

Аналіз процесу руйнування в камері дроблення ударних дробарок

Євген Міщук, доц., канд. техн. наук¹ (ORCID: 0000-0002-7850-0975),
 Богдан Зелінський, студент¹ (ORCID: 0000-0002-1888-3687)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

В роботі виконаний аналіз двох методів визначення енергії руйнування в дробарках ударної дії на матеріал. Перший метод ґрунтується на рівнянні балансу енергії. Другий метод побудований на основі гіпотези Ріттинґера з використанням енергетичного показника. Наведена залежність енергетичного показника від параметрів машини та середовища. Встановлено, що значний вплив на енергетичний показник мають частота обертів ротора, кут встановлення футерувальних плит та фізико-механічні властивості матеріалу. З метою визначення оптимальних меж зміни зазначених параметрів були побудовані відповідні графіки.

Ключові слова: роторна дробарка, енергетичний показник, потужність, параметри механічного режиму

1. ВСТУП

В зв'язку із необхідністю виготовлення будівельних матеріалів у великих об'ємах постає питання в створенні енергоефективних машин [1]. Одним із таких класів машин є ударні дробарки [2]. Процес дроблення в таких машинах є високошвидкісним за рахунок чого є можливість інтенсифікувати процес дроблення [3]. Проте при конструюванні таких машин постає цілий ряд задач, які необхідно вирішити інженеру-досліднику [5].

2. МЕТА РОБОТИ

Провести аналіз основних параметрів механічного режиму ударних дробарок та дослідити вплив цих параметрів на енергоефективність робочого процесу.

3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Витрати енергії на руйнування залежать від багатьох параметрів, серед яких продуктивність, степінь дроблення та фізико-механічні властивості матеріалу.

Один із методів визначення енергозатрат на руйнування матеріалу в ударних дробарок полягає у визначенні різниці кінетичної енергії ротора до удару та після удару [3].

Тоді можна записати наступне:

$$E_2 = E_0 - E_1 = \frac{I\omega^2}{2} - \frac{I^2\omega^2}{2(I+mR^2)}, \quad (1)$$

де E_1 – кінетична енергія ротору після удару, Дж; E_0 – кінетична енергія ротора до співударяння із матеріалом, Дж; E_2 – кінетична енергія, що витрачається на руйнування матеріалу при ударі.

При проектуванні дробильних машин задача завжди полягає в тому, щоб мінімізувати витрати енергії, тому оптимальною схемою руйнування є та за якої матеріал при одноразовому передаванні енергії від робочих органів дробарки був зруйнованим. Проте в реальних процесях, матеріал неодноразово навантажується робочими органами дробильних машин перед його руйнуванням, це саме відбувається в роторних та ударних дробарках. А тому значний вплив на процес мають фізичні властивості матеріалу та необхідна степінь дроблення. В джерелі [2]

були проведені чисельні дослідження відносно відповідності енергетичних гіпотез до енергії руйнування роторними дробарками. Найкращий результат дала гіпотеза Ріттинґера, на основі якої була виведена залежність для визначення енергії руйнування роторними дробарками:

$$P = \frac{w\Pi(i-1)}{D_c \eta_{др} \eta_{п}}, \quad (2)$$

де w – енергетичний показник дробарки, кВтгод/м²; D_c – середньозважений розмір вихідного матеріалу, м; $\eta_{др}$ – ККД дробарки; $\eta_{п}$ – ККД приводу.

Залежність (1) має відхилення до 21%. Енергетичний показник в (1) залежить від виду матеріалу, режиму роботи дробарки та конструкції дробильної машини і може змінюватись в широких межах. На сьогодні існує емпірична залежність для визначення енергетичного показника, яка відображає пряму пропорційність від границі міцності на розтяг для матеріалів з межею міцності не нижче $\sigma_p = 160$ кгс/см²:

$$w = 0.0002\sigma_p, \quad (3)$$

При розрахунках енергетичного показника залежність (2) також не дає точної відповідності і має розкид до 30%.

Відносно впливу режимів роботи на енергетичний показник, то можна зазначити, що в межах від $0.4\Pi_{max}$ до $0.8\Pi_{max}$ енергетичний показник є незмінним для відповідної конструкції дробарки і не залежить від продуктивності.

Значний розкид значень енергетичного показника можна пояснити тим, що він включає в себе всі види енергії, які передаються ротором при ударі. До них належать: енергія на руйнування матеріалу, знос бил, футеровок та відбивних плит, переміщення матеріалу, коливальні процеси в матеріалі та дробарці від ударної дії, і які не призводять до руйнування матеріалу та інші процеси, що відбуваються при ударі.

Визначимо вплив на енергетичний показник колової швидкості, розміру розвантажувального отвору, кута встановлення відбивної плити та фізичних властивостей матеріалу. До розгляду були прийняті параметри роторної дробарки Metso Nordberg NP15. Залежність енергетичного показника від параметрів машини та середовища має наступний вигляд:

$$w = \frac{u \times \omega \times D_c \times E_1 \times \eta_1 \times \eta_2}{2000 \times (-1+i) \times \pi \times Q} \quad (4)$$

На рис. 1 представлений графік залежності енергетичного показника від колової швидкості обертання ротора дробарки та вихідного отвору дробарки. Аналізуючи графіки, рис. 1 можна зробити висновок, що енергетичний показник для різних розмірів вихідного отвору не змінюється до швидкості обертів в 20 м/с. Подальша зміна енергетичного показника є відносно не значною при зміні вихідного отвору дробарки. Хоча якщо зміни отвору знаходяться в досить широких межах то вплив збільшується, що відображено в різниці між кривими для $s=10$ мм та $s=400$ мм. Максимальне значення вихідного отвору для дробарки Metso Nordberg NP15 складає 100 мм. Значення в 400 мм було взято для більшої наглядності.

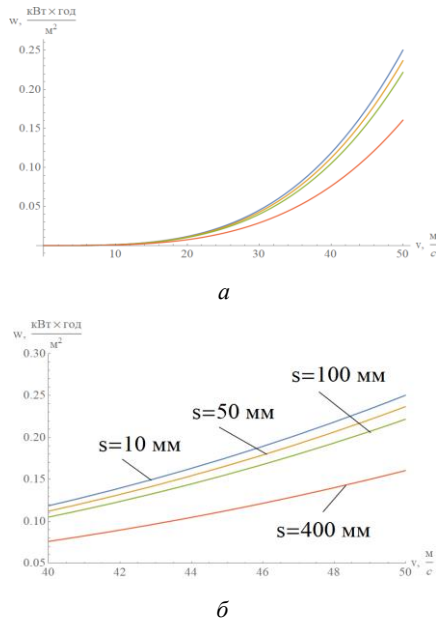


Рисунок 1. Графік залежності енергетичного показника від колової швидкості обертання ротора дробарки при різних розмірах вихідного отвору: а – повний діапазон зміни; б – в діапазоні від 40 до 50 м/с.

Далі був розглянутий вплив кута встановлення першої відбивної плити β . Діапазон зміни кута приймався в наступних межах $0 < \beta < 65$. Відповідний графік залежності представлений на рис. 2.

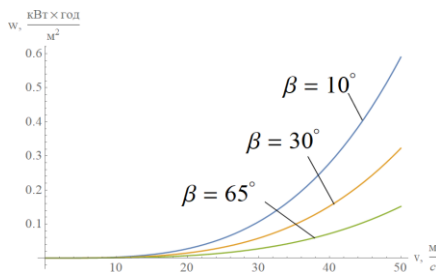


Рисунок 2. Графік залежності енергетичного показника від колової швидкості обертання ротора дробарки при різних кутах встановлення першої відбивної плити

З графіків можемо спостерігати значну зміну енергетичного показника в діапазоні зміни кута від 10 до 60 градусів. Більш менші значення показника відповідають куту $\beta > 60$ градусів.

Для опису залежності енергетичного показника від фізичних властивостей матеріалу був введений коефіцієнт Кс. Розглядалися 3 матеріали: граніт, цегла, піщаник. Графік залежності енергетичного показника від колової швидкості та для різних матеріалів представлено на рис. 3.

З графіка рис. 3 можна зазначити про незначний вплив фізичних характеристик матеріалу на енергетичний показник. Матеріали з меншою міцністю мають дещо менші значення енергетичного показника.

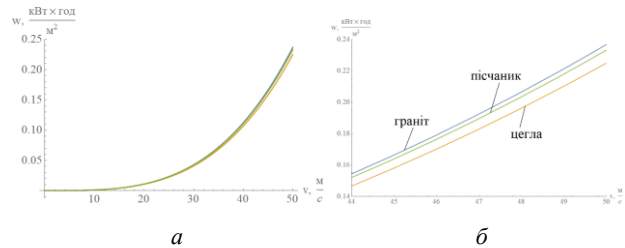


Рисунок 3. Графік залежності енергетичного показника від колової швидкості обертання ротора дробарки для різних матеріалів: а – повний діапазон зміни; б – в діапазоні від 44 до 50 м/с

4. ВИСНОВКИ

В цілому можна зазначити про відсутність науково-обґрунтованих методів визначення енергоефективності ударних дробарок. Визначення затрат енергії на руйнування матеріалу шляхом зміни кінетичної енергії не враховує: 1) процес руйнування матеріалу після удару по ротору; 2) фізико-механічні властивості матеріалів, що руйнуються; 3) параметри камери дроблення. Інший метод, який ґрунтується на енергетичному показнику хоча і враховує значну кількість параметрів, що впливають на енергозатрати, також дає значний відсоток відхилень.

Список літератури

- [1] Mishchuk Y., Nazarenko I. Analysis of the energy laws of material destruction. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. No. 110. P. 294–315.
- [2] SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook: Volumes One and Two. Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Incorporated, 2019. 2312.
- [3] Назаренко І.І. *Машини для виробництва будівельних матеріалів*. Київ : КНУБА, 1999. 488 с.
- [4] Bearman R. Jaw and Impact Crushers. In *SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook*. Englewood, CO, USA : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2019. 367 p.
- [5] Ciężkowski P., Maciejewski J., Bąk S. Analysis of Energy Consumption of Crushing Processes – Comparison of One-Stage and Two-Stage Processes. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2017. Vol. 39, no. 2. P. 17–24. URL: <https://doi.org/10.1515/sgem-2017-0012> (date of access: 26.09.2025).

ⁱ Робота виконана під керівництвом Івана Назаренка, проф., проф. кафедри МОТП.