

Ю. Я. Мельник, І.-М. А. Іленков, М. В. Бойко, В. Й. Скорохода  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної технології переробки пластмас  
Yuriy. Ya. Melnyk@lpnu. ua

## РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПЛАСТМАС І ОДЕРЖАННЯ ПОРОШКІВ

<https://doi.org/10.23939/ctas2019.01.115>

Запропоновано принципово нову конструкцію та виготовлено експериментальний зразок комплексної установки для подрібнення та фракціонування різних матеріалів пластмасового виробництва, а також різноманітних додатків, які використовуються під час виготовлення композиційних матеріалів. Установка призначена для одержання з сировини розміром 5–15 мм порошків дисперсністю 0,05–0,1 мм. Розроблена і виготовлена установка складається з ударної роторної дробарки, вихрового шестиполюсного електромагнітного сепаратора та класифікаторів двох типів.

**Ключові слова:** пластмаса, дробарка, сепаратор, багатофункціональна установка, подрібнений матеріал, порошок.

Yu. Ya. Melnyk, I.-M. A. Ilenkov, M. V. Boiko, V. Y. Skorokhoda  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical Technology of Plastics

## DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF MULTIPURPOSE EQUIPMENT FOR CRUSHING PLASTICS AND OBTAINING POWDERS

A substantially new design and made an experimental sample of complex equipment for crushing and fractionation of various materials of plastic production, as well as various additives used in the manufacturing of composite materials were proposed. This equipment is intended for obtaining powders of 0.05–0.1 mm dispersity from the raw materials in the size of 5–15 mm. The developed and made equipment consists of the shock rotary crusher, rotative six-polar electromagnetic separator and two types of classifiers.

**Key words:** plastic, crusher, separator, multifunctional equipment, crushed material, powder.

### Вступ

Актуальним завданням у сучасних технологіях полімерних і композиційних матеріалів є одержання різної дисперсності компонентів композитів, зокрема наповнювачів, а також подрібнення відходів пластмас для їхньої вторинної переробки.

Для отримання тонкодисперсних та порошкоподібних матеріалів велике значення мають процеси та апарати, які використовуються у хімічній технології, з врахуванням впливу розмірних чинників на фізичні і хімічні властивості матеріалів [1].

У процесах подрібнення твердих тіл для різних матеріалів використовують різноманітне

обладнання. У технологіях переробки пластмас матеріали, які піддаються подрібненню, можна розділити на дві основні групи:

1) полімерні матеріали – для використання у технологічних процесах (нанесення покриттів, напилення та ін.) або для їхнього повторного використання (подрібнення відходів);

2) компоненти композиційних матеріалів (наповнювачі, тверді реагенти, пігменти та ін.).

За фізичними властивостями пластмаси, які піддаються подрібненню, охоплюють область від крихких до високоеластичних. Вибираючи метод подрібнення, необхідно керуватися величиною руйнівного напруження під час стискання. За цим показником усі

матеріали, які подрібнюються, поділяються на три класи: з низькою (до 10 МПа), середньою (від 10 до 50 МПа) і високою (понад 50 МПа) механічною міцністю [2].

Залежно від розмірів частинок сировини та готового продукту процеси подрібнення поділяються на п'ять груп (таблиця) [2].

#### Групи процесів подрібнення матеріалів

Подрібнення	Розміри частинок (кусків), мм	
	Вихідні	Кінцеві
Крупне	150–1500	25–250
Середнє	25–160	5–20
Дрібне	5–25	1–5
Тонке	1–5	0,05–1
Колоїдне	0,1–0,2	10 <sup>-4</sup>

Під час перероблення пластмас зустрічаються всі перелічені групи. Крупне подрібнення, зазвичай, пов'язане з подрібненням габаритних пластмасових виробів, колоїдне – з отриманням порошкоподібних полімерів, а також з підготовкою пігментів і барвників.

Залежно від матеріалу, який необхідно подрібнити, потрібний або певний тип, наприклад, дробарка для поролону, або цілий комплект подрібнюючих механізмів всередині універсальної дробарки. Полімерну плівку легко різати, але не можна подрібнити ударами, корпусні деталі з АБС-пластику, навпаки, можна подрібнити, але не вдасться розрізати. На вибір подрібнювача значно впливають густина, товщина і геометричні розміри сировини.

Різноманітність форм, розмірів і специфічних властивостей пластмас, які направляються на подрібнення (плівки, контейнери, пляшки та ін.), зумовлюють вимоги до дробарок. Подрібнення майже виключно здійснюється механічним способом на ріжучих, ударних і пресових машинах [3]. Властивості пластмас, які підлягають переробці, диктують вимоги до подрібнювального обладнання. Вирішальними чинниками у досягненні необхідного розміру частинок є твердість, чутливість до тепла і еластичність.

Нині для подрібнення пластмас найчастіше використовують ударно-роторні дробарки [2, 4]. Прототипом розробленої і виготовленої нами установки є дробарка, запропонована Бауманом [5], яка вибрана із

цілого ряду подібних апаратів кулькового і ударно-ножового подрібнення.

#### Аналіз існуючих методів і обладнання для подрібнення пластмас

Для вибору оптимального варіанта конструкції проведений аналіз відцентрових дробарок, які використовуються у сучасних технологічних процесах. Принцип їхнього подрібнення базується на дії відцентрової сили з використанням ріжучого інструменту.

Відомий спосіб подрібнення пластичних матеріалів запропонований Бауманом [5] і удосконалений у патенті [6], коли подрібнення здійснюється за допомогою валкового млина, який оснащений класифікатором. У камері, яка міститься у верхній частині подрібнювача, виділяються різні фракції порошку. Газ із виділеною фракцією надходить у циклонний сепаратор. Частина газу через рукавний фільтр викидається в атмосферу, а інша частина повертається у циркуляційний канал млина.

Пропонуємо комплексно-послідовний метод подрібнення різних матеріалів за розмірами і формою, зокрема пластмас, будівельних матеріалів, сільськогосподарської продукції та ін. На першій стадії пропонується метод механічного (молоткового) подрібнення в газово-повітряному середовищі за допомогою ротора ударної дії. На поверхні ротора закріплюється ріжучий інструмент (ножі), а на внутрішній поверхні корпусу дробарки спеціальні твердосплавні пластини (нерухомі ножі) на яких виконані канавки різного профілю та глибини. Подрібнення сировини відбувається у щілині між рухомими і нерухомими ножами. На другій стадії процесу у вихровому електромагнітному апараті відбувається подрібнення та розділення порошоків. На завершальній стадії відбувається сепарація та класифікація порошоків за фракціями під дією відцентрової сили на щілиноподібній просіюючій поверхні, утвореній двома тілами обертання, які встановлені так, що між сусідніми горизонтальними площинами утворюється регулюючий кільцевий зазор. Особливість такого класифікатора полягає в тому, що ротор виконаний у вигляді диска і конуса. Диск жорстко закріплюється на ступиці валу двигуна, а конус разом зі ступицею кріпиться рухомою посадкою на валу двигуна. У ступиці передбачені вікна для

подачі порошку. Механізм регулювання дисперсності виконаний у вигляді мікрогвинтів, кінематично пов'язаних через натискну шайбу із ступицею конуса, між нею і диском встановлена пружина.

### Визначення параметрів вузлів і опис роботи комплексної установки

Запропонована конструкція дробарки, багатofункціонального призначення, може бути використана для подрібнення пластмас і відходів полімерних матеріалів до різної дисперсності з метою подальшого використання їх при створенні полімерних композиційних матеріалів.

Для здійснення цього послідовно-комплексного процесу запропонована конструкція і виготовлена установка, яка складається з роторної молоткової дробарки у газоповітряному середовищі з деякими новими матеріалами ріжучого інструмента і принципу регулювання робочого зазору. За базову конструкцію для розрахунку була вибрана роторна дробарка ударної дії, розрахункова схема якої показана на рис. 1. У цій конструкції продуктивність залежить від швидкості подачі сировини, частоти обертання ротора і кількості ножів. У міру збільшення кількості продукту в засипному лотку все більша кількість його затримується у просторі між рухомими ножами (билами), в процесі подрібнення утворюється шар матеріалу з густиною, близькою до об'ємної маси сировини. Цей матеріал під дією сили тяжіння переноситься в зону дії рухомих ножів на товщину  $h$ , забирається ними і подрібнюється.

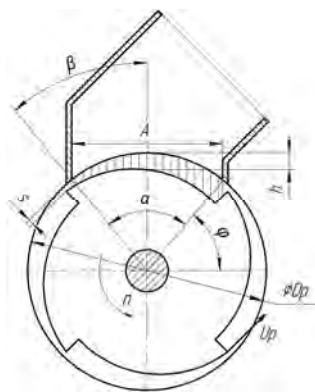


Рис. 1. Розрахункова схема ударної роторної дробарки

У запропонованій конструкції дробарки є три робочі ножі, кожен з них виносить із зони порцію матеріалу об'ємом  $V$  (м<sup>3</sup>):

$$V = A \cdot B \cdot h, \quad (1)$$

де  $A$  – горизонтальна проекція робочої дуги ротора, м;  $B$  – довжина ротора, м;  $h$  – товщина шару матеріалу, м.

Максимальна продуктивність дробарки  $Q_{\max}$  (м<sup>3</sup>/с) визначається за рівнянням [5]:

$$Q_{\max} = V \cdot n \cdot z \cdot k_n, \quad (2)$$

де  $V$  – об'єм матеріалу, яку забирає один ніж (робочий об'єм), м<sup>3</sup>;  $n$  – число обертів ротора за секунду, об./с;  $z$  – кількість ножів;  $k_n$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від міцності матеріалу сировини, дисперсності подрібнення в робочому об'ємі, ширини вихідного патрубка, щілини на вході дробарки, положення нерухомої плити, форми і розміру дна.

Формулу (2) можна переписати із врахуванням вказаних вище чинників, а саме:

$$Q_{\max} = \left( \frac{Q_h \cdot B \cdot d_p^2}{v^m \cdot z \cdot g} \right) \cdot k_n, \quad (3)$$

де:  $Q_h$  – продуктивність при  $v=1$ ,  $\delta_p$  – кінетична енергія руйнування,  $\delta_p=1$ ,  $z=1$ ,  $B=1$  (наприклад, дробарка моделі СМ624) має рекомендовану мінімальну продуктивність  $Q_h=1500$  м<sup>3</sup>/год;  $g$  – прискорення падіння, м/мс<sup>2</sup>;  $B$  – довжина ротора, представлена у формулі (3) як безрозмірна величина співвідношення довжини до діаметра.

Для розрахунку енергії руйнування різних за характеристиками матеріалів сировини, силу руйнування визначають за величиною імпульсу за формулою

$$I = \int P \cdot dt, \quad (4)$$

де  $t$  – час удару, с;  $P$  – зусилля руйнування, Н.

Якщо, позначити швидкість перед ударом  $v_1$  і  $v_2$ , а маси тіл  $m_1$  і  $m_2$ , швидкість тіла в момент найбільшої взаємодії зусилля  $P$  через  $v_i$ , швидкість у кінці удару  $v_{1i}$  і  $v_{2i}$  отримаємо за законом кількості руху:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v, \quad \text{при } v_1 = v_2 = v, \quad (5)$$

величина імпульсу в перший період удару:

$$I_1 = m_1 (v_1 - v) = m_2 (v - v_2), \quad (6)$$

і величина імпульсу в другий період удару:

$$I_2 = m_1 (v - v_1) = m_2 (v_2 - v), \quad (7)$$

Повний імпульс ( $I$ ) за час удару дорівнює:

$$I = \frac{m_1 \cdot m_2 (v_1 - v)(1 - k_y)}{(m_1 + m_2)}, \quad (8)$$

де  $k_y = I_1/I_2$  – коефіцієнт удару, який залежить від властивостей матеріалу сировини,  $k_y = 0$  – для крихких,  $k_y = 1$  – для пружних матеріалів.

Затрачену при ударі кінематичну енергію, що дорівнює величині удару, визначаємо за формулою:

$$T_1 - T_2 = \frac{m_1 \cdot m_2 (v_1 - v_2)^2 (1 - k_y^2)}{2(m_1 + m_2)}, \quad (9)$$

Втрачена тілом била кінетична енергія витрачається на руйнування куска матеріалу сировини при роботі руйнування (А):

$$A = \frac{v_2 \cdot V}{2E}, \quad (10)$$

Швидкість початку руйнування буде визначатися за умови, що кінетична енергія удару буде більшою за енергію, затрачену на подрібнення матеріалу, а саме

$$\left( \frac{G \cdot v_p^2}{2g} \right) \cdot (1 - e^2) \geq \frac{d^2 \cdot V}{2E}, \quad (11)$$

де  $G$  – сила тяжіння, Н;  $g$  – прискорення тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $v_p$  – швидкість руйнування, м/с;  $V$  – об'єм частинки, м<sup>3</sup>;  $e$  – коефіцієнт відновлення.

Тоді

$$v_p < d, \quad (12)$$

для руйнування кусків матеріалу розміром  $S = 5$  мм при  $d = 2,5 \cdot 10^8$ ;  $E = 6,9 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;  $e = 0,5$ .

$$G = \frac{V}{r}, \quad (13)$$

де  $r$  – об'ємна маса матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

Враховуючи залежності, представлені у формулах (10), (11) і (12), відповідно до вказаних вище коефіцієнтів отримаємо при подрібненні, наприклад, пластмас товщиною  $S = 5$  мм швидкість їх руйнування  $v_p = 50$  м/с.

На основі проведених розрахунків вибираємо електродвигун змінного струму 4А132М2У3 потужністю 3,5 кВт,  $n = 3000$  об./хв.

Конструктивні параметри запропонованої нами дробарки для подрібнення пластмас (рис. 2) такі: діаметр ротора  $d = 0,1$  м; кількість ударних ножів (бит)  $z = 3$ ; довжина ножів (бит)  $L = 0,23$  м, довжина ротора  $B = 0,25$  м. Конструкція дробарки дає змогу регулювати зазор між робочими ножами в діапазоні 0,3–1,5 мм.

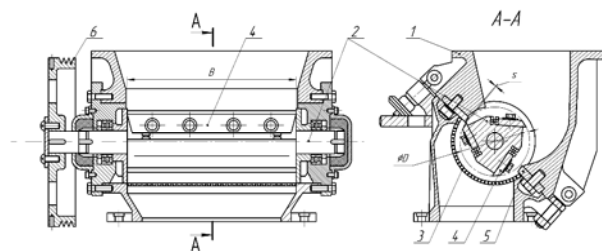


Рис. 2. Схема дробарки для подрібнення пластмас: 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – ситко; 4 – ніж ротора; 5 – нерухомий ніж; 6 – шків

Загальний вигляд комплексної установки для подрібнення, сепарації і класифікації пластмас наведено на рис. 3. Подрібнений матеріал із дробарки 1 подається гнучкими шлангами 7 у вихровий електромагнітний сепаратор 3 для домелювання. Із вихрового електромагнітного сепаратора 3 він переміщається у класифікатор 4, а із нього в сепаратор 5 розділення порошок тонкої фракції. Усі вузли комплексної установки з'єднані між собою патрубками з кранами.

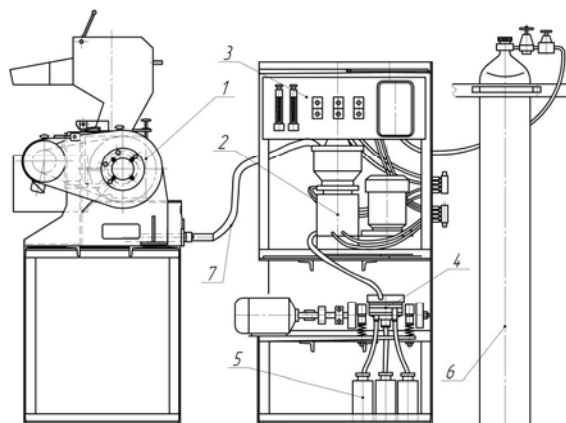


Рис. 3. Загальний вигляд комплексної установки для подрібнення та сепарації пластмас: 1 – дробарка; 2 – електромагнітний сепаратор; 3 – пульт керування; 4 – сепаратор-класифікатор; 5 – сепаратор порошок тонкої фракції; 6 – газоповітряний балон; 7 – гнучкі магістралі

Представлений на рис. 4 вихровий електромагнітний сепаратор призначений для очищення сировини від дрібних частинок металу. Принцип його роботи такий: будь-який метал, потрапляючи із сировиною під дію магнітного поля, притягується. Відповідно всередині магнітного сепаратора подрібнена сировина розділяється на дві фракції: очищений продукт готовий для подальшого виробництва, а фракція з підвищеним вмістом металу відсівається.

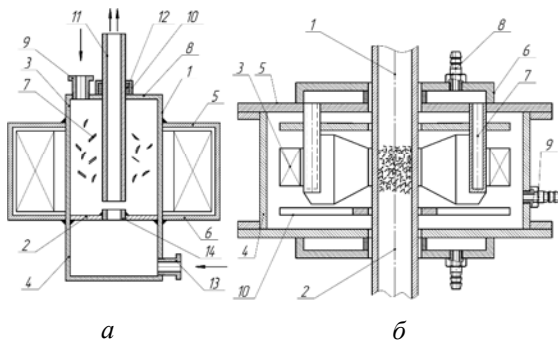


Рис. 4. Вихровий електромагнітний сепаратор:  
 а – принципова схема: 1–4, 8 – деталі корпусу;  
 5, 6 – деталі корпусу електромагнітів;  
 7 – подрібнений матеріал; 9 і 11 – вхідний  
 і вихідний патрубки; 10 – корпус ущільнення;  
 12 – ущільнення; 13 – патрубок; 14 – центральний  
 патрубок; б – загальний вигляд: 1 і 2 – вхідний  
 і вихідний патрубки; 3 – електромагніт;  
 4, 5 – деталі корпусу; 6 – камера; 7 – фіксуючі  
 стержні; 8 і 9 – вхідний і вихідний штуцери

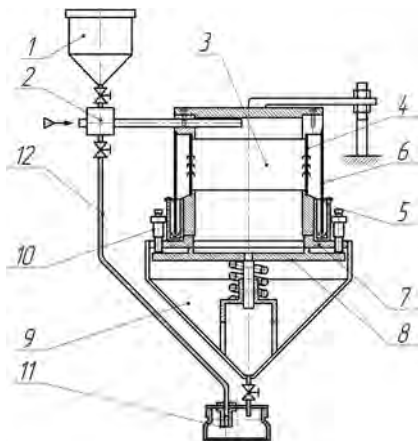


Рис. 5. Сепаратор-класифікатор  
 фракцій: 1 – бункер; 2 – ежектор; 3 – камера;  
 4 – фільтр; 5 – гідравлічний затвор; 6 – кожух;  
 7, 8 – диски; 9 – корпус; 10 – мікрогвинт;  
 11 – ємність; 12 – трубка

Для розділення подрібненого матеріалу за розмірами (фракціювання) використовуються сепаратори (рис. 5 і рис. 6), конструкція яких розроблена на основі патенту [6]. Матеріал із бункера 1 (рис. 5) завантажувальними транспортними магістралями під дією повітря надходить в барабан 3 і потрапляє на диски 7 і 8, які обертаються, і під дією відцентрової сили вихором скидається з нього. Відбувається перший відбір крупних частинок, які випадають

вниз або, долітаючи до стінки, сповзають нею в розвантажувальний бункер 9.

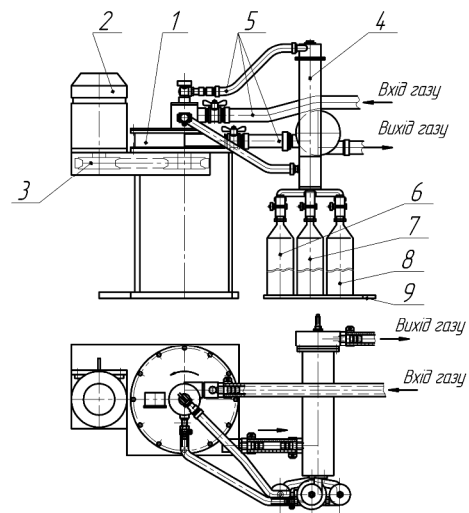


Рис. 6. Сепаратор порошків тонкої фракції:  
 1 – робоча камера; 2 – електродвигун; 3 – пасова  
 передача; 4 – циклон; 5 – гнучкі магістралі;  
 6–8 – ємності; 9 – платформа

## Висновки

Запропонована конструкція комплексної установки для подрібнення, сепарації і фракціонування пластмас враховує особливості роторних дробарок у процесах вторинної переробки і забезпечує отримання порошків розмірами 0,05–0,1 мм за рахунок поєднання процесів подрібнення, помелу, сепарації та фракціонування за розмірами. Об'єднання роботи двох типів сепараторів дозволяє отримати тонкі фракції порошку подрібненого матеріалу.

Розроблена комплексно-послідовна установка є багатофункціональною і може бути використана під час виготовлення компонентів композиційних матеріалів, порошків різної природи і дисперсності, а також вторинної переробки пластмас.

## Література

1. Винников, В. П., Генералов, М. Б. (2016). *Методы получения нанодисперсных порошков*. Санкт-Петербург: Профессия.
2. Ревяко, М. М., Касперович, О. М., Петрушеня, А. Ф. (2017). *Оборудование и основы*

*проектирования предприятий по переработке пластмасс.* Минск: БГТУ.

3. Ла Мантия, Ф. (2006) *Вторичная переработка пластмасс.* Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. Г. Е. Заиков (Ред.). – Санкт-Петербург: Профессия.

4. Melnyk Y., Penkov I.-M., Skorokhoda T., Boyko M. *Disposer for splintering and segregation of materials in chemical and agricultural production // Хімічна технологія та інженерія: зб. тез доп.*

*міжнар. наук.-практ. конф., 26–30 червня 2017 р. – Львів, НУЛП. – 2017. – С. 165.*

5. Бауман, В. А. (1973). *Роторные дробилки. Исследование, конструирование, расчет и эксплуатация.* – Москва: Машиностроение.

6. Пат. 60388 Україна, МПК В07В 9/00. *Спосіб класифікації нанопорошків / В. А. Пашистий, О. М. Бовда, С. К. Яремкевич, С. В. Яхимович, О. С. Яремкевич. – № u201105911; заявл. 17.05.2011; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. – 3 с.*