

УДК 678.07.029

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.117-126](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.117-126)

П. М. Єрьомін, канд. техн. наук, **А. М. Кириченко**, д-р техн. наук, проф.,
А. І. Гречка, доц., канд. техн. наук, **А. Р. Апаракін**, канд. техн. наук, **Є. О. Ніщепенко**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: p24124@gmail.com

Сучасний стан та перспективи розвитку пристроїв для механічного подрібнення пластикових відходів 3D друку під час їх вторинної переробки

Проведений аналіз сучасного стану існуючих технологій та обладнання для вторинної переробки відходів з пластику, які утворюються під час 3D друку, шляхом механічного подрібнення пластику та подальшої переплавки в гранули або готові вироби. Розглянуті існуючі методи подрібнення пластикових відходів та компоновки механічних пристроїв для їх переробки. Наведені варіанти виконання різальних дискових ножів з різною кількістю різальних зубців, а також з різними формами центральних отворів для кріплення на обертальних валах шредера. Розглянуті види матеріалів, які використовуються для виготовлення ножів та валів. На основі наведеної інформації запропонована схема, де зображено основні етапи проектування шредера зі змінним ножами.

вторинна переробка, пластик, механічне подрібнення, шредер, геометрія ножів, 3D друк

Постановка проблеми. Деталі із різних видів пластику складають значну частину в сучасних машинах та механізмах, що дозволяє зекономити чорні та кольорові метали, знизити вагу деталей, підвищити стійкість виробів до корозії, а також забезпечити вторинну переробку складових частин техніки після закінчення строку її експлуатації.

Правильно організована утилізація техніки з відпрацьованим ресурсом забезпечує максимально ефективний процес переробки деталей, суттєво скорочує споживання природних ресурсів та запобігає забрудненню навколишнього середовища. Також важливо, що в країнах Європейського Союзу, кандидатом на вступ до якого є Україна [1], діють суворі законодавчі вимоги щодо обов'язкової утилізації техніки, які забороняють її викидання на смітники. Це необхідно для зниження забруднення оточуючої природи, так як неправильна утилізація відпрацьованої техніки призводить до значних викидів різноманітних шкідливих речовин у довкілля та подальшого негативного впливу на здоров'я людей та тварин.

За останні роки в Україні збільшився інтерес суспільства до екологічних проблем, що зокрема викликало суттєвий розвиток галузі з переробки відходів пластику. Підприємства, що спеціалізуються в цій сфері, активно впроваджують сучасні технології з вторинної переробки пластикових відходів, які дозволяють дотримуватись вимог щодо з екологічної безпеки та використовують новітнє обладнання для оптимізації процесу переробки і зменшення шкідливих викидів. Також слід відмітити, що зараз в Україні є значна потреба у технічних пластиках власного виробництва для виробів військового та цивільного призначення, отриманих, зокрема, і методом пошарового наплавлення (FDM) на 3D принтерах. Враховуючи можливість виготовлення деталей з вторинної сировини (наприклад з пластику марки ABS) та її великі обсяги, необхідність в удосконаленні існуючих технологій з переробки таких відходів є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо [2,3], повністю синтетичні пластики або пластмаси з'явилися на початку XX сторіччя. З часом стало зрозумілим, що нафтохімічна промисловість під час виробництва різноманітних пластиків завдає серйозної шкоди природі та здоров'ю людей. Різнманітні барвники, пластифікатори та антипірени значно покращують якості матеріалу та роблять його більш гнучким або міцним. Але внаслідок старіння та часткового розкладу матеріалу шкідливі речовини виділяються з нього і потрапляють у воду, ґрунт та повітря.

Дотепер у малорозвинених країнах утилізація пластику відбувається за рахунок використання застарілих та небезпечних для довкілля методів заповування сміття у ґрунті, а також їх простого спалювання на відкритому повітрі. Це дешево, але вкрай небезпечно для оточуючого середовища як зараз, так й в майбутньому за рахунок його великого забруднення. Переробка відпрацьованих пластикових виробів на сучасних лініях [4,5] включає в себе такі операції, як збір та сортування вживаного пластику з різних локацій, його подрібнення, мийку, сушку, сепарацію, переплавлення в гранули або виготовлення готових виробів із відновленої сировини. Вторинна переробка пластику є економічно вигідною [6,7], що дозволяє сучасним спеціалізованим компаніям розвивати свої екологічні виробництва, використовувати новітні технології та організовувати майже повну переробку пластикових відходів з виробництв та деталей, що відпрацьовали свій ресурс.

В процесі вторинної переробки застосовуються декілька способів подрібнення пластику, які представлені на рис. 1.

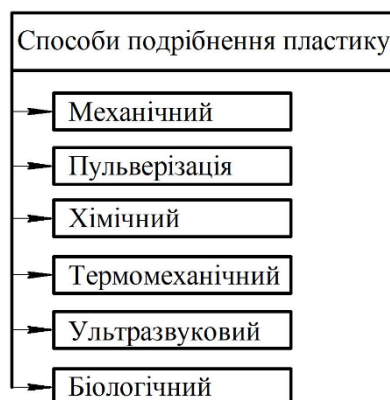


Рисунок 1 – Способи подрібнення пластику

Джерело: розроблено авторами

Кожен із зазначених методів має свої недоліки та переваги. Наприклад, хімічний метод вимагає застосування коштовних та небезпечних хімікатів, а використання спеціальних бактерій для біологічного розкладу пластику ще має суттєві обмеження по його номенклатурі. Тому кінцевий вибір переробки залежить від типу пластику, його кількості та економічних факторів. З розвитком технологій вторинної переробки та зростанням попиту на відновлений пластик, існуючі методи подрібнення весь час вдосконалюються. Серед розглянутих методів зупинимось на механічному подрібненні термопластичного пластику типу ABS, як такого, що має високу пружність і ударостійкість. ABS широко застосовується в різних сферах машинобудування та складає велику частину в відпрацьованих деталях. Також модифікації ABS пластику є чи не найрозповсюдженішими для 3D друку методом FDM. В існуючих технологіях вторинної переробки пластика широко використовують механічні пристрої, які подрібнюють його на окремі частини за допомогою комплексу обертальних ножів з декількома лезами [8]. Цей метод є ефективним для переробки великої кількості пластику. Для цього були розроблені пристрої типу дробарок або шредерів, які в своїй

робочий камері розрізають пластик на тонкі смужки або шматки. Сучасні пристрої типу шредерів є подальшим вдосконаленням ножових дробарок. Зазвичай вони мають від одного до трьох (більша кількість зустрічається дуже рідко) обертальних валів з комплектом ріжучих дискових лез, які разом з нерухожими ножами подрібнюють пластик. Шредери зазвичай використовуються для переробки пластикових виробів середніх та великих розмірів, наприклад таких як каністри з під хімічних речовин, корпуси різноманітних приладів та побутової техніки або пластикові деталі від механічних транспортних засобів. Основні види шредерів з обертальними валами зведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Основні види шредерів з обертальними валами

Тип шредера	Основні характеристики	Застосування	Переваги	Недоліки
З одинарним валом (Single Shaft Shredder)	Один вал з ножами, що обертається	Подрібнення великих об'ємів матеріалів: пластик, гумові вироби, текстиль	Простота конструкції, надійність	Повільна обробка матеріалу, можлива часткова засміченість валів
З двома валами (Double Shaft Shredder)	Два вали з ножами, що обертаються в протилежних напрямках	Подрібнення міцних синтетичних матеріалів, металу, деревини	Висока ефективність, можливість роботи з великими об'ємами матеріалу	Вищі витрати енергії, більший рівень шуму
З трьома валами (Triple Shaft Shredder)	Три вали для інтенсивнішого подрібнення	Обробка жорстких матеріалів та сплавів	Вища ефективність, менша ймовірність засмічення	Складніша конструкція, дорожчі витрати на обслуговування
Ударний шредер (Impact Shredder)	Використовує ударні робочі елементи з високою швидкістю обертання для подрібнення матеріалу	Легкі матеріали, текстиль, пластикові відходи.	Висока швидкість обробки, ефективність при обробці м'яких матеріалів	Шумність, можливість пошкодження м'яких матеріалів
Конусний шредер (Cone Shredder)	Має конусну форму робочих органів для подрібнення	Каміння, бетон, метал.	Висока ефективність при роботі з жорсткими матеріалами	Потребує високих витрат на обслуговування
Плоский шредер (Flatbed Shredder)	Ножі для подрібнення рухаються по плоскій поверхні	Більшість органічних відходів, пластик	Простота конструкції, доступна ціна	Обмежена потужність при обробці великих обсягів

Джерело: розроблено авторами

Відповідно до джерела [6], механічне подрібнення являє собою метод зменшення розмірів кусків матеріалів (в нашому випадку – пластикових відходів) для отримання частинок певного розміру, який потім поступає на переплавлення в гранули або готові вироби. Найбільший інтерес представляє перероблений пластик, розміри часток якого відносяться до середнього та дрібного класу подрібнення.

Саме частки такого розміру добре підходять для подальшого переплавлення в гранули або готові вироби. У випадку застосування шредера подрібнення оброблюваного пластика виконується шляхом комбінованого роздавлювання,

розколювання, розламування, різання та розривання його кусків під дією рухомих та нерухомих ножів пристрою.

Таблиця 2 - Класи подрібнення

Клас подрібнення	Розмір частин, мм	
	До подрібнення	Після подрібнення
Середнє	250	20
Дрібне	20	1...5

Джерело: [2,4]

До переваг механічного способу подрібнення можна віднести його здатність подрібнювати великі обсяги пластику, економічність, екологічність та універсальність. Це дозволяє значно розширити сферу застосування дробарок та шредерів. Однак, також слід відмітити й недоліки пристроїв для механічного подрібнення, а саме – необхідність регулярного обслуговування та переточування ріжучих елементів стаціонарних та рухомих ножів внаслідок їх підвищеного зносу. Якість подрібнення пластику напряму залежить від геометрії дискових ножів, а саме – кількості ріжучих зубців, кута різання, форми поверхні захоплення та товщини леза S (рис. 2). При певних умовах механічне подрібнення не забезпечує достатню однорідність та якість кінцевого продукту, що призводить до зменшення якості переробки та потребує додаткових операцій обробки [9].

Висока енергоємність процесу (особливо при обробці великих обсягів матеріалу), вимагає застосування механічних понижуючих редукторів та підключення до потужних джерел живлення. На рис. 3а представлено загальний вигляд типового шредера у вигляді 3D моделі, а на рис. 3б його робочу камеру з двома обертальними валами.

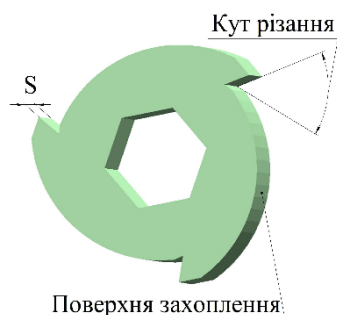


Рисунок 2 – Дисковий ніж

Джерело: розроблено авторами

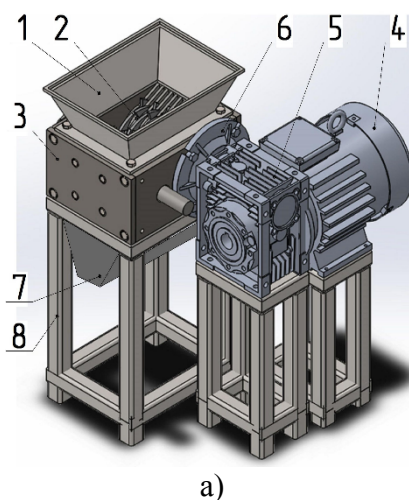
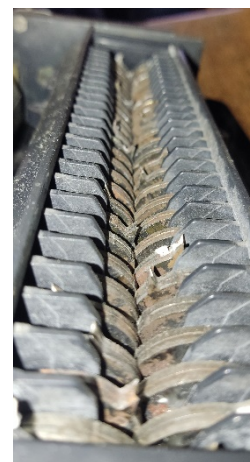


Рисунок 3 – а) 3D модель загального вигляду типового шредера; б) Робоча камера шредера з двома валами

Джерело: розроблено авторами



Його основними компонентами є завантажувальний бункер 1 для пластикових відходів та пара обертальних валів 2, на яких розташовані наборні пакети дискових різальних елементів (ножів) разом з дистанційними шайбами. Вали обертаються із заданою частотою на опорних підшипниках назустріч один одному, що дозволяє ефективно розрізати матеріал, якій потрапляє між ножами. Ножі можуть мати дві або більше різальних леза, робочі поверхні яких мають спеціальну геометрію для кращого подрібнення. Набор дискретних ножів зрізає вузькі смужки пластику від крупних

кусків, які після цього додатково розрізаються іншим ножом. При цьому, внаслідок одночасної дії на подрібнюваний пластик декількох різальних крайок ножів забезпечується зниження вібрацій, ударів та поштовхів під час роботи шредера. Подрібнення пластику здійснюється безперервним відокремленням від нього дрібних шматочків. Торцеві стінки корпусу шредера 3 призначені для розміщення підшипникових опор для ріжучих валів, а також на ньому закріплюються блоки нерухомих ножів. Знизу корпус має отвори для проходження подрібненого матеріалу. Система приводу складається з двигуна 4, який через понижуючий редуктор 5 та запобіжну муфту 6 забезпечує обертання ножових валів з заданою частотою. Найчастіше в шредерах використовуються електричні трьохфазні двигуни змінного струму з системою регулювання обертів. Вихідний бункер 7 збирає подрібнений матеріал після обробки, сепарує його через сита та може бути оснащений механізмом для транспортування матеріалу на наступний етап переробки. Системи безпеки включають в себе захисні кожухи, системи аварійної зупинки та датчики для контролю роботи обладнання. Всі складові частини шредера монтуються на жорсткій рамі 8.

Огляд існуючих технологій та конструкцій шредерів для механічного подрібнення технічного пластику типу ABS свідчить про те, що такий спосіб є ефективним й високопродуктивним, та може бути вдосконалений за рахунок використання змінних обертальних ножів з покращеною геометрією різальних елементів та оптимізованих режимів різання.

Постановка завдання. На основі аналізу сучасного стану існуючих методів подрібнення пластику, а саме – технології вторинної переробки відходів пластику шляхом його механічного подрібнення та подальшої переплавлення в гранули або готові вироби запропонувати заходи щодо підвищення ефективності існуючого технологічного процесу;

- виконати тривимірне проектування обертальних валів в зборі з ножами для механічного подрібнювача відходів із пластика марки ABS та проаналізувати різні варіанти їх виконання;
- запропонувати шляхи вдосконалення конструкції робочої камери шредера;
- навести схему основних етапів розробки конструкції шредера зі змінними ножами.

Виклад основного матеріалу. Однією із умов якісної та максимально продуктивної роботи шредера є забезпечення сталого та рівномірного завантаження кусків перероблюваного пластику в робочу камеру до ножів шредера. Необхідно, щоб пластик не застрягав або надмірно заповнював зону різання, що може призвести до неефективної роботи вхолосту або поломки обладнання внаслідок його перевантаження. Якщо шредер має вертикальну або нахилену камеру завантаження, можна використовувати силу тяжіння для самостійного спрямування матеріалу до ножів. Це добре працює, коли перероблюваний пластик має відносно рівну форму і достатньо важкий, щоб самостійно, не зупиняючись, переміщатися вниз. Такий спосіб найбільш простий і енергоефективний, оскільки не потребує додаткових механічних систем, однак він підходить тільки для частинок пластику, які мають певну правильну форму та вагу. Легкі пластикові елементи довільної форми можуть падати не рівномірно або застрягати внаслідок скупчування в камері завантаження.

З метою уникнення цього явища в сучасних шредерах передбачено використання механічних пристроїв для примусового ворошіння у вигляді лопатей (рис. 4), обертових валків або барабанів, які періодично занурюються у скупчення пластику та направляють його вниз до обертальних дискових ножів. Перевагами такого підходу є забезпечення постійного та рівномірного надходження кусків пластика до

робочої зони шредера, особливо для легких відходів складної форми, які не можуть самостійно рухатися вниз під дією сили тяжіння. До недоліків слід віднести додаткову складність механізму шредера та підвищення енергоємності процесу подрібнення. Також збільшується зношування робочих органів шредера.

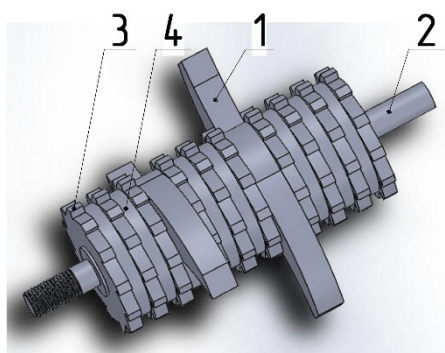


Рисунок 4 – Пристрій для ворущіння: 1 – Лопать для ворущіння; 2 – Обертальний вал;
3 – Різальний ніж; 4 – Дистанційна шайба

Джерело: розроблено авторами

Притискні ролики або лінійні механізми застосовуються для подачі кусків пластику до ножів, забезпечуючи оптимальний тиск і рівномірність подачі. Їхньою перевагою є стабільна і контрольована подача матеріалу до обертальних ножів, що запобігає перегріву шредера або надмірному навантаженню на один із різальних елементів. Недоліком є потреба в додаткових механізмах та підвищеному енергоспоживанні. Також можуть виникнути проблеми з надмірним тиском на оброблюваний матеріал, що може призвести до його скупчення у бункері.

Найбільш раціональним є комбіноване застосування обох підходів, де для первинного подавання матеріалу до шредера використовують силу тяжіння, а потім в роботу вступають ворущилки або притискні механізми для забезпечення рівномірного подавання пластику до обертальних ножів. Це дозволяє скористатися перевагами кожного з методів без значних недоліків. На основі вищенаведеного можна зробити висновок, що для сталого завантаження пластику типу ABS в шредерах малої потужності найкраще використовувати комбінацію сили тяжіння разом з ворущилками або змішувачами і притискними механізмами. Це дозволить забезпечити рівномірний і стабільний потік матеріалу, що сприятиме ефективності роботи шредера і зменшить ймовірність проблем із завантаженням.

Дискові леза для механічних шредерів виготовляються з металевих сплавів, які повинні забезпечувати високу твердість, стійкість до зношування та міцність в умовах тривалого використання. В якості матеріалів для виготовлення ножів застосовують [10] такі вітчизняні марки сталей, як леговану інструментальну сталь марки 9XC, вуглецеву сталь У10А, високолеговану сталь для виготовлення ріжучих інструментів Р6М5 та леговану вуглецеву сталь 65Г. Серед імпорتنих матеріалів за стандартами ISO найчастіше використовують інструментальні сталі класу HSS (High-Speed Steel) марок М2 або М42, хромисту сталь AISI 52100 або нержавіючі сталі типу AISI 420/AISI 440С. В окремих випадках робочі частини ножів можуть бути виготовлені із високоякісних твердих сплавів на основі карбіду вольфраму, особливо якщо необхідна робота з дуже жорсткими та абразивними матеріалами. Однак інструмент з твердих сплавів коштує дорого, він складний у виготовленні та переточуванні й використовується, як правило, в умовах, де є надзвичайно високі вимоги до його зносостійкості.

Існує декілька способів кріплення дискових ножів на обертальних валах шредера. Серед них найбільш технологічним вважається спосіб, коли робоча частина

обертального валу та середній отвір дискового ножа мають однакову форму, наприклад лиску, паз під шпонку, квадрат, гранений отвір тощо (рис. 5).

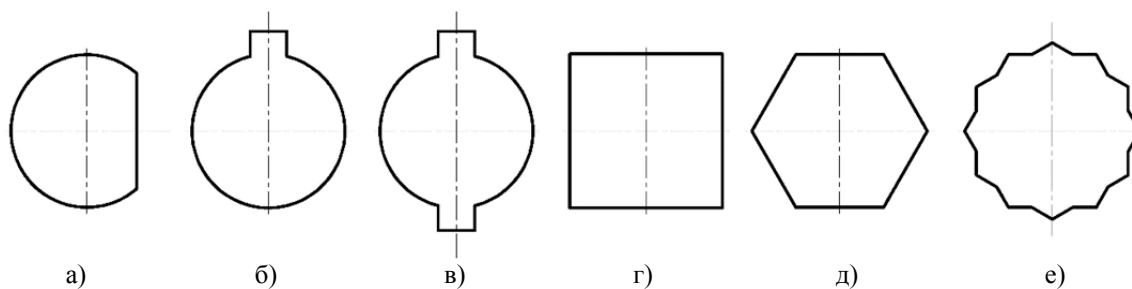


Рисунок 5 – Форми центральних отворів ножів: а) Лиска; б) Шпонка; в) Подвійна шпонка; г) Квадрат; д) Шестигранник; е) Подвійний шестигранник

Джерело: розроблено авторами

Змінні різальні ножі з багатограними центральними отворами для шредерів (рис. 6) є перспективним напрямком конструкторських рішень, вони мають як переваги, так й певні недоліки, які слід враховувати при їх застосуванні. До переваг змінних різальних ножів з багатограними отворами можна віднести легкість заміни та обслуговування, зручність у ремонті та рівномірний знос, зменшення витрат на заміну ножів, гнучкість конструкції та зниження шуму і вібрацій.

До недоліків змінних різальних ножів з багатограними отворами слід віднести потребу в точному монтажі, більшу складність та вартість виготовлення, знос граней отворів в умовах високих навантажень або при роботі з жорсткими матеріалами [11]. Неправильне розташування або закріплення ножів може призвести до неефективної роботи шредера, нерівномірного зношування або навіть пошкодження механізмів. Це вимагає додаткової уваги до процесу монтажу дискових ножів та їх регулювання.



Рисунок 6 – Варіанти виконання різальних дискових ножів з шестигранним центральним отвором та різною кількістю різальних зубців

Джерело: розроблено авторами

Під час роботи обертальні вали сприймають високі навантаження на згин та скручування, тому їх виготовляють із матеріалів [10] типу сталь 45, 40Х, 40ХФ та 9ХС або їх імпорتنих аналогів С45, С40Н, С40НФ, С9С у вигляді круглого, квадратного або шестигранного прокату. Самі ножі виготовляються із круглого або листового прокату методом механічної обробки різанням (операції точіння та фрезерування), а також протягування або дорнування центрального отвору, потім піддаються термічній обробці гартуванням, заточуються та балансуються (за потреби).

Під час монтажу дискових ножів на обертальні вали робочі зазори між ними виставляються за допомогою дистанційних та регулювальних шайб. Осьовий зазор між валом і дисковими ножами для шредера є важливим параметром, оскільки він

безпосередньо впливає на ефективність подрібнення, зносостійкість ножів та загальну продуктивність шредера. Потрібно правильно налаштувати цей зазор, щоб забезпечити ефективне різання та довговічність ножів. Для звичайних пластиків мінімальний зазор може бути близько 0,1–0,5 мм. Це дає достатньо простору для ефективного різання, при цьому зберігаючи точність роботи ножів. За відсутності точного регулювання або в разі забруднення механізмів шредера зазор може збільшуватися, що призведе до зменшення ефективності різання та швидшого зносу ножів.

На основі наведеної інформації запропонована схема, де зображено основні етапи проектування шредера зі змінним ножами (рис. 7).

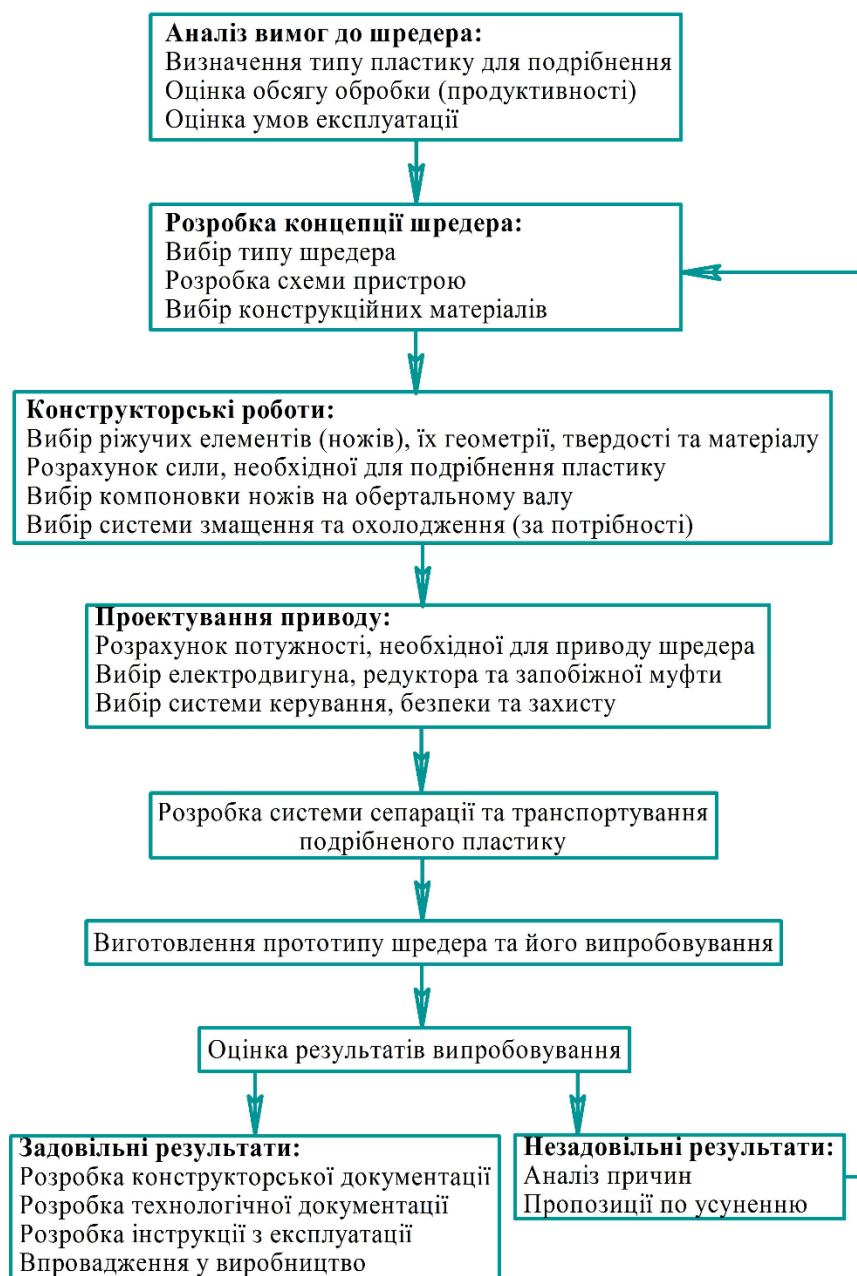


Рисунок 7 – Основні етапи проектування модульного шредера

Джерело: розроблено авторами

Висновки. 1) Сучасні шредери відрізняються великою різноманітністю конструкторських рішень та видами перероблюваних матеріалів. Одним із перспективних напрямків подальшого розвитку механічних шредерів є використання

конструкцій зі змінними ножами, що дозволяє на основі готових конструкторських рішень запропонувати споживачу найбільш оптимальну конфігурацію обладнання за видом перероблюваного матеріалу, продуктивності, а також типу робочих дискових ножів. Саме від геометрії різальних крайок, їхньої кількості та способу взаємного розташування ножів на обертальних валах залежить якість подрібнення та розміри отриманих часток пластику.

2) Використання шредерів зі змінними ножами покращує швидке переналагоджування та налаштування робочих вузлів, що дозволить за потреби оперативно перейти на інший вид пластику, а також варіювати розміри подрібнених частинок після переробки вторинної сировини. Враховуючи важливість збереження навколишнього середовища, подальше вдосконалення конструкцій шредерів для механічного подрібнення відпрацьованого пластику та відходів 3D-друку є перспективним та актуальним напрямком.

3) На основі проведених досліджень запропоновано схему, на якій зображено основні етапи проектування шредера зі змінним ножами.

Список літератури

1. Інтерньюз-Україна. Система законодавства ЄС у сфері охорони довкілля, її основні відмінності від екологічного законодавства України: Веб-сайт. URL: <https://internews.ua/storage/app/media/rang/Materials/2024/EU/EUEcology1.pdf>
2. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» спеціальності 131 «Прикладна механіка» та «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / І. О. Мікульонюк. 2-ге вид., переробл. та доповн.; – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с.
3. Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту: навч. посіб. / Бойченко С. В та ін. (за ред. проф. С. В. Бойченка). – Київ: НАУ, 2019. 266 с.
4. ПЛАСТ-ЛОМ. Переробка відходів пластику: веб-сайт. URL: <https://plast-lom.com.ua/pererobka-vidhodiv-plastiku/> (дата звернення: 10.03.2025)
5. Михайлова Є. О., Дейнека Д. М., Панчева Г. М. Аналіз методів перероблення пластикових відходів. Вісник НТУ«ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 80–89. DOI:10.20998/2413-4295.2021.01.12.
6. Paweł Ciężkowski; Sebastian Bak; Jacek Caban; Jarosław Seńko; Mateusz Adam Waśkowicz. Preliminary Research to Assess the Possibility of Grinding Selected Plastics Using Crushers. *Polymers* 2024, 16, 3104. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16223104>
7. Adriyan; Sufiyanto; Marfizar-St Mt. Investigasi tegangan kerja pada pisau pencacah di mesin shredder-extruder dalam satu penggerak utama menggunakan Metode Elemen Hingga. *TURBO Vol. 12 No. 1. 2023 Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*. DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v12i1.2269>
8. J. H. Wong; M. J. H. Gan; B. L. Chua; M. Gakim; N. J. Siambun. Shredder machine for plastic recycling: A review paper. *Material and Energy Engineering for Sustainable Advancement (MEESA 2021)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1217 (2022) 012007. DOI:10.1088/1757-899X/1217/1/012007
9. Sabiha Sarwar; Molla Rahman Shaibur; Fariha Farzana; Masum Howlader. Conversion of PP-type plastic caps to plastic rope and the instruments involved: A case report. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100882>
10. Вибір матеріалів для лез промислових подрібнювачів: Веб-сайт. URL: <https://maxtormetal.com/choose-industrial-shredder-blade-material-extend-lifespan-maintenance-tips-tungsten-carbide-tool-steel-carbon-stainless/> (дата звернення 31.10.2024)
11. Всебічний аналіз подрібнювачів з двома валами: Веб-сайт. URL: <https://maxtormetal.com/dual-shaft-shredders-blades-teeth-knife/> (дата звернення 31.10.2024)

References

1. Internews Ukraine. (2025, March 10) [internews.ua] The EU Environmental Legislation System, its Main Differences from Ukraine's Environmental Legislation: website. <https://internews.ua/storage/app/media/rang/Materials/2024/EU/EUEcology1.pdf> [in Ukrainian]
2. Technological Foundations of Polymer Material Recycling [Electronic Resource]: A textbook for Bachelor's degree students in the educational programs 'Packaging Engineering and Packaging Equipment' of specialty 131 'Applied Mechanics' and 'Engineering Equipment for the Production of Polymer and Building Materials and Products' of specialty 133 'Industrial Engineering' / I. Mikulionok. 2nd ed., revised and expanded; – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. 292 pages. [in Ukrainian]
3. Ecologistics, Recycling, and Waste Management in Transportation: A textbook / S. Boychenko et al. (edited by Prof. S. Boychenko). – Kyiv: National Aviation University, 2019. 266 pages. [in Ukrainian]
4. ПЛІАКТ-ІОМ. (2025, March 10). Plastic Waste Recycling [Plast-lom.com.ua]. Recycling of plastic waste: website. <https://plast-lom.com.ua/pererobka-vidhodiv-plastiku/> [in Ukrainian]
5. Mykhailova E., Deineka D., Pancheva H. Analysis of plastic waste recycling methods. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 1 (7), pp. 80–89. DOI:10.20998/2413-4295.2021.01.12 [in Ukrainian]
6. Ciężkowski, P., Bak, S., Caban, J., Senko, J., & Waśkowicz, M. A. (2024). Preliminary Research to Assess the Possibility of Grinding Selected Plastics Using Crushers. *Polymers*, 16. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16223104>
7. Adriyan; Sufiyanto; Marfizal-St Mt. (2023). Investigasi tegangan kerja pada pisau pencacah di mesin shredder-extruder dalam satu penggerak utama menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro TURBO Vol.12 No.1*. DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v12i1.2269>
8. J. H. Wong; M. J. H Gan; B. L. Chua; M. Gakim; N. J. Siambun. (2022). Shredder machine for plastic recycling: A review paper. *Material and Energy Engineering for Sustainable Advancement (MEESA 2021)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1217 012007. DOI:10.1088/1757-899X/1217/1/012007
9. S. Sarwar; M. Rahman Shaibur; F. Farzana; M. Howlader. (2024). Conversion of PP-type plastic caps to plastic rope and the instruments involved: Case Studies in Chemical and Environmental Engineering 100882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100882>
10. MAXTORMETAL. (2025, March 10). Selection of Materials for the Blades of Industrial Shredders [maxtormetal.com] : website. URL: <https://maxtormetal.com/choose-industrial-shredder-blade-material-extend-lifespan-maintenance-tips-tungsten-carbide-tool-steel-carbon-stainless/>
11. MAXTORMETAL. (2025, March 10). Comprehensive Analysis of Double-Shaft Shredders: website. URL: <https://maxtormetal.com/dual-shaft-shredders-blades-teeth-knife/>

Pavlo Yeromin, PhD tech. sci, **Andrii Kyrychenko**, Prof., DSc., **Andrii Hrechka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci, **Anton Aparakin**, PhD tech. sci, **Evgen Nishchemenko**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Current Status and Development Prospects of Devices for Mechanical Crushing of 3D Printing Plastic Waste During its Recycling

The article discusses existing methods of shredding plastic waste, including mechanical shredding using shredders with disk blades. Three-dimensional design of rotating shafts assembled with knives for a mechanical shredder of ABS plastic waste is performed and various options for their implementation are analyzed. Ways of improving the design of the shredder's working chamber are proposed.

One of the promising areas for further development of mechanical shredders is the use of designs with replaceable knives, which allows, based on ready-made design solutions, to offer the consumer the most optimal equipment configuration in terms of the type of processed material, productivity, and type of working disk knives.

The advantages and disadvantages of replaceable cutting knives with different shapes of the central hole are considered.

Based on the research conducted, a diagram was proposed that depicts the main stages of designing a shredder with replaceable knives.

secondary recycling, plastic, mechanical grinding, shredder, knife geometry, 3D printing

Одержано (Received) 24.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 16.04.2025

Прийнято до друку (Approved) 22.04.2025