

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь бакалавр
(бакалавр, магістр)

спеціальність 121 «Інформаційні системи та технології»
(шифр і назва спеціальності)

на тему «Інформаційна технологія для переробки пластикових відходів від 3D-друку»

Виконав: студент групи ІСТ-21д

_____ (підпис)

Н.С. Кошик

_____ (ініціали і прізвище)

Керівник

_____ (підпис)

В.О. Лифар

_____ (ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

О.І. Захожай

_____ (ініціали і прізвище)

Рецензент Д.В. Ратов

Київ – 2025

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

(повна назва кафедри)

Освітній ступінь бакалавр

(бакалавр, магістр)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТП

Захожай О.І

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кошик Нікіта Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Інформаційна технологія для переробки пластикових відходів від 3D-друку»

керівник роботи Лифар Володимир Олексійович, д.т.н., доц..

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “ 27 ” травня 2025 року
№67/15.15-С

2. Строк подання студентом роботи: 19.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єктом даної роботи є

інформаційна технологія для переробки пластикових відходів від 3D- друку

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Опис загальної мети та цілей розробки переробки пластику.

Пояснення, що таке 3D-друк. Пояснення принципів роботи машини..

Збірка апарату..Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників)

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Одержання завдання на виконання роботи	01.04.25	виконано
2	Аналіз теми переробка пластикових відходів	06.04.25	виконано
3	Аналіз технології переробки та побудова станків	16.04.25	виконано
4	Аналіз програмного забезпечення	26.04.25	виконано
5	Налаштування та програмування станків	26.05.25	виконано
6	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	12.06.25	виконано
7	Надання готової пояснювальної записки на кафедрі	19.06.25	виконано
8	Укладання доповіді і презентації	20.06.25	виконано

Студент _____ Н.С. Кошик
підпис (ініціали і прізвище)

Керівник роботи _____ В.О. Лифар
підпис (ініціали і прізвище)

РЕФЕРАТ

Робота містить: 30 сторінок основного тексту, 6 рисунків, 4 використаних джерела.

Метою кваліфікаційної роботи є надання інформаційних технологій по усім процесам переробки пластикових відходів.

У ході роботи проаналізовано: актуальність теми переробки відходів , етапи підготовки до переробки, інформація щодо вибору обладнання та пошагова інструкція для початку роботи.

Проведено тестування системи, в ході якого було виявлено всі переваги та проблеми та шляхи їх вирішення та удосконалення. Всі засоби використані для виготовлення філаменту мають практичну цінність для малого та середнього виробництва.

Ключові слова: 3D-друк, філамент, ПЕТ-пляшки, екструдер, програмне забезпечення.

ЗМІСТ

1. Вступ	6
2. Актуальність теми дослідження.....	8
3. Переробка пластикових відходів 3D-друку	10
3.1. Види перероблюваного пластику	10
3.2. Етапи переробки	13
3.3. Обладнання	19
4. Переробка ПЕТ-пляшок у філамент	26
4.1. Технологія	26
4.2. Переваги.....	30
5. Перспективи розвитку	33
6. Висновки	35
7. Перелік посилань	36

1. Вступ

3D-друк, або адитивне виробництво, — це передова технологія створення фізичних об'єктів шляхом пошарового накладання матеріалу згідно з цифровою 3D-моделлю. Завдяки своїй гнучкості, точності та доступності, 3D-друк набув широкого застосування в різних галузях: медицині (виготовлення імплантів, протезів, хірургічних моделей), автомобільній та аерокосмічній промисловості (деталі, прототипи), освіті, архітектурі, харчовій індустрії та навіть моді.

Особливу популярність ця технологія здобула серед ентузіастів, стартапів і малого бізнесу, адже дозволяє швидко і недорого виготовляти індивідуальні вироби, знижуючи залежність від масового виробництва. Однак поряд із численними перевагами, 3D-друк породжує й низку екологічних викликів, зокрема — накопичення пластикових відходів.

До основних джерел сміття належать:

браковані або невдалі вироби (навіть в досвідчених друкарів 10-15% від друку сягають відходи, з вимиканням світла їх кількість збільшується, тільки друк армія зробили 700 тонн пластикових виробів це приблизно 100 тонн відходів від друку), залишки філаменту після друку, зіпсовані або використані катушки,

підтримувальні структури (сапорти), які не підлягають подальшому використанню.

Ці відходи здебільшого виготовлені з термопластичних полімерів (PLA, PETG, ABS, Nylon), які при правильній технології можуть бути повторно перероблені. Один із найбільш ефективних і екологічних підходів — це подрібнення і плавлення відходів для подальшого створення нового філаменту. Таким чином формується замкнутий цикл виробництва, де використаний

матеріал повертається у процес як сировина. Це дозволяє суттєво знизити витрати на новий філамент і мінімізувати вплив на довкілля.

Окрему увагу заслуговує переробка ПЕТ-пляшок (поліетилентерефталату) — одного з найпоширеніших видів пластикового сміття. За допомогою спеціального обладнання ПЕТ-пляшки можна подрібнити, очистити і переплавити у філамент, який придатний для 3D-друку. Такий підхід не лише вирішує проблему утилізації пластикової тари, але й дає змогу виготовляти бюджетний і якісний матеріал для друку. На сьогодні вже існують успішні проекти й технології, що демонструють життєздатність цієї ідеї в домашніх умовах або на рівні малих виробництв.

Таким чином, розвиток 3D-друку має супроводжуватись усвідомленим підходом до утилізації і повторного використання матеріалів. Переробка пластикових відходів і ПЕТ-пляшок у філамент відкриває нові горизонти для сталого виробництва та сприяє формуванню екологічно відповідального підходу до інновацій.

Кожен із типів пластику має свої особливості під час переробки. Наприклад, PLA, хоча й позиціонується як біорозкладний, у домашніх умовах розкладається дуже повільно. Його перевага — простота у повторному плавленні, однак при перегріві утворює мікропухирці, які негативно впливають на якість друку. ABS, завдяки своїй стійкості до температур і механічній міцності, є чудовим вибором для технічних виробів, але при переробці виділяє небезпечні випари, тому важливо мати ефективну вентиляцію. PETG поєднує прозорість, гнучкість і просту переробку, але потребує точного дотримання температурного режиму. TPU — найскладніший у роботі через свою еластичність, він вимагає спеціального обладнання та високої точності налаштувань.

Сучасні системи переробки можуть бути повністю автоматизованими. Наприклад, модульні комплекси типу 'Recreator' поєднують подрібнювач, екструдер та намотувач у єдину систему. Такі рішення дозволяють не лише переробляти пластик, а й одразу виготовляти новий філамент, контролюючи діаметр, вологість та хімічний склад. Існують і компактні версії обладнання для використання в домашніх умовах, що дозволяє розвивати мейкерський рух і локальне екологічне виробництво.

Інновації включають створення філаменту з біологічних матеріалів, таких як кукурудзяний крохмаль, водорості та навіть відходи харчової промисловості. Такі матеріали мають потенціал до повного біорозкладання, не потребують дорогого обладнання для переробки, і не забруднюють довкілля при утилізації. Також активно досліджується впровадження штучного інтелекту в контроль якості філаменту — наприклад, системи на базі нейромереж здатні аналізувати однорідність складу й миттєво зупиняти виробництво при виявленні дефектів.

Таким чином, використання переробки пластикових відходів є не лише економічно вигідним, але й стратегічно важливим з точки зору екології. Переваги включають зменшення залежності від імпорту філаменту, розвиток локального бізнесу та зниження екологічного сліду виробництва. В умовах воєнного часу та післявоєнного відновлення України такі технології можуть забезпечити доступний матеріал для протезування, створення деталей для ремонтів і виготовлення побутових речей у громадах.

2 Актуальність теми дослідження

У сучасному світі проблема забруднення навколишнього середовища набуває дедалі загрозливіших масштабів, і однією з її основних складових є надмірне накопичення пластикових відходів. Пластик, завдяки своїй

дешевизні, легкості, міцності та зручності у використанні, став невід’ємною частиною повсякденного життя людини. Однак ці переваги мають і зворотний бік — значна кількість пластикових виробів після одноразового використання викидається, перетворюючись на відходи, які майже не розкладаються у природному середовищі. За оцінками ООН, щороку у світі утворюється понад 300 мільйонів тонн пластикових відходів, з яких лише близько 9% підлягає повноцінній переробці. Решта накопичується на полігонах, спалюється або потрапляє в екосистеми, завдаючи непоправної шкоди навколишньому середовищу.

Особливу загрозу становлять два типи пластикових відходів, які стрімко зростають у кількості: залишки від 3D-друку та використані пластикові пляшки. Застосування 3D-друку в останнє десятиліття зазнало значного поширення в усьому світі, включаючи Україну. Ця технологія активно використовується у промисловості, архітектурі, дизайні, медицині, освіті та навіть у побуті. Проте водночас із перевагами виникає нова екологічна проблема — формування відходів у вигляді помилкових моделей, залишкових ниток, опорних елементів та зіпсованих виробів. Більшість із них виготовлені з полімерів (PLA, ABS, PETG), які можуть бути перероблені, однак фактично потрапляють у загальні побутові відходи.

Паралельно з цим не менш важливою проблемою є утилізація пластикових пляшок, основним матеріалом яких є поліетилентерефталат (ПЕТ). Незважаючи на придатність до переробки, рівень повторного використання таких пляшок в Україні є вкрай низьким. Значна їх частина спалюється або захоронюється, утворюючи мікропластик, який проникає у ґрунти, воду, повітря, а зрештою й у харчовий ланцюг людини.

На цьому тлі надзвичайно актуальним постає пошук рішень для переробки пластикових відходів, зокрема поєднання залишків 3D-друку та пластикових пляшок. Таке поєднання дозволяє створити ефективну систему замкненого циклу використання полімерних матеріалів. Повторне використання пластику в якості сировини для створення філаменту відкриває нові можливості для економії ресурсів, здешевлення виробництва і зменшення екологічного навантаження.

Це набуває особливого значення в умовах розвитку циркулярної економіки. Уряди багатьох країн та міжнародні організації, зокрема ЄС, ООН, Світовий банк, підтримують ініціативи щодо зменшення пластикового забруднення. Європейська стратегія щодо пластику передбачає, що до 2030 року всі пластикові пакування мають бути перероблюваними або багаторазовими. У світі діють численні ініціативи — наприклад, Precious Plastic, Filabot, ReDeTec, що спрямовані на перетворення пластикового сміття у корисні ресурси для 3D-друку.

В Україні впроваджуються перші кроки у сфері розширеної відповідальності виробника, роздільного збору сміття, створення підприємств для ресайклінгу. Поширення 3D-друку в навчальних закладах, закладах творчості та малих підприємствах підвищує інтерес до доступних методів створення власного філаменту з пластикових відходів.

Таким чином, тема переробки пластикових відходів від 3D-друку та пластикових пляшок є надзвичайно актуальною з огляду на такі чинники:

- глобальна екологічна криза, спричинена надмірним накопиченням пластику;
- зростання обсягів відходів від 3D-друку та одноразової тари;

- потенціал повторного використання полімерів у виробництві філаменту;
- економічна доцільність створення замкнених циклів виробництва;
- наявність міжнародних та національних ініціатив для розвитку екологічних рішень.

Ураховуючи вищевикладене, обрана тема дипломної роботи відповідає вимогам часу, має теоретичне й практичне значення, а її дослідження сприятиме розробці інноваційних рішень для зменшення негативного впливу пластику на довкілля.

2. Переробка пластикових відходів 3D-друку

2.1. Види перероблюваного пластику

До основних типів пластику, який використовується у 3D-друці, належать PLA, ABS, PETG та TPU.

PLA (полілактидна кислота)

Опис: PLA — це біорозкладний термопластик, виготовлений з відновлюваних ресурсів, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина. Один з найлегших у друці матеріалів.

Температура друку: 190–220°C

Температура стола: 0–60°C

Обдув: 100% (максимальний обдув забезпечує якість деталей та уникнення ниток)

Температура переробки: 170–180°C (екструзія в грануляторі або філамент-мейкері)

Особливості:

Легко друкується, не потребує закритої камери.

Крихкий, не витримує високих температур (деформація при $\sim 60^{\circ}\text{C}$).

Добре піддається подрібненню та повторній екструзії, але з часом втрачає властивості.

Переробка: Легкий для переробки матеріал, особливо при наявності промислових компостувальних умов.

ABS (акрилонітрилбутадієнстирол)

Опис: Твердий, ударостійкий пластик, що добре підходить для технічних деталей.

Температура друку: $230\text{--}260^{\circ}\text{C}$

Температура стола: $90\text{--}110^{\circ}\text{C}$

Обдув: $0\text{--}20\%$ (мінімальний або відсутній, щоб уникнути деформації)

Температура переробки: $220\text{--}250^{\circ}\text{C}$

Особливості:

Схильний до усадки, потребує закритої камери для друку.

Видає різкий запах при плавленні — потрібна вентиляція.

Має гарну міцність і стійкість до температур ($\sim 100^{\circ}\text{C}$).

Переробка: Піддається переробці, але вимагає точної фільтрації, бо при повторному плавленні можуть виділятися токсичні речовини.

PETG (поліетилентерефталатгліколь)

Опис: Комбінація міцності, гнучкості та хімічної стійкості. Часто використовується як альтернатива PLA і ABS.

Температура друку: $220\text{--}250^{\circ}\text{C}$

Температура стола: $70\text{--}90^{\circ}\text{C}$

Обдув: $30\text{--}60\%$ (частковий, щоби уникнути ниток, але зберегти адгезію)

Температура переробки: $200\text{--}230^{\circ}\text{C}$

Особливості:

Висока міцність та прозорість.

Менше усадки, ніж у ABS.

Схильний до "ниток" (stringing), особливо при високій температурі.

Переробка: Добре піддається подрібненню і повторній екструзії. PETG можна виготовити також із ПЕТ-пляшок при певних модифікаціях.

TPU (термопластичний поліуретан)

Опис: Гнучкий і еластичний матеріал, застосовується для виготовлення м'яких виробів (напр., чохли, амортизатори).

Температура друку: 210–240°C

Температура стола: 30–60°C

Обдув: 50–80% (середній — для охолодження шарів без зменшення адгезії)

Температура переробки: 210–230°C

Особливості:

Висока еластичність, складний у подачі через екструдер.

Потребує повільної швидкості друку (10–30 мм/с).

Чутливий до вологи — потрібна сушка.

Переробка: Можлива, але складна — через еластичність TPU важко рівномірно подрібнюється. Потрібна спеціалізована подача філаменту.

2.2. Етапи переробки

Процес переробки пластикових відходів, особливо таких, що виникають у результаті 3D-друку та використання пластикових пляшок, є багатоступеневим і вимагає послідовного дотримання технологічних етапів. Кожен з них має надзвичайно важливе значення для досягнення якісного кінцевого продукту — філаменту для 3D-принтерів. Переробка таких

матеріалів не лише зменшує екологічне навантаження на довкілля, але й дозволяє економити ресурси, створюючи замкнуті цикли використання пластику.

1. Збір

На цьому етапі здійснюється пошук і акумуляція пластикової сировини. Джерела можуть бути найрізноманітнішими: залишки невдалих 3D-друків, обломки підтримок, використані катушки, а також одноразові пластикові пляшки. З метою оптимізації процесу варто приєднуватися до тематичних онлайн-спільнот, груп у соціальних мережах, форумах, де можна не лише отримувати сировину, але й ділитися досвідом.

Не менш ефективною є організація точок збору у навчальних закладах, лабораторіях, майстернях та технопарках. Розміщення інформаційних оголошень про прийом пластикових відходів сприяє залученню більшої кількості учасників до процесу переробки.

2. Сортивання

Сортивання є важливою передумовою для стабільної якості переробленого філаменту. В першу чергу необхідно визначити тип пластику: PLA, PETG, ABS, PET, HDPE тощо. Змішування несумісних полімерів призводить до погіршення механічних і температурних властивостей готового продукту. Особливо критично не змішувати PLA з ABS, оскільки їх поведінка при екструзії суттєво різниться.

Кольорове сортування допомагає уникнути неприємних естетичних ефектів, таких як брудно-сірі відтінки чи вкраплення різних кольорів. Також при наявності інформації доцільно враховувати виробника та серію пластику,

оскільки добавки можуть впливати на адгезію, плавкість та токсичність.



3. Очищення

Пластик перед подальшою обробкою повинен бути повністю очищений від сторонніх домішок. Це особливо актуально для ПЕТ-пляшок, які часто мають етикетки, залишки напоїв, клей, жир тощо. Нечищений пластик може спричинити проблеми на наступних етапах: блокування фільтрів, забруднення екструдера, утворення диму або навіть токсичних випарів.

Очищення виконується вручну або механічно. Промивання водою, іноді з м'якими знежирювачами, дозволяє підготувати матеріал до сушіння. Не менш важливим є повне висушування, оскільки волога призводить до пористості філаменту.

4. Дроблення

Цей етап полягає у подрібненні пластику до розміру, зручного для екструзії. Як правило, використовується шредер або дробарка. Після подрібнення

фракції просіюють, аби видалити великі шматки або дрібнодисперсний пил, що може призвести до засмічення механізмів екструдера.

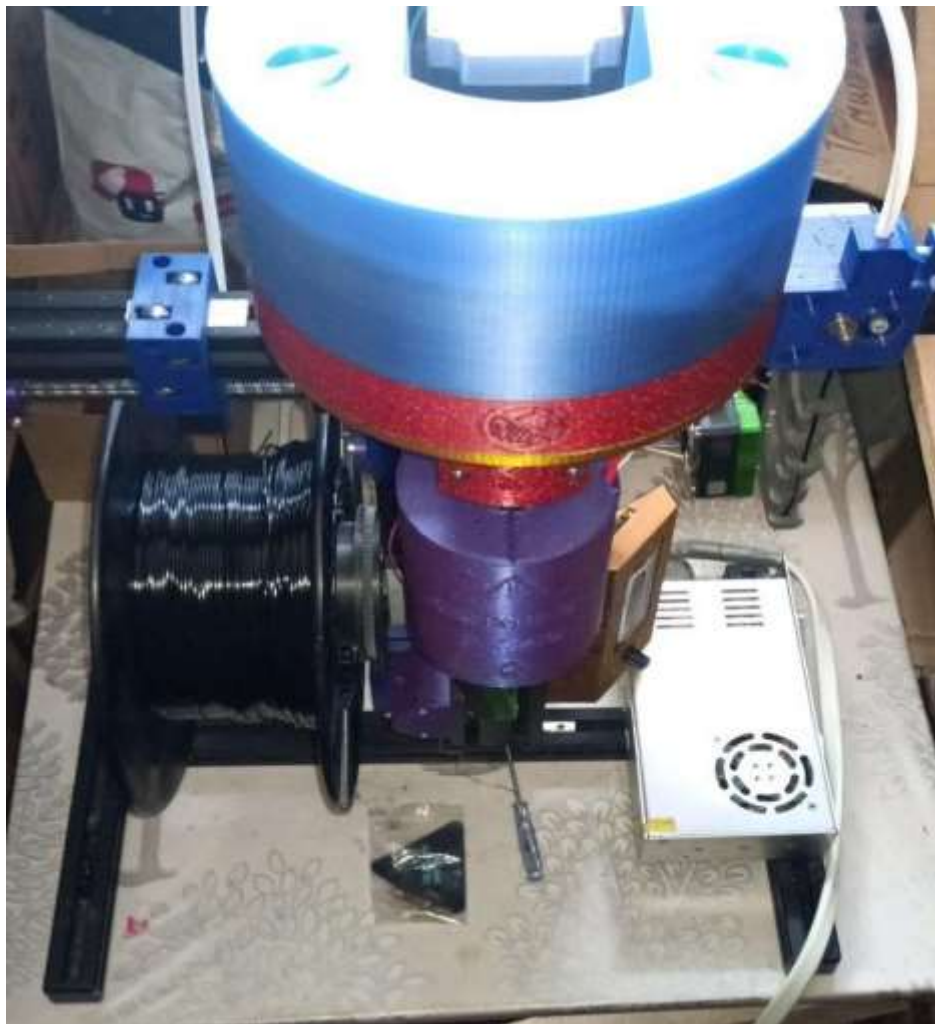
Деякі ентузіасти виготовляють шредери власноруч або адаптують обладнання з інших галузей. Подрібнений пластик зберігається в герметичних контейнерах у сухому середовищі.



5. Плавлення та фільтрація

Подрібнені пластикові гранули завантажуються в екструдер, де відбувається їх розплавлення до однорідної маси. Кожен тип пластику має свій температурний діапазон: для PLA це приблизно 170–200°C, для PETG — 220–250°C, для ABS — 230–260°C.

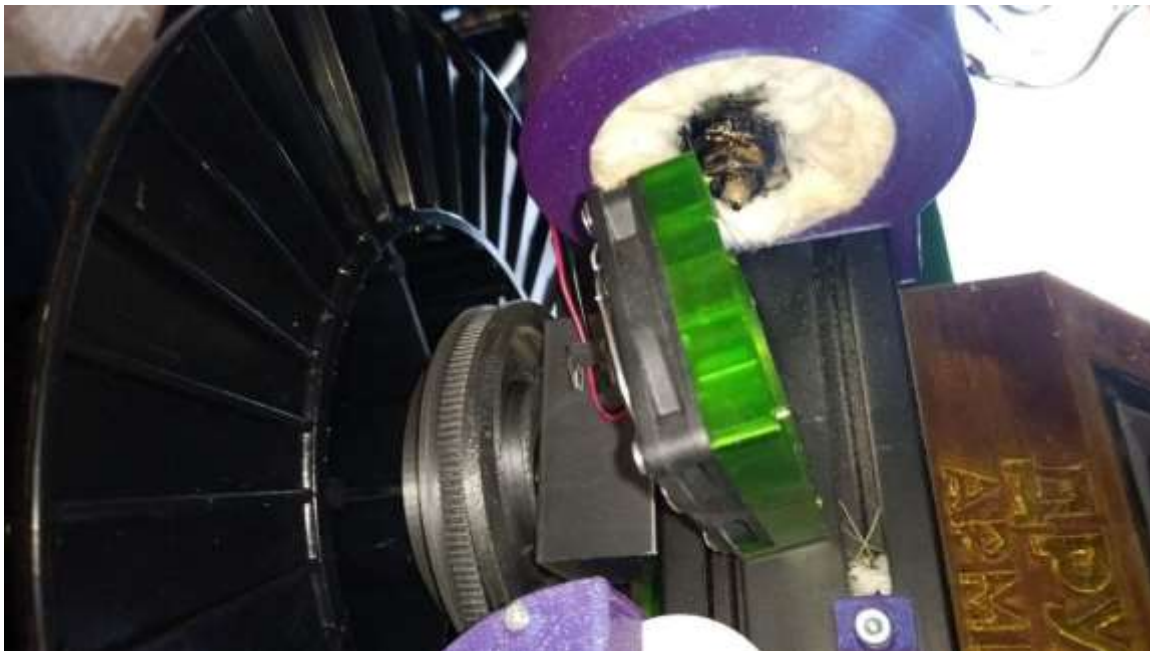
На цьому етапі особливо важлива фільтрація — через металеві сита або змінні фільтри проходить розплав, очищуючись від залишків домішок або нерозплавлених часток. Це дозволяє уникнути засмічення сопел 3D-принтерів і покращує якість готової нитки.



6. Екструзія

Розплавлений та очищений пластик подається у шнековий механізм, звідки видавлюється через сопло заданого діаметра — зазвичай 1.75 мм або 2.85 мм. Екструзія вимагає точного контролю температури, тиску та швидкості подачі.

На деяких пристроях встановлюються датчики, які в режимі реального часу вимірюють діаметр філаменту. Це дозволяє досягти стабільності, яка є критично важливою для подальшого друку.



7. Охолодження та намотування

Нитка, що виходить з екструдера, одразу охолоджується — або у водяній ванні, або внаслідок обдуву вентилятором. Завдяки цьому вона зберігає правильну форму та не деформується.

Після охолодження філамент намотується на катушки. Важливо, щоб намотування було рівномірним і не створювало натягу або вузлів. Кожна партія

маркується: вказується тип пластику, колір, дата виготовлення, партійний номер.

Проводяться тестування на друк: нитка перевіряється у стандартному 3D-принтері на предмет стабільності подачі, міцності, адгезії до платформи та збереження геометрії.

Таким чином, правильна організація етапів переробки дозволяє не лише зменшити кількість пластикових відходів, а й створити якісний продукт, придатний для повторного використання в сучасному виробництві. Цей підхід є одним з практичних втілень принципів сталого розвитку та екологічної відповідальності.



2.3. Обладнання для переробки пластику

Порівняння філамент-екструдерів: Artme3D MK3S+ та альтернативи

Artme3D MK3S+ — пристрій для виробництва філаменту.

Філамент-екструдери — це спеціалізовані пристрої для виготовлення нитки з гранульованого пластику, яка потім використовується для 3D-друку. У цьому сегменті ринку представлені як комерційні, так і DIY-рішення, проте між ними існують суттєві відмінності у точності, стабільності та зручності роботи.

Artme3D MK3S+ — це продуманий і технічно якісний філамент-екструдер українського виробництва, що орієнтований на користувача, який потребує стабільного виробництва філаменту високої якості. У порівнянні з простими DIY-рішеннями типу Filabot, Felfil або навіть дешевими китайськими аналогами, Artme3D MK3S+ має низку переваг.

По-перше, конструкція пристрою базується на металевій рамі з V-слот алюмінієвих профілів, що забезпечує жорсткість, надійність і тривалий термін експлуатації. У той час як більшість аналогів часто мають пластикові або змішані компоненти, що з часом піддаються деформаціям і викликають нерівномірність подачі матеріалу.

По-друге, модуль екструзії в Artme3D MK3S+ реалізовано з використанням якісного шнека та камери нагріву з точним контролем температури. Це дозволяє працювати не лише з PLA, а й з більш вимогливими матеріалами на кшталт PETG, ABS, TPU, ASA. У багатьох бюджетних рішеннях досягти стабільної екструзії навіть з PLA — це виклик через поганий контроль температури або нестабільну геометрію подачі.

По-третє, інтерфейс пристрою інтуїтивний: вбудований LCD-дисплей, керування температурою, швидкістю подачі та автоматичні режими охолодження нитки. Це значно спрощує налаштування та дозволяє працювати з різними видами сировини без складного програмування або ручного контролю кожного параметра. Дешеві альтернативи рідко мають зручний інтерфейс — натомість вимагають зовнішнього керування Arduino або подібними контролерами.

Також важливо зазначити якісну систему охолодження філаменту: спеціально розміщені вентилятори та направляючі ролики забезпечують рівномірність нитки на виході, що критично для подальшого використання у принтері. У деяких DIY-рішеннях цю частину або повністю пропускають, або реалізують надто примітивно, що призводить до нестабільного діаметра нитки.

Artme3D MK3S+ дозволяє легко інтегрувати систему калібрування діаметра з лазерним сенсором (опційно), що значно підвищує контроль якості продукції. У більшості альтернатив такі системи — недоступні або складні для самостійного впровадження.

Висновок

Artme3D MK3S+ — це баланс між професійним рівнем і доступністю. Він забезпечує стабільне та якісне виготовлення філаменту в домашніх або лабораторних умовах, має зручний інтерфейс, добру механіку та продуману конструкцію. Я обрав саме цей пристрій тому, що він поєднує в собі зручність використання, високу якість екструзії, підтримку різних матеріалів і модульність, що дозволяє розширювати його функціонал під конкретні задачі.

Крім того, наявність українського виробника гарантує технічну підтримку, доступність деталей та пості...

Порівнюючи Artme3D MK3S+ з іншими популярними екструдерами для філаменту, варто зупинитися на кількох найбільш відомих моделях: Filabot EX2, Felfil Evo та Noztek Pro.

Filabot EX2 — американське рішення, яке позиціонується як професійний пристрій. Його конструкція доволі міцна, але вартість значно перевищує доступніші аналоги, зокрема Artme3D MK3S+. При цьому інтерфейс управління у Filabot досить базовий, вимагає ручного налаштування параметрів, а сама система охолодження філаменту реалізована через окремий модуль, що продається окремо. Artme3D MK3S+ має вбудовану систему охолодження, що підвищує стабільність та знижує потребу в додатковому обладнанні.

Felfil Evo — це італійський настільний екструдер, орієнтований переважно на PLA та PETG. Він має стильний корпус, але значно поступається Artme3D MK3S+ у потужності нагрівального елемента, що ускладнює роботу з більш технічними матеріалами. Також у Felfil Evo немає можливості гнучкої настройки швидкості подачі або температурних зон, що обмежує його функціональність у порівнянні з Artme3D.

Noztek Pro — це більш бюджетний варіант екструдера з Великобританії. Він використовує просту конструкцію з базовим шнеком, але не має ні контролера, ні системи стабілізації подачі. Це робить його придатним лише для ентузіастів, які готові самостійно допрацьовувати пристрій. У порівнянні, Artme3D MK3S+ поставляється вже як готове рішення з усіма необхідними функціями.

У всіх цих прикладах можна побачити певні компроміси між ціною, функціональністю та якістю. Artme3D MK3S+ вирізняється серед конкурентів тим, що має збалансовану комбінацію всіх трьох факторів, при цьому будучи доступним на локальному ринку та маючи підтримку від виробника.

Успішна та ефективна переробка пластикових відходів у якісний філамент для 3D-друку є неможливою без використання спеціалізованого обладнання. Кожна одиниця техніки, починаючи від подрібнювача і закінчуючи намотувачем, виконує надзвичайно важливу роль у складному ланцюгу виробництва. Оскільки якість кінцевого продукту, а саме філаменту, безпосередньо впливає на результати друку, варто детально розглянути ключове обладнання, що застосовується на кожному етапі переробки.

1. Шредер (подрібнювач)

1. Шредер (подрібнювач)

Шредер — це базовий і незамінний елемент будь-якої установки з переробки пластику. Він забезпечує перше механічне руйнування великогабаритного або негабаритного пластикового матеріалу, такого як відходи від 3D-друку, неякісні вироби, підтримуючі структури, залишки після обрізання моделей тощо. Подрібнення є необхідним не лише для зручності наступних етапів, а й для стабілізації температурних режимів при плавленні.

Залежно від обсягів виробництва шредери поділяються на побутові та напівпромислові:

- Побутові моделі характеризуються невеликою потужністю, часто мають ручний привід і здатні працювати з обмеженим обсягом матеріалу. Вони ідеально підходять для індивідуальних майстерень або лабораторій.
- Напівпромислові шредери мають автоматичну подачу, потужні електродвигуни та захист від перегріву. Деякі з них здатні подрібнювати до 20–30 кг пластику на годину.

Якість шредера визначається не лише його потужністю, а й конструкцією ножів. Ідеально, коли ножі виготовлені з інструментальної сталі з термообробкою, мають змінну геометрію та можливість легкої заміни або заточування.

2. Екструдер

Це серце процесу переробки. Саме екструдер відповідає за розплавлення пластику, рівномірне його просування до сопла та стабільну подачу у вигляді філаменту.

Основні типи екструдерів:

- Одногвинтові — найбільш поширені серед невеликих виробників. Вони прості в обслуговуванні, але іноді можуть мати проблеми з рівномірністю при змішаних матеріалах.
- Двогвинтові — мають вищу ефективність перемішування. Їх використовують для роботи з повторно використаним пластиком, особливо коли є залишки барвників або інших домішок.

У конструкції екструдера важливу роль відіграють зони нагріву. Зазвичай їх кілька — для поступового нагрівання, пластикації та стабілізації. Також важливе значення має температурний контроль, який дозволяє уникнути перегріву, що призводить до деградації полімеру.

3. Фільтри (металеві сита)

Наявність сторонніх включень у вторинному пластику — поширене явище. Це можуть бути частинки пилу, металева стружка, шматочки паперу, клею тощо. Якщо такі домішки потраплять до сопла принтера, це може спричинити його закупорювання або брак виробу.

Металеві фільтри, що встановлюються перед соплом, мають різні розміри отворів. Зазвичай використовуються сита з отворами 60–120 мікрон. Вони змінні та легко очищаються, що робить їх незамінними в умовах постійної експлуатації.

4. Охолоджувальні ванни / вентилятори

Одразу після екструзії пластик має температуру понад 150–200°C. Якщо його не охолодити належним чином, він деформується, втратить форму і відповідно — точність діаметра. Системи охолодження можуть бути різного типу:

- Водяні ванни — пластик проходить через резервуар з охолодженою водою. Це забезпечує рівномірне і швидке охолодження.
- Вентилятори — забезпечують обдув філаменту з усіх боків. Часто використовуються разом з водяними ваннами для максимального ефекту.

Правильно налаштована система охолодження дозволяє уникнути мікротріщин, вгину, а також забезпечує стабільність структури нитки.

5. Лазерні датчики контролю діаметру

У сучасному виробництві надзвичайно важливо дотримуватись високої точності. Навіть незначне відхилення у діаметрі філаменту (наприклад, з 1.75 мм до 1.80 мм) може призвести до засмічення екструдера у 3D-принтері. Саме тому лазерні сенсори набули широкого розповсюдження.

Принцип роботи полягає у безконтактному вимірюванні товщини нитки кілька разів на секунду. У разі відхилення система автоматично регулює швидкість подачі або температуру, підтримуючи стабільність параметрів. Таке рішення значно покращує якість кінцевого продукту та зменшує кількість відходів.

6. Намотувачі філаменту

На завершальному етапі філамент необхідно намотати на катушку. Це не менш важливий процес, оскільки від якості намотування залежить зручність подальшого використання. Якщо нитка накладається нерівномірно або з надмірною натяжкою — вона може зламатися чи заклинити в принтері.

Намотувачі бувають ручні (механічні) і автоматичні:

- Ручні — дешевші, але потребують постійної уваги оператора.
- Автоматичні — працюють у зв'язці з датчиками, зупиняються при заповненні катушки, можуть маркувати філамент, вимірювати довжину або вагу продукції.

У деяких моделях реалізована можливість калібрування натягіння та швидкості намотування, що дає змогу адаптуватись до різних типів пластику та товщини нитки.

Узагальнюючи, можна сказати, що якісна переробка пластику потребує високотехнологічного обладнання, злагодженої роботи всіх елементів, а також уважного підходу до кожного з етапів. Саме технічне забезпечення, у поєднанні з правильними технологічними рішеннями, дає змогу не лише зменшити кількість відходів, а й виробляти екологічно чистий, економічно вигідний та конкурентоспроможний продукт — філамент для 3D-друку.

Переробка ПЕТ-пляшок у філамент

3.1. Технологія переробки ПЕТ-пляшок

Переробка ПЕТ-пляшок у філамент для 3D-друку — це сучасна технологія, що дозволяє ефективно перетворювати пластикові відходи у корисний, якісний та екологічно безпечний матеріал. ПЕТ-пластик (поліетилентерефталат) є одним із найпоширеніших у світі полімерів, з якого виготовляють пляшки для води, газованих напоїв, соків тощо. Враховуючи величезні обсяги споживання цього матеріалу, актуальність його вторинного використання є надзвичайно високою.

Процес переробки ПЕТ-пляшок у філамент складається з кількох обов'язкових етапів, кожен із яких має вирішальне значення для отримання якісного кінцевого продукту.

1. Підготовка пляшок

Цей етап розпочинається зі збору та попереднього сортування ПЕТ-пляшок. Для переробки підходять лише чисті, прозорі або однотонні пляшки без залишків рідини, етикеток, кришок, термоусадкових манжетів чи металевих кілець. Забруднення або сторонні матеріали можуть значно ускладнити плавлення, викликати дефекти філаменту або пошкодити екструзійне обладнання.

Після сортування проводиться очищення пляшок. Рекомендується використовувати гарячу воду з додаванням мийних засобів, що дозволяє ефективно усунути цукор, клей, масла або інші органічні речовини. На великих переробних лініях цей процес автоматизується й супроводжується багаторазовим полосканням.

Сушіння є обов'язковим кроком, який жодним чином не можна ігнорувати. ПЕТ-пластик має високу гігроскопічність — тобто здатність поглинати вологу з повітря. Якщо волога залишиться всередині матеріалу, вона може спричинити утворення бульбашок, пористість, зниження міцності та ламкості філаменту. Тому пляшки сушать при температурі близько 60–80°C у спеціальних сушарках або дегідраторях.

2. Нарізка на стрічки

Другим кроком є перетворення пляшок у зручну для екструзії форму — довгі вузькі стрічки. Для цього застосовують стрічкорізи (PET bottle cutters), які можуть бути ручними або автоматизованими. Ширина стрічки зазвичай становить 4–8 мм, залежно від потужності екструдера та діаметра його сопла.

Якісно нарізана стрічка має бути рівною, без хвиль, вузлів, перегинів і розривів. Від цього залежить стабільність подачі в екструдер і рівномірність розплавлення матеріалу. Ідеально, якщо стрічка має однакову ширину по всій довжині — це забезпечує однакову швидкість плавлення та попереджає коливання діаметра філаменту.

3. Подача стрічки в екструдер

Підготовлена стрічка ПЕТ автоматично або вручну подається у приймальну частину екструдера. Екструдер повинен бути спеціально налаштований під роботу з твердим, високотемпературним полімером — ПЕТ-пластиком. Робоча температура плавлення цього матеріалу становить 220–250°C, і лише точне дотримання температурного режиму дозволяє уникнути термічного розкладання.

У деяких системах передбачено автоматичне регулювання натягу стрічки, що дозволяє уникнути ривків або блокування у зоні плавлення. Також можливе попереднє підігрівання стрічки для зменшення енергоспоживання основного нагрівального блоку.

4. Плавлення і формування філаменту

Розплавлена стрічка ПЕТ проштовхується через спеціальне сопло, яке формує нитку філаменту з діаметром, найчастіше, 1.75 мм. Від точності діаметра залежать параметри друку, зокрема витрата матеріалу, швидкість подачі, якість заповнення та товщина шару.

Сучасні установки оснащуються лазерними сенсорами, які вимірюють діаметр філаменту в режимі реального часу та подають сигнали для регулювання швидкості екструзії. Це дозволяє підтримувати допустиме відхилення в межах ± 0.05 мм, що є критично важливим для стабільного та безпечного друку.

5. Охолодження філаменту

Відразу після формування, філамент має дуже високу температуру і є м'яким. Якщо його не охолодити негайно, відбудеться деформація, розширення або стиснення, що унеможливить подальше використання. Саме тому філамент проходить через водяні ванни або зону обдуву вентиляторами.

Правильне охолодження стабілізує структуру нитки, надає їй кінцеву форму, знижує внутрішнє напруження та покращує її механічні властивості. Температура води або повітря має бути точно відрегульована: надмірне охолодження може призвести до мікротріщин, а недостатнє — до деформації.

6. Намотування

Коли філамент охолоджено, він подається на намотувач, який обережно накладає нитку на котушку рівними шарами. Цей процес повинен бути точно синхронізований із швидкістю екструзії та контролем натягу. Неправильне намотування може викликати заплутування, перегини, переломи, що унеможливить його подальше використання в принтері.

Сучасні автоматичні намотувачі мають сенсори, які вимірюють товщину, довжину, вагу філаменту та навіть маркують партії. Це особливо корисно для промислових виробників або лабораторій, які проводять випробування з різними сумішами матеріалів.

7. Зберігання

Готовий філамент з ПЕТ слід зберігати в герметичних ємностях або спеціальних контейнерах з осушувачами. Через гігроскопічність матеріалу, він може швидко вбирати вологу з повітря, особливо у вологих приміщеннях. Вологий філамент не підходить для друку — при нагріванні волога перетворюється на пару, що створює бульбашки, знижує адгезію шарів і якість виробів.

Тому перед друком рекомендується додаткове сушіння філаменту у дегідраторях або спеціальних сушильних камерах при температурі 60–70°C протягом 4–8 годин.

Таким чином, технологія переробки ПЕТ-пляшок у філамент — це складний, багатоступеневий процес, що вимагає точності, знань і якісного обладнання. Проте його впровадження дозволяє вирішити проблему пластикових відходів,

знизити витрати на матеріали для 3D-друку та зробити внесок у збереження довкілля.

3.2. Переваги

- **Доступна сировина**

ПЕТ-пляшки – один із найпоширеніших типів побутового пластику. Їх легко зібрати у великих кількостях через повсюдну наявність у побуті, на підприємствах і у закладах харчування. Це дозволяє суттєво знизити витрати на закупівлю матеріалу.

- **Екологічність**

Переробка ПЕТ зменшує кількість пластикових відходів на сміттєзвалищах і у природі. Таким чином, зменшується забруднення довкілля, а також знижуються викиди CO₂ у порівнянні з виробництвом первинного пластику.

- **Механічна та хімічна стійкість**

Філамент із ПЕТ має високу міцність, зносостійкість, стійкість до вологи, масел і деяких хімікатів. Він ідеально підходить для друку функціональних деталей, які будуть експлуатуватись у складних умовах.

- **Можливість локального виробництва**

Для створення філаменту з ПЕТ не обов'язково мати промисловий завод — достатньо невеликої майстерні з базовим обладнанням (екструдер, намотувач, стрічкоріз). Це відкриває можливість створення **мікропереробних майданчиків** у школах, ФОП, майстернях, волонтерських центрах тощо.

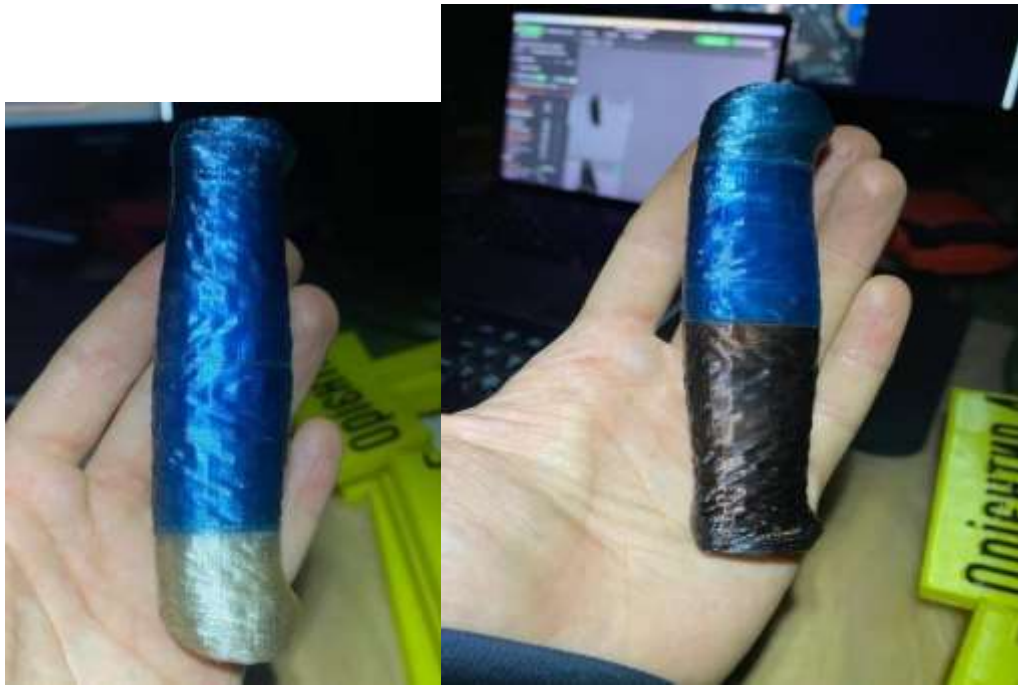
- **Самодостатність виробництва**

Процес переробки дозволяє бути незалежним від постачальників філаменту — особливо актуально під час логістичних обмежень чи високого попиту.

Власний цикл "від пляшки — до продукту" забезпечує стабільність виробництва.

- **Можливість створення кольорових філаментів**

Залежно від кольору вхідного матеріалу або додавання барвників, можна отримувати філамент різних відтінків



4. Перспективи розвитку

- **Повна автоматизація процесу**

Майбутнє переробки — за повністю автоматизованими системами, які здійснюють сортування, очищення, дроблення, екструзію та намотування без участі людини. Такі установки зможуть працювати 24/7, зменшуючи витрати та підвищуючи стабільність якості філаменту. Застосування штучного інтелекту

дозволить аналізувати якість сировини й автоматично адаптувати параметри виробництва.

- Поява нових біополімерів

Очікується розвиток біорозкладних та біоосновних матеріалів (наприклад, PLA+, PHA, PBS), які матимуть властивості традиційних термопластів, але будуть безпечнішими для довкілля. Такі матеріали можна буде переробляти багаторазово без втрати якості, відкриваючи шлях до майже безвідходного виробництва.

- Замкнутий цикл виробництва (closed loop)

Технології замкнутого циклу передбачають повний перехід від “виробництва – використання – утилізації” до “виробництва – використання – переробки – повторного виробництва”. Це дозволить друкувати вироби, які згодом можна подрібнити, переробити та надрукувати знову – без втрати механічних властивостей.

- Локальні міні-заводи та майстерні

Завдяки доступності обладнання та відкритим технологіям (як у проєкті Precious Plastic), зростає популярність локальних переробних точок – у школах, майстернях, на підприємствах. Вони забезпечать місцеві спільноти філаментом і зменшать залежність від великих виробників.

- Економічна та освітня інтеграція

Переробка пластику може стати частиною освітніх програм (STEM/STEAM), екологічного виховання та соціального підприємництва. Учні,

студенти або місцеві громади зможуть долучатися до створення продукції з переробленого матеріалу.

- Впровадження регуляцій та стимулів

Уряди дедалі активніше вводять законодавчі обмеження на первинний пластик і стимулюють переробку (гранти, пільги, податкові знижки). Це створює сприятливі умови для розвитку малого бізнесу у сфері вторинної переробки та 3D-друку.

5. Висновки

Переробка пластикових відходів у сфері 3D-друку — це не лише актуальний тренд, а й стратегічно важливий напрямок сталого розвитку. У сучасних умовах зростання обсягів пластику та підвищення екологічної свідомості суспільства, застосування вторинної сировини набуває ключового значення.

Використання відходів, таких як ПЕТ-пляшки або залишки друку, дозволяє суттєво зменшити екологічне навантаження на довкілля, скоротити кількість сміття на полігонах та зменшити споживання первинного ресурсу. Перероблений філамент може мати конкурентні механічні характеристики, забезпечуючи якість та функціональність виробів без шкоди для продуктивності.

Крім того, повторне використання пластику значно знижує виробничі витрати. Це робить 3D-друк доступнішим як для малого бізнесу, так і для громадських ініціатив, шкіл чи майстерень. Сам процес переробки відкриває

широкі можливості для локалізації виробництва та створення нових робочих місць на рівні громади.

Інтеграція технологій переробки у навчальні та виробничі середовища сприяє формуванню екологічної культури, розвитку технічної грамотності та інженерного мислення у молоді. А впровадження автоматизованих систем, нових біоматеріалів та моделей замкнутого циклу робить майбутнє 3D-друку не лише екологічним, але й технологічно прогресивним і економічно вигідним.

Отже, розвиток переробки у сфері 3D-друку — це ключ до стійкого, відповідального та інноваційного майбутнього, яке об'єднує екологію, технології й соціальний вплив.

6. Перелік посилань

1. Власні матеріали практики
2. Технічна документація обладнання для переробки пластику
3. Статті та дослідження про переробку ПЕТ та біополімери
4. Онлайн-ресурси з екструзії філаменту