

STUDY OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER DIFFERENT KNIFE CRUSHER ROTOR DESIGN

M. Iakymchuk, A. Volchko, O. Zhurybeda

National University of food technologies

Key words:	ABSTRACT
knife grinder, knife, edge knife, plastic waste	In the article analytically investigates the dependence of performance on the most commonly used crushers rotor designs — three, five knives and saws. Were accepted assumption that the process of shredding plastic waste crusher, rotary-knife adequate model «incompressible fluid» which describes the system for two-phase flow. Mathematical model of shredding was moved to package FlowVision and allowed to reproduce the work, rotary-blade cutters in 3-D form.
Article history: Received 10.09.2014 Received in revised form 15.09.2014 Accepted 24.10.2014	The obtained results are presented in graphs of productivity of the residence time of material in the mill and distribution efforts on cutting blades crusher. Found that the cutting load is distributed in the form of waves on a plane blade and increases from its edge to the center.
Corresponding author: mykolaiaakymchuk@mail.ua	The results can be used to develop new designs knife crushers for plastic waste.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОЖОВИХ ДРОБАРОК ПРИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ РОТОРІВ

М.В. Якимчук, канд. техн. наук 

А.І. Волчко, канд. техн. наук, О.М. Журибеда

Національний університет харчових технологій

У статті аналітично досліджено залежність продуктивності дробарок від найбільш вживаних конструкцій роторів — з трьома, п'ятьма ножами та пилами. Отримані результати досліджень представлені у вигляді графіків зміни продуктивності від часу перебування матеріалу в дробарці та розподілення зусилля різання на ножі дробарки. Встановлено, що під час різання навантаження розподіляється у вигляді хвилі по площині ножа і збільшується від його кромки до центру. Отримані результати можуть бути використані для розробки нових конструкцій ножових дробарок для полімерних відходів.

Ключові слова: ножова дробарка, ножі, кромка ножа, полімерні відходи.

Вступ. Проблема утилізації відходів для України є актуальною, оскільки країна виступає європейським лідером за кількістю відходів, які утворюються. Серед морфологічного складу відходів переважають відходи з синтетичних полімерів, які складають до 40 % побутового сміття і становлять в перерахунку біля 50 кг на рік у розрахунку на одну людину. Так з усіх вироблених пластичних матеріалів 41 % використовується в упаковці, а з цієї кількості 47 % витрачається при пакуванні харчових продуктів. Зручність і безпека, низька ціна і приємний естетичний вигляд є визначальними умовами швидкого зростання попиту на полімерні матеріали для виготовлення упаковок.

Передбачається, що в Україні до 2015 р. відходи полімерних матеріалів досягнуть більше одного мільйона тон, при цьому відсоток їх повторного перероблення є мізерним [2] і за найоптимістичнішими підрахунками становитиме біля 5...7 % від їх маси.

Для перетворення відходів термопластів у сировину, придатну для подальшої переробки, необхідно здійснити цілий ряд технологічних операцій. Вибір способу переробки залежить від джерела утворення відходів і ступеня їх забрудненості. Так, однорідні полімерні відходи зазвичай переробляють на місці їх утворення, для чого необхідна незначна кількість технологічних операцій — подрібнення і гранулювання.

Матеріали і методи. Операції подрібнення полімерних відходів традиційно виконуються на роторно-ножових дробарках. Різноманітність конструкцій таких дробарок передбачають переробку відходів широкого спектру термопластів: ПЕВЩ, ПЕНЩ, ПВХ, ПС і сополімерів: ПП, ПЕТ, ПЕТФ, ПА тощо. Класифікація роторно-ножових дробарок наведена на рис. 1.

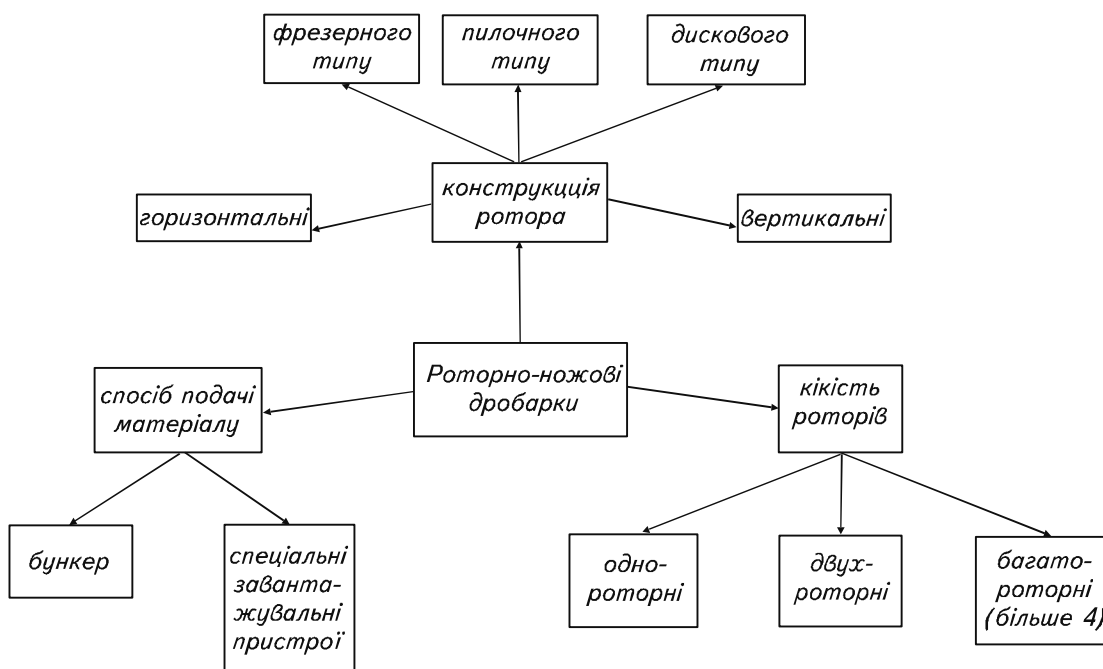


Рис.1. Класифікація роторно-ножових дробарок для подрібнення полімерних матеріалів

Доведено [1], що процес подрібнення є дуже важливим етапом підготовки полімерних відходів до подальшої переробки. Якість подрібнення впливає на об'ємну щільність, сипучість і розміри частинок отриманого продукту. Регулювання ступеня подрібнення дозволяє суттєво скоротити тривалість інших технологічних операцій. Слід зазначити, що операції подрібнення є енергозатратними, а тому постійно потребують оптимізації кількості використаної енергії. Така оптимізація можлива за умови удосконалення існуючих конструкцій та розробки нових зразків дробарок.

Метою роботи є моделювання процесу подрібнення полімерних відходів роторною ножовою дробаркою з різними типами конструкції роторів для дослідження режимів роботи, витрати енергії, інтенсивності зношування робочих органів за допомогою комплексного програмного забезпечення Flow Vision.

Побудова моделі роторно-ножової дробарки в пакеті Flow Vision ґрунтується на кінцево-об'ємному методі розв'язку рівнянь гідродинаміки з використанням прямокутної адаптивної сітки з локальним подрібненням. Така технологія дає можливість імпортувати геометрію елементів дробарок із системи САПР в пакет Flow Vision та використанні отримані результати в інших програмних продуктах.

Для розроблення математичної моделі роботи роторно-ножової дробарки були прийняті наступні припущення: полімерний матеріал під час подрібнення розглядається як насипний матеріал, окремі частинки якого є тілами, а вся маса має властивість плинності; динаміка такого «плинного» сипучого матеріалу математично описується системою нелінійних диференціальних рівнянь стану Нав'є-Стокса для в'язкої рідини з середньою об'ємною щільністю ρ і коефіцієнтом в'язкості (внутрішнього тертя) μ ; ефект зміни приєднаної маси для сил Бассета, Софмана і Магнуса не враховується; теплопередача в середині подрібненої частинки здійснюється нескінченно швидко; температура подрібненої частинки, яка утворюється під час її різання при дії сил тертя приймається однаковою в будь-якій точці частинки.

За такими припущеннями процес подрібнення полімерних відходів роторно-ножовою дробаркою можна вважати адекватним моделі «нестискаючої рідини», яка описується системою для двофазної течії. Запропонована модель описує характеристику потоків в'язких речовин при незначних змінах густини, великих значеннях критерія Рейнольдса (Re) і малих числах Маха (M), які визначаються з рівняння:

$$Re = U \cdot L \cdot \frac{\rho}{\mu} < 10^4; \quad M = \frac{U}{a} < 0.3, \quad (1)$$

де U — швидкість частинок; L — відстань, яку проходить частинка; μ — динамічна в'язкість рідини; ρ — насипна густина; a — швидкість звуку.

Наведена величина густини дозволяє в подальшому враховувати підйомну силу для подрібненої частинки, яка описується рівняннями Нав'є-Стокса, збереження енергії та конвективно-дифузійного переносу концентрації суміші.

Процес руху подрібненої частинки в дробарці описується з урахуванням явища турбулентності. Турбулентна в'язкість рідини визначається за формулою:

$$\mu_t = C_\mu \cdot \rho \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \cdot f_\mu, \quad (2)$$

В процесі різання полімерних матеріалів виникають нормальні σ'_x та дотичні τ_{xy} напруження, величина яких, складається з тиску та «в'язкої» складової і визначаються за рівняннями (3) та (4):

$$\sigma'_x = \mu \cdot \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right); \quad \sigma'_y = \mu \cdot \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right); \quad \sigma'_z = \mu \cdot \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right) \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right); \quad \tau_{yz} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right); \quad \tau_{zx} = \mu \cdot \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (4)$$

Сили P'_x, P'_y, P'_z дії ножів на поверхню матеріалу, які руйнують його на частинки по напрямках x, y, z визначаються з рівняння:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right], \quad (5)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right], \quad (6)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \operatorname{div} V^r \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]. \quad (7)$$

Математична модель процесу подрібнення враховує рух подрібненої частинки в просторі. Для опису траєкторії руху частинок введено систему координат та враховано дію відцентрових сил та сил Каріюліса у вигляді:

$$B = -2\omega \cdot V - \omega^2 \cdot r. \quad (8)$$

Моделювання руху твердих частинок в несучій фазі описується рівняннями (9):

$$\frac{dX_p}{dt} = V_p; \quad \frac{dV_p}{dt} = \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot m} C_D \cdot \rho_g |V_r| V_r + g \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_p} \right), \quad (9)$$

де: $V_r = V_g - V_p$ швидкість частинки відносно несучої фази.

Затрати енергії на процес подрібнення визначаються з рівняння:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \Delta (Vh) = \frac{1}{\rho} \Delta \left(\left(\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{(\rho r t)} \right) \Delta h \right) + \frac{Q}{\rho}. \quad (10)$$

Результати та обговорення. Розроблена математична модель в пакеті Flow Vision дозволила відтворити роботу роторно-ножової дробарки в 3-D вигляді. Аналітичні дослідження проводились для роторів з трьома, п'ятьма ножами та пилами (рис. 2).

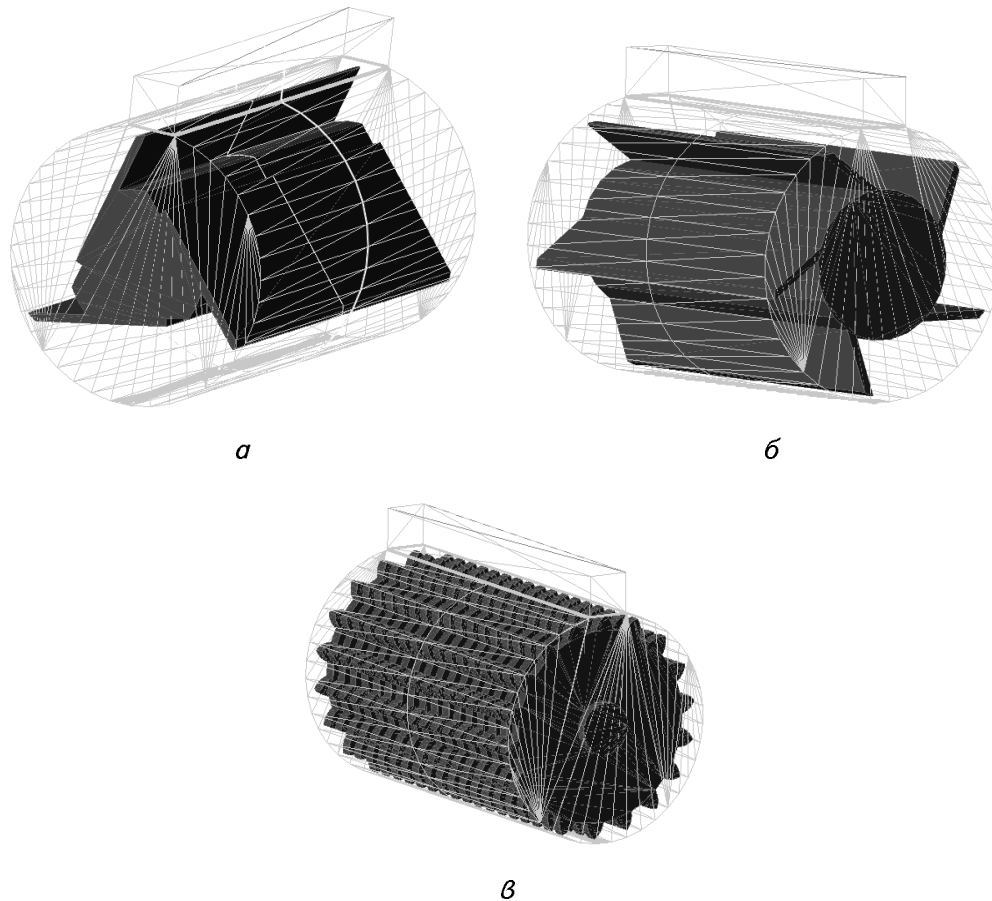


Рис. 2. Загальний вигляд роторів:
 а з трьома ножами; б з п'ятьма ножами; в з пилами

Подрібнення матеріалу відбувається в зазорі, який утворюється між внутрішньою стінкою корпусу дробарки та кромкою леза ножів. Режим роботи досліджувався при обертах валу ротора в межах $n = 500 - 1500$ об./хв, що є найбільш вживаними в промислових ножових дробарках.

За результатами дослідження було визначено розподілення зусилля різання на ножі дробарки (рис. 3). З рис. 3 видно, що під час різання навантаження розподіляється у вигляді хвилі по площині ножа і збільшується від його кромки до центру. Найбільша амплітуда хвиль, а відповідно і концентрація навантаження спостерігається по центру ножа. Встановлено, що термін довговічності ножів в дробарці суттєво залежить від їх кількості, товщини та величини кутів заточення.

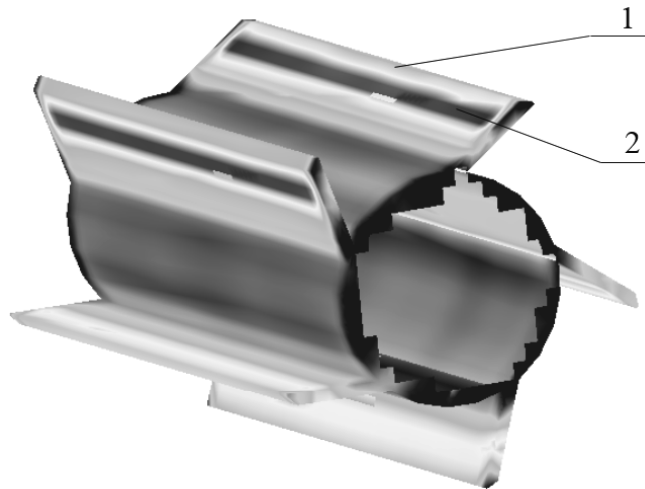


Рис. 3. Розподілення зусилля різання на поверхню ножів дробарки:

- 1 — розподілення навантаження на кромці ножа;
2 — місце найбільшої концентрації навантаження під час роботи ножа

Інтенсивність контакту ножів з подрібнювальним матеріалом призводить до його зменшення в розмірах до заданої величини і впливає на час перебування матеріалу в дробарці, а відповідно і на продуктивність дробарки.

Було аналітично досліджено залежність продуктивності дробарок від наведених конструкцій роторів. Отримані результати досліджень представлені у вигляді графіків зміни продуктивності від часу перебування матеріалу в дробарці рис. 4.

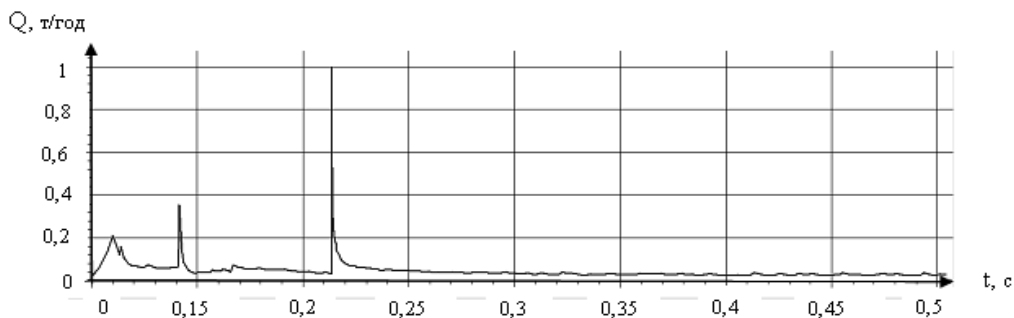


Рис. 4. Графік залежності продуктивності дробарки з п'ятьма ножами від часу перебування матеріалу в ній

Процес подрібнення потребує витрати енергії на різання матеріалу, яка визначається величиною споживання приводом дробарки. Зміна потужності привода від часу перебування матеріалу в дробарці показано на рис. 5.

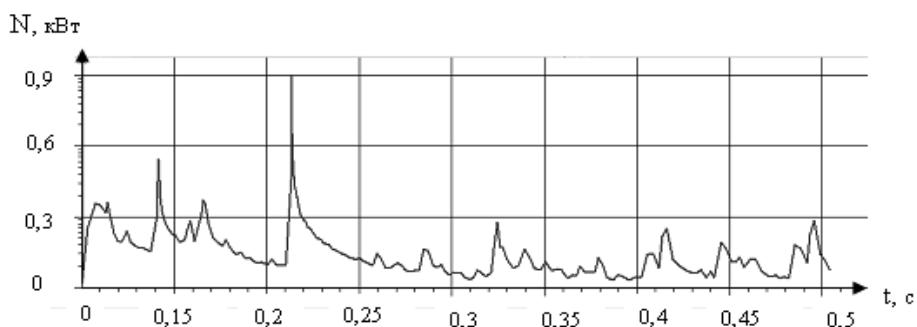


Рис. 5. Графік зміни потужності привода дробарки з п'ятьма ножами від часу перебування матеріалу в ній

З графіків рис. 4 та рис. 5 видно, що найбільш інтенсивне подрібнення та максимальне навантаження привода відбувається в перші 25 секунд часу з моменту подачі матеріалу в дробарку.

Висновки. Таким чином за результатами досліджень встановлено, що найменше навантаження на ножі та найбільша їх довговічність забезпечується в дробарках із пилами в порівнянні з іншими конструкціями роторів. Проведенні дослідження, щодо часу перебування матеріалу в дробарках до повного його подрібнення показують, що найбільший час для подрібнення потребує дробарка з пилами, а найменший — дробарка з п'ятьма ножами. Можна стверджувати, що найкращим технічним рішенням, яке забезпечує оптимальні технологічні показники подрібнення полімерних матеріалів є дробарка з п'ятьма ножами. Форма поверхні ножів повинна визначатись з умови розподілення зусилля різання та передбачати компенсацію його найбільшої концентрації по центру ножа. Кромка ножа за рахунок зменшення його товщини підлягає інтенсивному зношуванню, що в подальшому призводить до його затуплення. Одним із варіантів збільшення терміну довговічності ножів в роторній дробарці є визначення їх оптимальної кількості та величини кутів заточення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пономарева В.Т. Использование пластмассовых отходов за рубежом // В.Т. Пономарева, Н.Н. Лихачева, З.А. Ткачик. Пластические массы. — 2002 — № 5. — С. 44 — 48.
2. Бобович Б.Б. Утилизация отходов полимеров: учеб. пособие / Б.Б. Бобович. — М., 1998. — 62 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОЖЕВЫХ ДРОБИЛОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РОТОРОВ

Н.В. Якимчук, А.И. Волчко, О.Н. Журибеда

Национальный университет пищевых технологий

В статье аналитически исследована зависимость производительности дробилок от конструкции роторов — с тремя, пятью ножами и пилами. Полученные результаты исследований представлены в виде графиков изменения производительности от времени пребывания материала в дробилке и распределение усилия резания на ножи дробилки. Установлено, что во время резки нагрузка распределяется в виде волны по плоскости ножа и увеличивается от его кромки к центру. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых конструкций ножевых дробилок для полимерных отходов.

Ключевые слова: ножевая дробилка, ножи, кромка ножа, полимерные отходы.