

ДОДАТОК А
Висвітлення результатів кваліфікаційної роботи

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-technologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



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

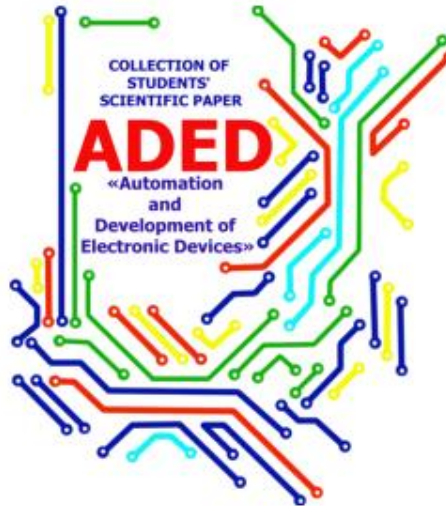


<http://kafca.kdu.edu.ua>

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 робототехніки, 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 робототехніки, 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 підприємства «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 робототехніки, 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 робототехніки, 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. – 408с.

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 Elektronik [electronic edition], 2023. – 408p 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 № 4 від 30.11.2023

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

| | |
|--|-----|
| <i>В.А. Савін</i> | |
| Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів | 319 |
| <i>М. Збітнєв</i> | |
| Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування | 329 |
| <i>В.А. Сторожук В.А., М.А. Вісковатов</i> | |
| Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ІоТ | 334 |
| <i>М.В. Толстий</i> | |
| Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві . | 340 |
| <i>В.В. Цешевський</i> | |
| Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами | 354 |
| <i>О.О. Зибенко</i> | |
| Інновації та досягнення в електророзрізній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва | 356 |
| <i>К.О. Левченко</i> | |
| Моделювання автоматизованого комплексу безтарного сховища сировини | 361 |
| <i>О.Д. Нікулін</i> | |
| Конвеєрні технології та автоматизація у аддитивному виробництві | 364 |
| <i>Д.В. Пархоменко</i> | |
| Аналіз систем інжекції з'єднувальної речовини у технології 3D друку 3DP | 370 |
| <i>К.С. Скрипник</i> | |
| Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері | 374 |
| <i>С.Ю. Мірошніченко</i> | |
| Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів | 381 |
| <i>В.С. Тараненко</i> | |
| технологія екструзійного 3D друк без підтримок | 386 |
| <i>Є.О. Зуєв, М.Ю. Лучанінов</i> | |
| Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ | 390 |
| <i>О.С. Пащенко, К.О. Зозуля</i> | |
| Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій | 394 |
| <i>Є.Г. Федосєєв</i> | |
| Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання | 401 |
| <i>К.С. Редькін</i> | |
| Локальна навігація мобільного робота в приміщенні | 404 |

КОНВЕЄРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ У АДДАТИВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

О.Д. Нікулін

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: oleksii.nikulin1@nure.ua

Анотація: у статті розглядаються сучасні засоби автоматизації у аддитивному виробництві, включаючи удосконалення 3D-принтерів за допомогою впровадження конвеєрної конструкції з нахиленим ложем екструдера, комп'ютерного зору та модернізації систем живлення філаменту. Також розглядаються переваги нетрадиційної установки 3D-принтера і можливість інтеграції його в єдину мережу - 3D-фабрику.

Ключові слова: автоматизація, 3D-принтер, чпу, конвеєр, екструдер.

CONVEYOR TECHNOLOGIES AND AUTOMATION IN ADDITIVE MANUFACTURING

O. Nikulin

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: oleksii.nikulin1@nure.ua

Annotation: In the article, modern means of automation in additive manufacturing are discussed, including improvements to 3D printers through the implementation of a conveyor design with an inclined extruder bed, computer vision, and the modernization of filament feeding systems. The advantages of a non-standard setup for a 3D printer are also considered, along with the possibility of integrating it into a unified network - a 3D factory.

Keywords: automation, 3D printer, CNC, conveyor, extruder.

У останні десятиріччя у світі, швидкість із якою розвиваються технології значною зросла, четверта промислова революція привнесла нові види виробництва на допомогу класичним, що вже не встигають за прогресом. Класичні промислові лінії, що складається з вузькоспеціалізованого обладнання ефективно виконують великі парії продукції, але вузька спеціалізація обладнання не дозволяє швидко виконувати зміни у технологічному процесі та виробках. 3D-друк та універсальні роботи допомагають зробити виробництво більш гнучким.

3D-друк дозволяє швидко виконувати як прототипи виробів у невеликих обсягах, так і виробництво складних деталей які важко отримати класичними методами. Це значно спрощує тестування та доробку виробу перед серійним виробництвом.

Для більш зручного масштабування виробництва існує концепція 3D-фабрики з 3D-принтерів (3D-print farm), яка полягає у тому щоб мати можливість централізовано керувати усіма принтерами. Це дозволяє друкувати один або декілька виробів на багатьох принтерах одночасно, що значно спрощує процес виробництва, та експлуатації верстатів. Принтери підключаються до єдиної системи за допомогою кабелів або бездротового зв'язку.

Серед FDM 3D-принтерів особливо виділяється конвеєрна конструкція принтеру. Конструкцією такий принтер відрізняється використанням конвеєрної стрічки у якості столу, а друк відбувається під кутом. Кут друку найчастіше приймають за 45 градусів, але бувають й принтери які дозволяють змінити кут для досягнення оптимальних показників конкретної

моделі. Такі принтери дозволяють спростити процес серійного виробництва та зменшити рівень присутності людини. Що позитивно впливає на продуктивність роботи та запобігає від помилок викликаних людським фактором.

Так як конвеєрні принтери повинні працювати у тривалому режимі, для підвищення якості виробів, а також підвищення ефективності безперервного виробництва, доцільно використовувати додаткове обладнання. Щоб позбавитись можливості зіпсувати деталь через закінчення або обриву філаменту необхідно використовувати датчик розриву. Для контролю температури у принтера повинно бути гарне охолодження та можливість призупиняти друк за допомогою режиму UART вбудованому у драйвери крокових двигунів. Задля контролю якості кінцевої деталі та самого процесу друку, доречно використати систему комп'ютерного зору.



Рисунок 1 – Конвеєрний принтер

Для забезпечення безперервного друку та мінімізації людського фактору доцільно використовувати конвеєрну конструкцію столу, вони можуть бути двох типів стрічкового та роздільної.

Роздільна конструкція конвеєрної стрічки дозволяє послідовно друкувати окремі деталі за класичною схемою, коли стіл та площина руху екструдера знаходяться паралельно, а шари наносяться горизонтально.

У стрічковій конструкції використовують гнучку стрічку натягнуту між привідним та натяжними валами, рух якої виконується як робочий у процесі друку. Це дозволяє друкувати деталі не обмежені за довжиною стола. Екструдер у такій схемі розташований під кутом у 45 градусів до площини стрічки, що дозволяє позбавитись від руху конвеєру у двох напрямках, та дає змогу друкувати з меншою кількістю підтримок.

Ідея полягає в тому, що замість того, щоб будувати об'єкт вертикально, як це зазвичай робиться майже на кожному 3D-принтері, його будують під кутом. Рухома платформа працює шляхом використання конвеєрної стрічки, яка повільно обертається під час друку.

Цей дизайн робить можливим тривалий 3D-друк. Коли стрічка рухається, вона поміщає готові об'єкти в спеціальний кошик в кінці конвеєра. Машина може виробляти однакові або різні об'єкти. По суті, він перетворює 3D-принтер в невеликий конвеєрний пристрій безперервного виробництва.

Друга особлива можливість полягає в тому, що великі об'єкти можна друкувати в 3D. У той час як більшість 3D-принтерів обмежені фіксованим обсягом друку, 3D-принтер з ремінним приводом теоретично може друкувати дуже й дуже довгий об'єкт, якщо є підтримка частини готового виробу.

Також принтера такої конструкції є можливість розташовувати вертикально, як зображено на рисунку 2, що дозволяє заощадити простір у приміщенні а також позбавитись від підтримок деталей довших ніж стіл. Але такий спосіб вимагає підвищеної адгезії деталі з столом, для чого можливо використання спеціальних рідин.

У якості конвеєрної стрічки найчастіше використовують нейлоновий ремень, виготовлений із термостійкого нейлону і може витримувати температуру до 240 градусів. Поверхня гладка, тонка, плоска, стійка до вигину та довгий термін служби. Сильна адгезія поверхні може уникнути зміщення моделі. Гарна термостійкість та стабільність, які можуть підтримувати високоточний друк.



Рисунок 2 – Вертикальне розташування фабрики принтерів

Екструдер є важливою частиною 3D-принтера, яка здійснює друк розплавленим пластиковим прутком. Екструдер складається з двох основних частин: корпусу з механізмом подачі, і хотенду (hotend). У принтерів з дірект конструкцією механізм подачі розташовано разом з екструдером, а у боуден конструкції на віддалені.

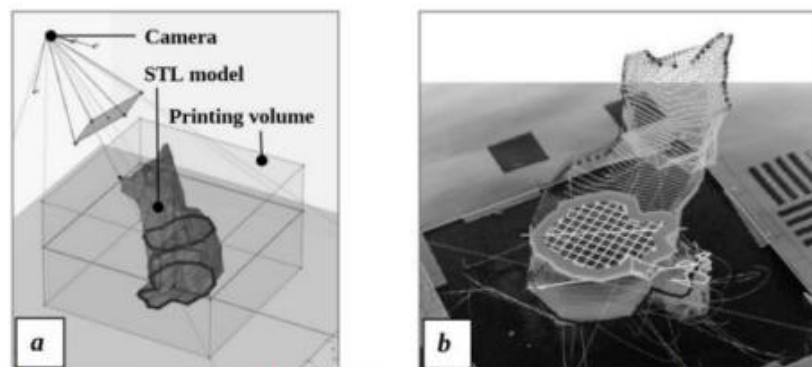
У більшості 3D-принтерів використовується система прямої подачі, де кроковий двигун екструдера знаходиться в одному корпусі з голівкою, що друкує, він проштовхує пластикову нитку безпосередньо в «гарячий кінець» – hotend. Екструдери із прямою подачею називаються direct. Для таких екструдерів характерне застосування пластикової нитки діаметром 1,75 мм.

Для досягнення більшого показника автоматизації на виробництві, прогресивно використовувати сучасну розробку – екструдери для друку гранульованим пластиком, такі екструдери хоч і є більш складними у будові але вони дозволяють досягти значних поліпшень протягом усього процесу виробництва. По-перше гранули це основна сировина у виробництві дрота філаменту, виробництво якого є відповідальним процесом потребує високої точності для досягнення рівномірної товщини дроту на всій довжині дроту. Тому використання більш простої сировини дозволяє зменшити вартість матеріалу та запобігає проблем викликаних похибкою у виробництві дротів. По-друге використання гранул дозволяє спростити процес заміни філаменту як за рахунок гнучкого масштабування ємності резервуару так і через можливість додавати філамент не припиняючи друк, що сприяє більшій автоматизації та підвищенню ККД виробництва в цілому. Але слід враховувати що перевага у дешевизні матеріалу зменшується з більшим масштабуванням виробництва, коли вигідніше виробляти дрот безпосередньо на виробництві, ніж забезпечити велику кількість принтерів більш складними та дорогими екструдерами.

Комп'ютерне зорове спостереження (Computer Vision) ще одна технологія яка відіграє важливу роль в автоматизації виробництва 3D-друкованих виробів, зокрема в процесі контролю якості друку. Одним з важливих етапів контролю якості є відбракування (reject) деталей, які мають дефекти. Комп'ютерне зорове спостереження дозволяє автоматизувати цей

процес шляхом використання спеціальних алгоритмів обробки зображень, які забезпечують високу точність та швидкість виявлення дефектів. Це дозволить ще більше зменшити втручання людини у процес та підвищити якість виробу. Головними задачами системи комп'ютерного зору буде виявлення браку та збою друку. Виявлення збою в процесі друку дозволить припинити друк, чим заощадить матеріал та час який було би використано на друк зіпсованої деталі. Після зупинення друку система керування повинна буде або сама скоректувати налаштування друку та роздрукувати пробний зразок, або надати сигнал до обслуговуючого персоналу.

Для відбракування 3D-друкованих виробів зазвичай використовують спеціальні системи комп'ютерного зору, які складаються з камер, світлових джерел та програмного забезпечення. Камери фіксують зображення виробів, які потім обробляються за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору, що дозволяє виявляти дефекти, такі як бульбашки повітря, відсутність деяких деталей, вигини тощо.



а) положення камери відносно STL-моделі; б) траєкторії G-Code, відображені на вихідному зображенні.

Рисунок 3 – Проективне перетворення G-Code та STL-моделі, застосоване до вихідного зображення.

Крім того, комп'ютерне зорове спостереження може бути використано для контролю якості матеріалів, які використовуються для друкованих виробів, а також для моніторингу роботи самого принтера. Все це робить комп'ютерне зорове спостереження важливим інструментом у виробництві 3D-друкованих виробів.

Камера це найважливіше обладнання для впровадження системи комп'ютерного зору у принтер. Тому до вибору камери для системи комп'ютерного зору 3D-принтера треба підходити з урахуванням конкретних вимог та завдань, які потрібно вирішити. Однак для більшості завдань, пов'язаних з відстеженням друку та контролем якості, слід вибирати камери з високим розширенням та чутливістю.

Одним з найбільш поширених типів камер для систем комп'ютерного зору є USB-камери. Вони мають високу роздільну здатність та частоту кадрів, а також підтримують широкий діапазон різних форматів відео. Крім того, USB-камери мають невеликі габарити, що робить їх зручними для встановлення на 3D-принтері.

Використання обладнання для виміру температури дозволяє контролювати ще один важливим аспект що впливає на якість друку. Температура має прямий вплив на якість, міцність і зовнішній вигляд надрукованих деталей. Оптимальна температура залежить від типу матеріалу, який використовується для друку.

Основні аспекти впливу температури на якість друку:

- адгезія: правильна температура друку допомагає забезпечити належну адгезію між друкувальною поверхнею і матеріалом. Недостатня температура може призвести до поганої адгезії, а занадто висока температура може спричинити перегрівання і погіршення адгезії;
- розплавлення матеріалу: різні матеріали мають різні температурні діапазони розплавлення. Недостатня температура може не забезпечити повне розплавлення матеріалу, що призводить до проблем з якістю друку. Занадто висока температура може призвести до перегрівання, деградації матеріалу або зміни його фізичних властивостей;
- деталізація і роздільна здатність: підвищення температури може покращити деталізацію та роздільну здатність друкованої моделі. Однак, необхідно враховувати, що занадто висока температура може спричинити розтікання матеріалу і зменшення точності.

ВИСНОВКИ. Підбиваючи підсумки дослідження: був виконаний аналіз галузі аддативного виробництва, проведено збір інформації, була проведена наукова–дослідна робота та отримані дані детально описані та проаналізовані у наведеній статті.

Перш за все, конвеєрні 3D-принтери є ефективним інструментом для виготовлення повторюваних деталей великої кількості. Вони дозволяють прискорити процес виробництва та знизити витрати на працю та матеріали.

Друге, комп'ютерний зір виявився корисним інструментом для контролю якості виробів на конвеєрних 3D-принтерах. Він дозволяє відслідковувати рухи деталей, розпізнавати дефекти та забезпечувати їх якість.

Крім того, для досягнення найкращих результатів використання конвеєрних 3D-принтерів необхідно забезпечити належне освітлення робочої області та підібрати відповідну камеру з хорошим розширенням та швидкістю передачі даних.

Отже, можна стверджувати, що використання у аддативному виробництві конвеєрних 3D-принтерів, комп'ютерний зір, екструдер для друку гранулами, є перспективними технологіями для вирішення задач виробництва та контролю якості виробів.

ЛІТЕРАТУРА

1. 3D-With Us. Conveyor Belt 3D-Printers [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://3dwithus.com/conveyor-belt-3d-printers>.
2. OpenFab. CR30 Belt Printer: Pellet Extruder [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.openfab.fr/2022/04/24/cr30-belt-printer-pellet-extruder/>.
3. Clever Creations. Best Conveyor Belt 3D-Printer [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://clevercreations.org/best-conveyor-belt-3d-printer/>.
4. Офіційний сайт Crality [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: https://www.crealty3dofficial.com/products/cr-30-infinite-z-belt-3d-printer?sscid=61k7_imca3&.
5. Офіційний сайт Ixht [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.ixht.com/live/3d-modelling/creality-3d-printmill-cr-30.html#pid=2>.
6. Офіційний сайт powerbelt3d [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://powerbelt3d.com/product/formula32-custom-size-conveyor-belt/>.
7. Офіційний сайт shareasale [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://www.shareasale.com/notactive.html?2754643>.
8. Офіційний сайт blackbelt [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://blackbelt-3d.com>.
9. 3D-Printing Industry. AON3D-Set to Preview New Thermal Optimization Software at Rapid+TCT [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://3dprintingindustry.com/news/aon3d-set-to-preview-new-thermal-optimization-software-at-rapid-tct-221894/>.

10.Медведев В.О., Павленко С.М., Лабунець М.О. Проектування системи керування друкарською 3D-установкою. Матеріали науково-технічної конференції "Молодіжна наука – 2017". Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С. 249-251.

11.Чумак О.І., Бліндер А.Р., Казнадій М.М. Вплив умов друку на якість моделей, отриманих методом фузійного нанесення шарів. Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Том 29. Випуск 9. С. 84-90.

12.Леонтъев О.В., Брик А.О. Комп'ютерне бачення для систем автоматизованого контролю. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Радіоелектроніка та інформатика. 2016. Випуск 19(1166). С. 45-50.

13.Коваленко С.М., Підпригора А.М., Гречко О.А. Аналіз алгоритмів комп'ютерного зору для задач локалізації в об'єктах автоматизованих системах. Електронне наукове видання "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". 2018. Випуск 3(47). С. 17-24.

14.Сміт, Д. М. Вступ до комп'ютерного зору / Д. М. Сміт. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ: Видавництво "Техніка", 2020. – 256 с.

15.Іванов, В. П. Аналіз методів комп'ютерного зору в дослідженнях 3D-принтерів / В. П. Іванов // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2018. – Вип. 893. – С. 45–52.

***Науковий керівник:** Разумов-Фризюк Євгеній Анатолійович, доцент кафедри КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки.*

ДОДАТОК В
Демонстраційний графічний матеріал

