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету

Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».

Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.

Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».

Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».

Відповідальний редактор: **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 386с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 386p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 6 від 01.05.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

АНАЛІЗ КІНЕМАТИК 3D ПРИНТЕРІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ FDM/FFF

М.Д. Лисун

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: maksym.lysun@nure.ua

Анотація: у даній роботі розглядаються принципи роботи різних кінематик 3D принтерів за технологією FDM/FFF принтерів, їх переваги та недоліки.

Ключові слова: 3D принтери, FDM/FFF технологія, адитивне виробництво кінематика, осі, деталь, екструдер.

ANALYSIS OF 3D PRINTER KINEMATICS USING FDM/FFF TECHNOLOGY

M.D. Lysun

Kharkiv national university of radio electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, pr. Nauki, 14

E-mail: maksym.lysun@nure.ua

Abstract: in this paper discusses the principles of operation of various 3D printer kinematics based on FDM/FFF printer technology, their advantages and disadvantages.

Keywords: 3D printers, FDM/FFF technology, additive manufacturing kinematics, axes, part, extruder.

Розвиток технології Fused Deposition Modeling (FDM) 3D друку став ключовим етапом у виробництві прототипів, моделюванні та виробництві зручних предметів на основі комп'ютерних 3D моделей. Одним із важливих аспектів цього розвитку є постійне вдосконалення кінематики 3D принтерів, яка визначає їхню продуктивність, точність та можливості [1].

FDM – це технологія адитивного виробництва, яка використовується для створення тривимірних об'єктів, шар за шаром, з використанням пластикового матеріалу. Ця технологія дозволяє створювати об'єкти з 3D моделі, які можуть бути відтворені у фізичній формі, (рис.1).

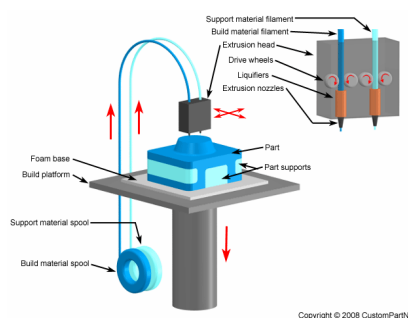


Рис. 1 – Схема роботи 3D принтерів за технологією FDM

Нижче наведені основні принципи та етапи FDM 3D друку [2]:

1. 3D Модель. Початковим кроком є створення або завантаження 3D моделі об'єкта, який ви хочете надрукувати. Ця модель генерується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для 3D моделювання.

2. Роздрукування. Після створення 3D моделі, програмне забезпечення, що керує 3D принтером, роздруковує об'єкт шар за шаром. Принтер використовує пластиковий філат для нанесення різних шарів на будівельну платформу.

3. Нагрівання та відділення шарів. Філат нагрівається внутрішнім друкарським головкам, і рідкий пластик наноситься на платформу відповідно до 3D моделі. Після нанесення кожного шару пластик охолоджується і твердне, з'єднуючись з попереднім шаром.

4. Підтримка структури. Деякі складні об'єкти можуть вимагати додаткових структур для підтримки висячих або горизонтальних елементів. Ці структури зазвичай роздруковуються з тимчасового матеріалу, який потім видаляється після завершення друку.

5. Фінішна обробка. Після завершення друку може знадобитися додаткова обробка об'єкта, така як обрізка зайвого матеріалу або обробка поверхні для покращення вигляду та якості друку.

Незважаючи на те, що всі принтери FDM працюють за одним принципом - пошарове наплавлення, конструктивні відмінності між окремими їхніми видами досить істотні. Це пристрої для створення тривимірних об'єктів, як зрозуміло з назви, шляхом пошарового нанесення на робочу поверхню розплавленого термопластика.

Базових частин у будь-якого FDM-принтера всього дві: стіл (він же платформа), на якому кріпиться деталь, що друкується, і екструдер – вузол, з якого подається розм'якшений матеріал. Загалом, як відомо, у тривимірному об'єкта три осі - X, Y і Z, де Z – традиційно вертикальна. Те, як два елементи принтера ділять ці три напрямки, і є принципом роботи кожного з видів.

Кожен 3D-принтер має власну кінематичну схему, згідно з якою приводяться в рух механічні частини пристрою: платформи та екструдери. Розглянемо найбільш поширені кінематики які зазвичай використовуються на ринку, та визначемо у чому між ними різниця, а також їхні сильні та слабкі сторони [3-4]:

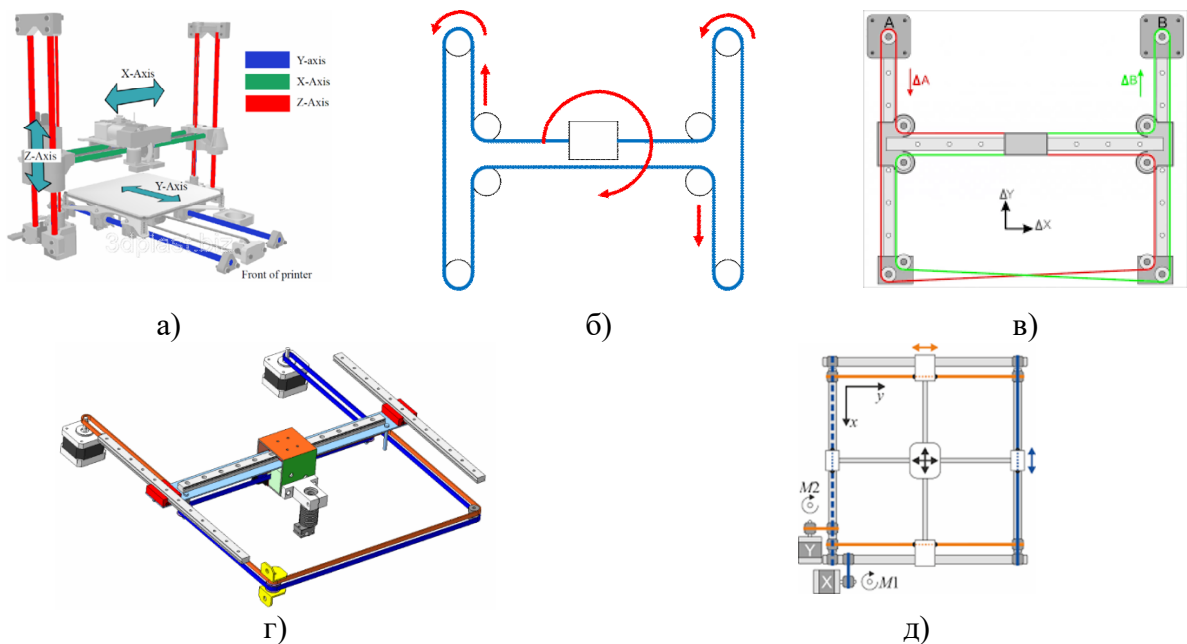
– «Prusa» – найпростіша, компактна недорога схема. Названа на честь свого винахідника, мабуть, різновид принтерів, який найбільше продається в побутовому секторі. Стіл рухомий в одній горизонтальній осі, як правило, Y, а екструдер рухається по інших двох. За кожен напрямок відповідає свій двигун, на деяких моделях за вісь Z абсолютно одночасно працюють два, (рис. 2а).

– «H-bot» – це тип конфігурації кінематики для 3D-принтерів, який використовує два незалежних рухомих елементи (мотори), розташованих по обидва боки робочої області. Конструкція передбачає всього один довгий ремінь і не вимагає наявності рухомих моторів. За кінематики «H-bot» краще використовувати армований ремінь – жодних проблем із натягувачами. Стіл рухається виключно вгору-вниз, по осі Z, (рис. 2б). Каретка з екструдером переміщається над столом по осях X і Y за допомогою одного ремня і двох двигунів, що працюють узгоджено.

– «CoreXY» багато в чому повторює «H-bot», але відрізняється наявністю двох зубчастих ременів. Найчастіше професійні 3D принтери компонується за цими кінематичними схемами, (рис. 2в). З різної схеми встановлення ременів випливають основні відмінності між «H-bot» та «CoreXY». У «H-bot» зусилля, що переміщують балку осі X по осі Y можуть перекосити її, після чого конструкція потребуватиме відновлення. У зв'язку з цим, кріплення балки осі X і сам її профіль повинні бути якісними, і добре продуманими, що в кінцевому підсумку позначається на витратах при виробництві принтера. У «CoreXY» ця проблема відсутня. Ще одне вразливе місце цих кінематик - зубчасті ремені. Через свою велику довжину, класичні ремені GT2-6 можуть помітно розтягнутися за невеликий проміжок робочого часу, що, безсумнівно, позначиться на якості друку і працездатності принтера. Цей момент більше стосується кінематики «H-bot», бо там використовується один дуже довгий зубчастий ремінь, протягнутий через усю конструкцію. Однак під час масштабування габаритів усього механізму для збільшення обсягу робочої камери, в якийсь момент ця проблема може з'явитися і на «CoreXY». Там теж використовуються досить довгі зубчасті ремені, хоч і значно коротші, як порівняти з «H-bot». У підсумку, під час масштабування таких кінематик варто приділити особливу увагу підбору відповідного зубчастого ремня, для того, щоб під час роботи він не провисав і зміг прослужити досить довгий час.

– «Makerbot». На перший погляд ця кінематика схожа на «CoreXY» та «H-bot», друкуюча голова переміщається по осях X та Y, а стіл 3D принтера переміщається по вертикальній осі Z. Її відмінність у тому, що для осей X та Y використовуються різні ремені і крокові двигуни. Один кроковий двигун переміщається по осі Y разом з кареткою екструдера, він відповідає за переміщення друкуючої голови по осі X, контролюючи їх через окремий зубчастий ремінь. А за переміщення по осі Y відповідає інший кроковий двигун і своя система ременів, (рис. 2г).

– «Ultimaker» зазвичай асоціюється з 3D-принтерами, а не з кінематикою в класичному механічному сенсі. Якщо ви маєте на увазі кінематику 3D-принтерів «Ultimaker», то важливо зазначити, що конкретні моделі можуть мати певні відмінності в дизайні та кінематиці. Однак спільним для більшості 3D-принтерів «Ultimaker» є використання кінематики "каретки по прямій лінії" (cartesian motion system). Її основна відмінність - напрямні вали, розташовані перпендикулярно один до одного і проходять крізь каретку хотенда або екструдера. Ці вали мають бути по можливості максимально рівними. Від цього безпосередньо залежить як працездатність принтера, так і якість його друку. Також, особливу увагу в цій кінематиці потрібно приділити і підшипникам ковзання. Зазвичай як підшипники використовують втулки. Управління переміщеннями по осях X і Y розділене. Двигуни встановлені на корпус принтера і не ускладнюють переміщення своєю вагою. Для кожної осі окремо використовується свій кроковий двигун і окремі зубчасті ремені, часто замкнуті. Безпосередньо до друкуючої голови ремені тут приєднувати не доведеться, (рис. 2д).



а – схема кінематики «Prusa»; б – схема кінематики «H-bot»; в – схема кінематики «CoreXY»; г – схема кінематики «Makerbot»; д – схема кінематики «Ultimaker».

Рис. 2 – Кінематики 3D принтерів за технологією FDM

ВИСНОВКИ. Обирання кінематики для 3D принтера є ключовим аспектом при розробці та виборі пристрою для конкретних завдань. Кінематика визначає можливості принтера, його точність, швидкість та загальну продуктивність. Ось кілька важливих питань, які стоїть враховувати при обиранні кінематики 3D принтера:

– точність і роздільна здатність: Деякі кінематичні системи можуть забезпечити вищу точність та роздільну здатність друку. Це важливо для отримання деталізованих та високоякісних друків;

– швидкість руху: Різні кінематичні конфігурації можуть мати вплив на максимальну швидкість руху принтера. Залежно від ваших потреб, можливо, важливо вибрати кінематику, яка забезпечить оптимальний баланс між точністю та швидкістю;

- стійкість та надійність: Деякі кінематичні системи можуть бути більш стійкими та надійними в роботі, особливо при великих обсягах друку або тривалих проектах;
- масштабованість: Деякі принтери можуть бути більш легко масштабованими для вирішення різних завдань, таких як друк великих об'ємів чи використання різних матеріалів;
- можливості модифікацій: Важливо також враховувати можливості модифікацій обраної кінематики. Деякі системи можуть легше піддаватися модифікаціям для власних потреб чи вдосконалень;
- вартість та складність виготовлення: Вартість та складність виготовлення принтера також можуть бути впливовими факторами. Обрана кінематика повинна відповідати вашому бюджету та рівню експертності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nevlyudov, I , Nikitin, D , Bliznyuk, D , Gurin, D , Razumov-Frizyuk, E , Sagittarius, E. "Production of printed circuit boards using 3D printing technologies", Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov № 4 (482) 2020
2. Manapat J, Chen Q, Ye P, Advincula R (2017) 3D printing of polymer nanocomposites via stereolithography. *Macromol Mater Eng* 302:1600553
3. 3D printing. A Practical Guide / Redwood Ben, Garrat Brian, Chauffeur Philemon. - М .: DMK-Press, 2020 .-- 220 p.
4. Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges / T. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. Nguyen, D Hui. *Comp. Part B*, 143 (2018), pp. 172-196, 10.1016/j.compositesb.2018.02.012
5. Nevliudov, I., Razumov-Fryziuk, I., Yevsieiev, V., Nikitin, D., Blyzniuk, D., & Strelets, R. (2022). Cost estimation of photopolymer resin for 3D exposure of circuit boards. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(64), 43–49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256538>
6. Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
7. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.