

inherent in pulsed signals with internal FM and, at the same time, using certain complementary codes, prevent significant spikes in the ambiguity function for non-zero Doppler shifts.

References

1. Cook C.E. Radar signals: an introduction to theory and application / Charles E. Cook, Marvin Bernfeld. – Academic Press, New York, 1967. – 531 p.
2. Levanon N. *Radar Signals* / Nadav Levanon, Eli Mozeson. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2014. – 411 p.
3. Levanon N., Mozeson E. *Removing autocorrelation sidelobes by overlaying orthogonal coding on any train of identical pulses* / N. Levanon, E. Mozeson // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2013. – vol.39. – № 2. – pp.583–603.
4. Чесановський І. І. Синтез когерентних послідовностей імпульсів з лінійно-частотною модуляцією і нелінійними кроками носійної / І. І. Чесановський, А. В. Ткачук // Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. – Хмельницький. – 2018. – № 6 (267). – С.134–142.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ШНЕКОВИХ ЕКСТРУДЕРІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ РОБОТИЗОВАНИМИ СИСТЕМАМИ

Дука О.¹, Поліщук О.¹, Гарбар Є.¹,

Рубанка М.², Мазуркевич А.³

¹Хмельницький національний
університет, Україна

²Київський університет технологій та
дизайну, Україна

³Бидгоська політехніка, Польща

Анотація

У цій статті було виконано огляд та аналіз шнекових екструдерів, що використовуються в роботизованих системах 3D-друку. У дослідженні розглядаються принципи роботи, переваги та проблеми, пов'язані з технологією екструзії на основі гранул. Обговорюються такі ключові аспекти, як економічна ефективність, універсальність матеріалів і промислова масштабованість. У статті оцінюється кілька комерційно доступних екструдерів для переробки гранул, включаючи Pulsar™ (Dyze Design), HDP Extruder XL (WASP), Direct3D Pellet Extruder, MAHOR V4 Pellet Extruder і промислові екструдери CEAD, висвітлюються їхні технічні характеристики, показники продуктивності та сумісність з роботизованими системами.

Аналіз показує, що екструдери для гранул пропонують значні економічні переваги завдяки нижчим витратам на матеріали, вищій швидкості виробництва та можливості переробляти ширший спектр

полімерів, включаючи перероблені та композитні матеріали. Однак такі проблеми, як засмічення матеріалу, контроль температури і складність інтеграції з роботизованими платформами, залишаються критичними бар'єрами на шляху до широкого впровадження.

Ключові слова

3D-друк, шнекові екструдери, роботизовані маніпулятори, полімерні гранули.

**REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING DESIGNS OF PELLET
EXTRUDERS FOR 3D PRINTING BY ROBOTIC SYSTEMS**

Duka O., Polishchuk O., Rubanka M., Mazurkiewicz A.

¹Khmelnitskyi National University, Ukraine

²Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

³Bydgoszcz University of Science and Technology, Poland

Abstract

This article provides an overview and analysis of pellet extruders used in robotic 3D printing systems. The study analyses the principles of operation, advantages and challenges associated with pellet-based extrusion technology. Key aspects such as cost-effectiveness, material versatility and industrial scalability are discussed. The article evaluates several commercially available pellet extruders, including the Pulsar™ (Dyze Design), HDP Extruder XL (WASP), Direct3D Pellet Extruder, MAHOR V4 Pellet Extruder and CEAD industrial extruders, highlighting their technical characteristics, performance and compatibility with robotic systems.

The analysis shows that pellet extruders offer significant economic benefits due to lower material costs, higher production speeds and the ability to process a wider range of polymers, including recycled and composite materials. However, challenges such as material clogging, temperature control and difficulty in integrating with robotic platforms remain critical barriers to widespread adoption.

Key words

3D-print, pellet extruders, robotic manipulators, polymer pellets.

Вступ

У сучасному промисловому виробництві технології 3D-друку стрімко розвиваються, відкриваючи нові можливості для виготовлення виробів складної геометрії з мінімальними витратами матеріалу. Одним із найбільш перспективних напрямів у цій сфері є поєднання роботизованих систем із шнековими екструдерами, що забезпечує підвищену продуктивність, масштабованість і екологічність виробничих процесів. Замість використання традиційних філаментів, шнекові екструдери дозволяють використовувати полімерні гранули безпосередньо, що зменшує витрати на матеріали, підвищує ефективність і дозволяє застосовувати ширший спектр полімерів, включаючи вторинну сировину та композитні суміші.

Інтеграція екструзійних систем із роботизованими маніпуляторами забезпечує гнучкість виробництва, високу точність нанесення матеріалу та можливість автоматизації процесів. Це особливо актуально для великогабаритного друку у сфері будівництва, архітектури, автомобілебудування, легкої промисловості та виготовлення функціональних прототипів. Завдяки мобільності та варіативності рухів роботизовані руки здатні забезпечити нанесення матеріалу під складними траєкторіями, що розширює геометричні можливості виготовлення об'єктів.

Шнекові екструдери дають змогу друкувати більш широким спектром матеріалів, включаючи ті, що мають високу в'язкість або є композитними. Моделювання цих процесів розкриває нові можливості для індивідуалізованих і інноваційних друкованих виробів та дозволяє розробникам та інженерам експериментувати з різними параметрами процесу, що веде до створення нових і більш ефективних технологій 3D-друку. [1]

Однак розвиток цього напрямку стикається з низкою інженерних та технологічних викликів. Насамперед ідеться про необхідність удосконалення конструкції шнекових екструдерів для забезпечення стабільної подачі матеріалу, зменшення інерційних навантажень на кінцевий ефектор, а також вирішення проблем теплоізоляції та рівномірного нагрівання зони плавлення. Також актуальними залишаються питання синхронізації руху маніпулятора з процесом екструзії, оптимізації програмного забезпечення для забезпечення точності й повторюваності друку, а також інтеграції систем контролю якості у режимі реального часу.

Крім технічних проблем, існує потреба у стандартизації підходів до інтеграції екструдерів із промисловими роботами, оскільки на ринку представлена велика кількість різномірних рішень, які потребують індивідуального налаштування та калібрування. Це ускладнює широке впровадження подібних систем у серійне виробництво.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена потребою в комплексному аналізі конструкцій шнекових екструдерів, що використовуються в роботизованих системах 3D-друку, з метою виявлення ефективних інженерних рішень, напрямів модернізації та оптимізації їхнього використання в умовах сучасного промислового середовища.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є конструкції шнекових екструдерів, інтегрованих у роботизовані системи 3D-друку, зокрема ті, що використовуються у поєднанні з 6-осьовими маніпуляторами.

Постановка завдання

Метою роботи є аналіз сучасних конструкцій шнекових екструдерів, що використовуються в поєднанні з роботизованими маніпуляторами для 3D-друку полімерними матеріалами, та оцінка їх ефективності.

Результати їх обговорення

Механізм роботи шнекового екструдера такий самий, як і у філаментного екструдера, який використовує гранули замість філаменту. Присутні деякі додаткові деталі, такі як бункер і шнек. Шнек допомагає переміщати гранули від вхідного отвору до отвору сопла. Перед екструзією через сопло розплавлений пластик піддається високому тиску завдяки шнеку, який має зону транспортування, зону плавлення і зону змішування. Гранули перетворюються з твердої форми в рідку пасту за допомогою нагрівача, який нагріває шнек і стовбур. Двигун, з'єднаний зі шнеком, обертає шнек, який, в свою чергу, створює високий тиск для екструзії, як показано на рисунку 1.

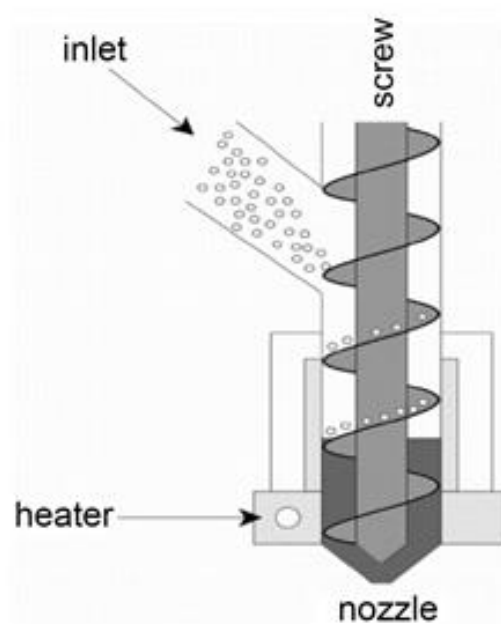


Рис.1. Схема шнекового екструдера

Швидкість обертання шнека відповідає за час контакту матеріалу з джерелом тепла. Проблеми, пов'язані з високою температурою, такі як попередній нагрів гранул на вході, що призводить до блокування всієї системи і призводить до горіння гранул, що веде до зниження в'язкості на соплі. А також проблеми, пов'язані з низькою

температурою, що призводить до застрягання, яке перериває екструзію. Важливим моментом, який слід враховувати, є те, що чим менший розмір гранул, тим вища швидкість плавлення [2].

Переваги шнекових екструдерів:

- Економічно вигідний: Виробнича собівартість продукту з гранульованим екструдером нижча в порівнянні з нитковим екструдером, оскільки вартість гранул набагато нижча за вартість нитки, тобто 1 кг гранул PLA коштує близько 274 грн, тоді як 1 кг нитки PLA коштує близько 856 грн, що призводить до зниження виробничої собівартості;
- друк великих деталей. Більшість галузей промисловості використовують гранульований екструдер для друку великих деталей за менший час з матеріалів, що налаштовуються. Завдяки великим розмірам сопла, швидкість потоку є високим результатом для швидкого друку деталей;
- широкий асортимент матеріалів. Існує можливість використання великої кількості матеріалів, таких як більшість технічних матеріалів, таких як полікарбонат (PC), TPU, EVA і т.д., які є більш дорогими у вигляді ниток і здатні додавати велику кількість матеріалів в екструдери для гранул;
- придатність до вторинної переробки. У гранулятор можна подавати перероблений пластик, в тому числі і з деталі, яка була надрукована на тому ж екструдері;
- скорочення часу друку. Завдяки великому соплу в гранульованому екструдері швидкість подачі матеріалу висока, що призводить до скорочення часу друку в порівнянні з нитковим екструдером [3].

Проблематика шнекових екструдерів.

У 3D-друку за допомогою гранульованого екструдера також виникають проблеми, як і у філаментного екструдера. Це викривлення, засмічення, пористість, протікання, недоекструзія-переекструзія, пригорання. Деякі з основних проблем, їх причини та способи вирішення:

- викривлення. Готовий продукт має небажані повороти і вигини, які називаються викривленням. Це пов'язано з низькою температурою шару, нижчою за температуру склування пластику. Щоб запобігти цьому явищу, температуру основи підтримують на рівні температури склування, а також наносять клей на друкарську основу;
- пористість. Пористість - це коли кінцевий відбиток містить порожнечі та бульбашки повітря всередині або зовні. Ця проблема здебільшого спричинена повітрям

і вологою, що містяться в гранулах. Щоб запобігти цьому, попередньо необхідно нагріти гранули та використовувати дрібні гранули, які дозволяють повітрю виходити тощо;

- засмічення. Блокування екструдера зсередини, яке перешкоджає подальшому руху розплавленого пластику з сопла. Це явище називається засміченням. Засмічення в основному спричинене тим, що якщо матеріальний циліндр в місці розміщення нагрівального елементу має низьку температуру, гранули плавляться неправильно, що призводить до блокування екструдера. Щоб запобігти цій проблемі, процес друку завжди повинен відбуватися при потрібній температурі.

- недоекструзія - перевищення екструзії. Щоб запобігти цій проблемі, рівень гранул повинен підтримуватися належним чином і постійно перевірятися. Також необхідно підтримувати температуру, яка залежить від типу пластикових гранул. [4]

Огляд готових моделей пеллетних екструдерів.

Pulsar™, промисловий шнековий екструдер від компанії Dyze Design, розроблений для високошвидкісного 3D-друку великих об'єктів (рис.2). Він підтримує широкий спектр термопластичних матеріалів у вигляді гранул, що значно знижує витрати на сировину та розширює можливості виробництва.

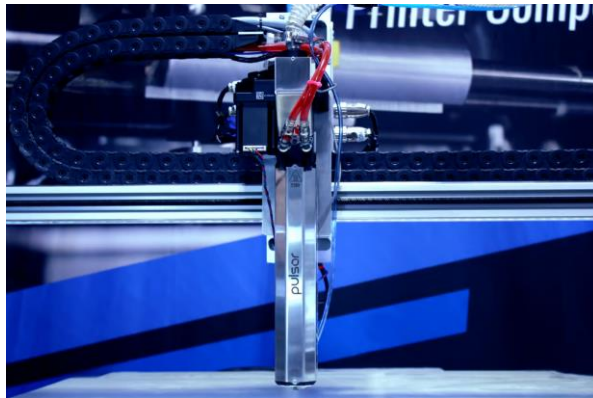


Рис.2. Шнековий екструдер Pulsar™ Dyze Design

Основні характеристики Pulsar™:

- висока продуктивність. Екструдер здатний забезпечувати витрату матеріалу до 500 мм³/с, що дозволяє друкувати великі об'єкти за короткий час;

- широка сумісність з матеріалами. Підтримує різноманітні термопластики, включаючи високотемпературні полімери, завдяки максимальній температурі нагріву до 450°C.;

- система рідинного охолодження. Забезпечує стабільну роботу та запобігає перегріву під час тривалого друку;

- інтеграція з роботизованими системами. Компактний дизайн і можливість монтажу на різні платформи дозволяють використовувати екструдер у поєднанні з промисловими роботами та великими 3D-принтерами;

Завдяки цим характеристикам, Pulsar™ є ефективним рішенням для промислового 3D-друку, забезпечуючи високу швидкість, гнучкість у виборі матеріалів та економічність виробництва [5].

HDP Extruder XL - це високопродуктивний шнековий екструдер, розроблений компанією WASP для використання з великими 3D-принтерами та роботизованими системами (рис.3). Він дозволяє безпосередньо друкувати термопластичними гранулами, що забезпечує економічність та екологічність виробництва.

Основні характеристики HDP Extruder XL:

- висока продуктивність. Екструдер здатний забезпечувати подачу матеріалу до 3,8 кг/год при використанні ABS та сопла діаметром 5,0 мм, що дозволяє значно скоротити час друку великих об'єктів;

- сумісність з різними матеріалами. Підтримує широкий спектр термопластиків, включаючи стандартні, технічні та перероблені матеріали, що розширює можливості застосування;

- система рідинного охолодження. Забезпечує стабільну роботу при високих температурах, дозволяючи нагрівати хотенд до 350 °C, що необхідно для друку високотемпературними полімерними матеріалами.

- інтеграція з роботизованими системами. Екструдер може бути встановлений на роботизовані маніпулятори, що забезпечує гнучкість та автоматизацію процесу друку;

- система FIRECAP. Запатентована система локалізованого нагріву камери до 150°C, яка покращує адгезію між шарами та забезпечує високу якість поверхні виробів.

Завдяки цим характеристикам, HDP Extruder XL є ефективним рішенням для промислового 3D-друку великих об'єктів з використанням гранульованих матеріалів, забезпечуючи високу швидкість, гнучкість у виборі матеріалів та економічність виробництва [6].



Рис.3. Пелетний екструдер HDP XL EXTRUDER

Direct3D Pellet Extruder - це компактний та легкий пелетний екструдер, розроблений італійською компанією Direct3D для використання в 3D-принтерах та роботизованих системах (рис.4). Він дозволяє друкувати безпосередньо з пластикових гранул, що знижує витрати на матеріали та розширює спектр використовуваних полімерів.

Основні характеристики Direct3D Pellet Extruder:

- розміри та вага. Екструдер має компактні габарити (18×13 см) та вагу близько 1 кг, що спрощує його інтеграцію з різними моделями 3D-принтерів;
- продуктивність. Швидкість подачі матеріалу варіюється від 20 до 350 г/год, залежно від типу використовуваного полімеру та налаштувань друку;
- діаметр сопел. Підтримуються сопла діаметром від 0,4 до 2,5 мм, що дозволяє обирати між високою деталізацією та швидкістю друку;
- сумісність з матеріалами. Екструдер успішно протестований з різними термопластиками, включаючи PLA, ABS, PA, PP, PE, PA-CF, PP-CF, TPU, TPV та інші. Доступні спеціальні версії для роботи з дуже м'якими еластомерами, абразивними матеріалами (наприклад, компаундами, наповненими вуглецевим волокном) та матеріалами для лиття під тиском металів;
- сумісність з прошивками. Екструдер підтримує роботу з популярними прошивками, такими як Marlin та Repetier, та використовує стандартні файли *.gcode, що генеруються більшістю слайсерів;
- простота обслуговування. Конструкція дозволяє швидко знімати шнек для очищення та обслуговування, що підвищує зручність експлуатації.

Застосування:

Direct3D Pellet Extruder ідеально підходить для дослідницьких та промислових застосувань, де необхідно використовувати широкий спектр матеріалів, включаючи високонаповнені та м'які еластomers, які важко обробляти за допомогою традиційних філаментних екструдерів. Використання гранул замість філаментів дозволяє знизити витрати на матеріали та підвищити продуктивність друку [8].



Рис.4. Пелетний екструдер Direct 3D

Mahor V4 Pellet Extruder - це компактний та потужний екструдер, розроблений компанією Mahor.huз для 3D-друку з використанням пластикових гранул (пелет). Він дозволяє використовувати широкий спектр термопластичних матеріалів, включаючи перероблений пластик, що сприяє зниженню витрат та екологічності виробництва.

Основні характеристики Mahor V4 Pellet Extruder:

- розміри та вага. Екструдер має габарити 190 мм x 86 мм x 42 мм та вагу 750 г, що спрощує його інтеграцію з різними моделями 3D-принтерів;
- продуктивність. Швидкість подачі матеріалу до 0,2 кг/год, залежно від типу використовуваного полімеру та налаштувань друку;
- діаметр сопел. Стандартне сопло має діаметр 0,8 мм, з можливістю заміни на сопла діаметром від 0,4 мм до 2 мм, що дозволяє обирати між високою деталізацією та швидкістю друку;
- сумісність з матеріалами. Екструдер підтримує широкий спектр термопластиків, включаючи PLA, ABS, PET та інші, що розширює можливості застосування;
- нагрівальний елемент. Доступні версії з нагрівачем 50 Вт (максимальна температура 300°C) та 70 Вт (максимальна температура 400°C), що дозволяє обирати оптимальний варіант залежно від потреб;

- сумісність з прошивками. Екструдер підтримує роботу з популярними прошивками, такими як Marlin, що спрощує його інтеграцію з більшістю 3D-принтерів;
- простота обслуговування. Конструкція дозволяє швидко знімати шнек для очищення та обслуговування, що підвищує зручність експлуатації.

Застосування.

Mahor V4 Pellet Extruder ідеально підходить для дослідницьких та промислових застосувань, де необхідно використовувати широкий спектр матеріалів, включаючи перероблені пластики. Використання гранул замість філаментів дозволяє знизити витрати на матеріали та підвищити продуктивність друку [10].



Рис.5. Пеллетний екструдер MAHOR V4 Pellet

Універсальні DIY пеллетні екструдери для 3D-друку - це пристрої, які дозволяють користувачам виготовляти 3D-друковані об'єкти за допомогою пластикових гранул (рис.6). Такий тип екструдера зазвичай використовують для роботи з широким спектром матеріалів, таких як PLA, ABS, PETG, а також деякі спеціальні пластики.

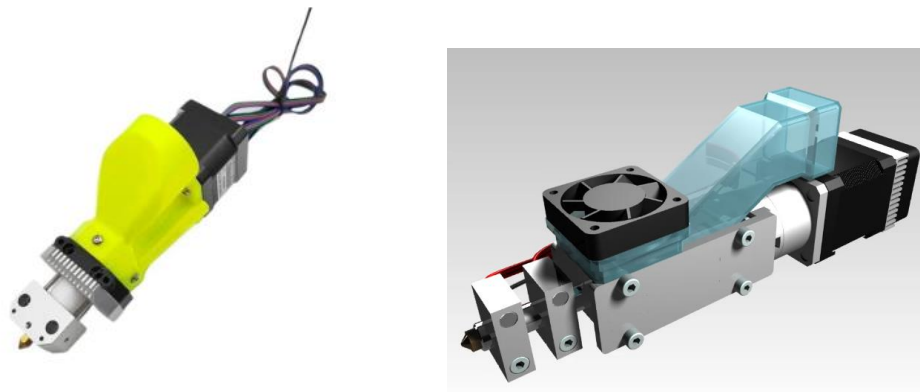


Рис.6. Універсальні DIY пеллетні екструдери

Основні характеристики універсальних пеллетних екструдерів:

- сумісність з різними матеріалами. Пеллетні екструдери можуть працювати з різними видами пластиків, такими як PLA, ABS, PETG, TPU та інші термопласти. Це робить їх ідеальними для виробництва деталей із різних матеріалів.

- зниження витрат. Пеллети значно дешевші за нитки для 3D-друку. Вони також мають вищу щільність, що дозволяє отримати більше матеріалу за менші витрати;

- розширені можливості для DIY-проектів. DIY пеллетні екструдери дозволяють користувачам модифікувати та налаштовувати екструдери під свої потреби. Вони можуть бути адаптовані для роботи з різними типами 3D-принтерів, від стандартних до більш складних промислових моделей;

- висока продуктивність. Пеллетні екструдери здатні подавати матеріал у більших кількостях порівняно з традиційними нитковими екструдерами. Це дозволяє створювати більші 3D-об'єкти без необхідності частого поповнення нитки;

- легкість в ремонті та модифікації: Оскільки більшість пеллетних екструдерів є DIY, вони зазвичай складаються з доступних компонентів, що полегшує їх ремонт, налаштування та модернізацію.

CEAD - це компанія, яка спеціалізується на розробці та виробництві інноваційних екструдерів для 3D-друку, зокрема пеллетних екструдерів (рис.7). Їхні екструдери дозволяють ефективно використовувати пластикові гранули замість традиційних ниток для 3D-друку. Це знижує витрати на матеріали та дозволяє працювати з різними типами пластиків.

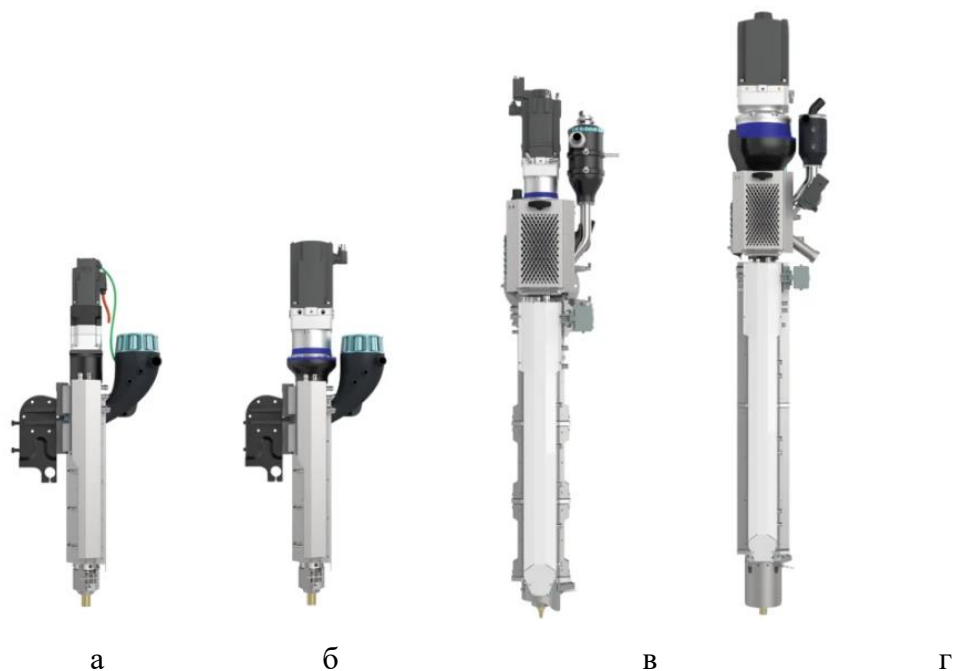


Рис.7. Пеллетні екструдери CEAD:

а – модель E25; б – модель S25; в – модель E40; г – модель E50

Основні характеристики пеллетних екструдерів CEAD:

- продуктивність. Пеллетні екструдери CEAD здатні працювати з високими об'ємами матеріалу, що робить їх ідеальними для промислових застосувань, де потрібен великий обсяг матеріалу за короткий час. Вони забезпечують високу швидкість подачі пеллет, що дозволяє створювати великі об'єкти за менший час;
- широкий вибір матеріалів: CEAD підтримує різноманітні пластики, включаючи PLA, ABS, PETG, а також спеціалізовані матеріали для індустріальних потреб, такі як PEEK, ULTEM та інші технічні пластики. Це дає можливість виготовляти 3D-деталі для широкого спектру застосувань, від прототипування до виробництва кінцевих продуктів;
- інтеграція з промисловими принтерами. Пеллетні екструдери CEAD призначені для інтеграції з великими промисловими 3D-принтерами. Вони мають велику сумісність із різними системами та можуть використовуватися в комбінації з робочими платформами для виробництва великих об'єктів;
- надійність і стабільність. CEAD ставить акцент на високу якість та надійність своїх продуктів. Їхні екструдери розроблені для роботи в екстремальних умовах, що дозволяє знижувати ймовірність поломок і забезпечувати стабільність виробничого процесу;
- економічність. Використання пеллет замість ниток значно знижує витрати на матеріали, оскільки гранули значно дешевші за нитки для 3D-друку. Це робить екструдери CEAD більш економічно вигідними для великих виробничих потужностей;
- простота обслуговування і модернізації. CEAD пропонує екструдери, які легко обслуговуються та модернізуються. Це дає можливість налаштування системи відповідно до конкретних вимог виробництва [14].

Порівняння технічних характеристик малогабаритних екструдерів наведено в табл.1.

Таблиця 1. Порівняння технічних характеристик малогабаритних екструдерів

Модель	Вага(кг)	Габарити(мм)	Продуктивність(кг/год)	Сопло(мм)
Pulsar™	8	180×150×350	2-4	1.75-3
WASP HDP	1.9	300×110×80	0.35	3
Direct 3D	1	180×130×130	0.2-0.4	0.4 - 2.5
MAHOR V4 Pellet Extruder	0.750	190×86×42	0.2	2

Порівняння технічних характеристик великогабаритних екструдерів наведено в табл.2.

Таблиця 2. Порівняння технічних характеристик великогабаритних екструдерів

Модель	Вага (кг)	Габарити (мм)	Продуктивність (кг/год)	Сопло (мм)
HDP XL	17	710×220×180	2.5	2-12
E25	30	230×340×980	12	2-18
S25	40	375×375×1100	24	2-18
E40	70	380×300×1780	60	4-24
E50	170	390×380×2250	84	4-24

Висновки

Проведене дослідження свідчить про значний потенціал пеллетних екструдерів у сучасних системах 3D-друку, особливо при їх інтеграції з роботизованими маніпуляторами. Аналіз існуючих конструкцій та технологічних рішень показав, що використання полімерних гранул замість традиційних філаментів відкриває нові можливості для промислового застосування адитивних технологій. Основні переваги таких систем полягають у значному зниженні собівартості виробництва, можливості використання ширшого спектру матеріалів, включаючи вторинну сировину, та підвищенні продуктивності за рахунок збільшення швидкості подачі матеріалу.

Однак розвиток цієї технології стикається з низкою технічних викликів, серед яких найбільш актуальними є забезпечення стабільності процесу екструзії, оптимізація теплового режиму роботи та розробка ефективних методів синхронізації рухів роботизованого маніпулятора з процесом нанесення матеріалу. Особливу увагу варто приділити питанням стандартизації інтерфейсів взаємодії між екструдером і роботом, що значно спростило б їх промислове впровадження.

Перспективи подальшого розвитку пов'язані з інтеграцією систем моніторингу якості в реальному часі, вдосконаленням конструкції шнекових механізмів для роботи з різноманітними матеріалами та розробкою спеціалізованого програмного забезпечення для управління процесом друку. Важливим напрямком є також дослідження можливостей використання таких систем у нових галузях, зокрема у будівництві, медицині та аерокосмічній промисловості.

Література

1. Поліщук А., Місяць В. (2023). *Моделювання шнекового екструдера 3D-принтера, що використовує гранули або подрібнені відходи полімеру в якості вихідної сировини*. Український журнал прикладної економіки та техніки, 8(2), 329-334.
2. Boyle, B.M., Xiong, P.T., Mensch, T.E., Werder, T.J., Miyake, G.M. (2019). *3D Printing Using Powder Melt Extrusion*. Additive Manufacturing, 29.
3. 3d Printing News. 3d Natives. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/#>.
4. Yousuf Pasha Shaik, Jens Schuster, Aarif Shaik, A Scientific Review on Various Pellet Extruders Used in 3D Printing FDM Processes. Open Access Library Journal, Vol.8 No.8, 2021.
5. Dyze Design pulsar pellet extruder [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dyzedesign.com/pulsar-pellet-extruder/>.
6. DeltaWASP 3MT HDP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://deltawasp.com.au/shop/wasp-3mt-hdp/?utm>.
7. HDP XL EXTRUDER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3dwasp.com/en/rigenera-recycle-3d-printing/>.
8. Direct3D Pellet Extruder [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.direct3d.it/extruders/?utm_source.
9. Pellet Extrusion (FGF) for R&D and Industrial applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.direct3d.it/>.
10. MAHOR extruder wiki [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mahor.xyz/wiki/pellet-extruder-wiki/>.
11. Mahor V4 Pellet Extruder [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://workhorserobotics.co/products/mahor-v4-pellet-extruder>.
12. Universal Pellet extruder for 3D Printer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.com/Universal-extruder-Filament-Granules-Assembly/dp/B0DGFQ4CVW>.
13. Universal pellet extruder UPE3D v2.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.thingiverse.com/thing:1847917>.
14. Pellet Extruders: For large scale 3D printing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ceadgroup.com/solutions/technology-components/#>.