

УДК 664.73.05; 621.927

І. В. Севостьянов, к. т. н., доц.;
Р. Д. Іскович-Лотоцький, д. т. н., проф.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАШИН ДЛЯ РОЗМЕЛЮВАННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто розроблену авторами схему установки для розмелювання дисперсних матеріалів. Установка може бути створена на базі промислових зразків молоткових дробарок за їх незначної модернізації. Впровадження запропонованої установки суттєво зменшить витрати електроенергії на розмелювання зі забезпеченням незмінної продуктивності процесу та якості подрібнення сировини.

Вступ

Для реалізації різних технологічних процесів розмелювання дисперсних матеріалів у переробній, хімічній промисловості, а також у виробництві будівельних матеріалів достатньо широко застосовують молоткові дробарки, що відрізняються універсальністю, простотою конструкції, надійністю та порівняно високою ефективністю [1]. На деяких великих підприємствах сумарна потужність електродвигунів даного обладнання є достатньо значною (наприклад, на Немирівському спиртовому заводі експлуатуються шість дробарок з сумарною установленою потужністю 510 кВт). У більшості випадків це обладнання працює не менше зміни на добу і 365 днів на рік. У зв'язку з цим, загальні витрати електроенергії є відносно великими, і підприємства зацікавлені в їх зменшенні.

Зазвичай, за наявності на підприємстві декількох дробарок, усі вони працюють одночасно в тому самому режимі. В кожній дробарці сировина переходить одразу з початкового стану, що характеризується вихідними розмірами частинок, у кінцевий стан, в якому вони мають задані розміри, які відповідають завершенню процесу розмелювання. Така схема роботи, на думку авторів, не є раціональною, оскільки призводить до додаткових витрат енергії.

Основний текст

Автори пропонують з мінімальними додатковими матеріальними витратами дещо перекомпонувати і модернізувати наявні дробарки, а також змінити схему їх роботи, що забезпечить, як показують розрахунки, істотну економію електричної енергії зі збереженням необхідної продуктивності процесу розмелювання та якісних показників перероблюваного продукту.

Так, якщо на заводі або будівельному майданчику експлуатуються дві або більше дробарок, їх доцільно об'єднати у технологічні блоки (установки), по дві дробарки у кожній. Установки працюватимуть паралельно й в аналогічному режимі, але в кожній з них буде здійснюватись спочатку попереднє розмелювання сировини (у першій дробарці), а потім остаточне подрібнення — у другій.

На рис. 1 показана розроблена авторами схема установки для послідовного розмелювання зерна на спиртових заводах, яка може бути реалізована на базі наявних на підприємстві молоткових дробарок. Установка містить: короб А з вихідним продуктом; решета В і F для затримання сторонніх, в тому числі металевих частинок та предметів (для підвищення ефективності роботи решета можуть приєднуватись до електромагнітів); дробарки С, J відповідно для попереднього та остаточного розмелювання; решета D, G для відсортовування попередньо та остаточно подрібнених частинок продукту; напрямні конуси Е, Н для відведення попередньо та остаточно розмеленого продукту.

Установка працює таким чином. Вихідний продукт з короба А проходить через решето В і далі потрапляє у верхню дробарку, в якій при обертанні барабана С з молотками, продукт перемелюється до певного проміжного ступеня подрібнення, який визначається розмірами отворів у решеті D. Частинки сировини, що проходять через останнє, прямують по конусу Е і через решето F у робочу камеру нижньої дробарки, в якій продукт розмелюється до заданого кінцевого ступеня подрібнення. Остаточно розмелений продукт після просіювання через решето G, відводиться по конусу Н на засипання та замочування.

Для обґрунтування вищої ефективності функціонування дробарок в складі установки (див. рис. 1) у порівнянні із їх ефективністю за умови паралельної роботи, потрібно для жного з варіантів визначити сумарну електричну потужність, яка необхідна для реалізації розмелювання із заданим ступенем подрібнення та продуктивністю, а також розрахувати річну економію електричної енергії у випадку впровадження установок.

Для визначення потрібної для роботи запропонованої установки (див. рис. 1) електричної потужності скористаємось методикою та рекомендаціями, викладеними у роботах [1, 2].

Згідно з [1, 2] потужність, необхідна для подрібнення матеріалу $N_{\text{под}}$, Вт обчислюється за формулою

$$N_{\text{под}} = QA_{\text{под.п}} = Q [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)], \quad (1)$$

де Q — продуктивність розмелювання, кг/с; $A_{\text{под.п}}$ — питома робота подрібнення, Дж/кг; C_1, C_2 — коефіцієнти, що враховують питомі витрати енергії на подрібнення (мають розмірність (Дж/кг)) та визначаються дослідним шляхом; λ — ступінь подрібнення, який є відношенням середнього розміру частинок перероблюваного матеріалу до розмелювання (L або D) до середнього розміру частинок після розмелювання (l або d)

$$\lambda = \frac{L}{l} = \frac{D}{d}. \quad (2)$$

Крім цього, під час роботи дробарок мають місце витрати потужності на циркуляцію матеріалу та повітря в їх робочих камерах. Ці витрати визначаються з урахуванням припущення, що барабан дробарки працює як вентилятор, у якого лопатями є молотки (за відсутності необхідних експериментальних даних витрати потужності на вентиляцію та холостий хід приймають рівними 15...20 % від потужності на подрібнення).

Необхідно врахувати також ККД клинопасової передачі $\eta_{\text{кп}} = 0,96$ [3] між приводним електродвигуном та дробаркою, і ККД пари підшипників кочення $\eta_{\text{пк}} = 0,993$ [3], на яких встановлений вал дробарки. Тоді повна встановлена потужність дробарки повинна складати

$$N = \frac{(1,15 \dots 1,2) N_{\text{под}}}{\eta_{\text{кп}} \eta_{\text{пк}}} = \frac{(1,15 \dots 1,2) Q [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}{0,96 \cdot 0,993} = 1,26 Q [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]. \quad (3)$$

Продуктивність роботи одної установки Q_y , створеної на базі двох наявних на підприємстві дробарок (на великих підприємствах за необхідністю створюються декілька таких установок) може бути знайдена за формулою

$$Q_y = \frac{m_{\text{с.д}}}{3600 n_y t_{\text{р.д}}}, \quad (4)$$

де $m_{\text{с.д}}$ — маса перероблених за добу дисперсних матеріалів; n_y — кількість установок, між якими порівну розподіляється маса $m_{\text{с.д}}$; $t_{\text{р.д}}$ — тривалість розмелювання маси $m_{\text{с.д}}$.

Для обчислення повної встановленої потужності установки N_y потрібно за формулою (2) розрахувати ступені подрібнення для її верхньої і нижньої дробарок (відповідно, λ_{1y} та λ_{2y}) і за формулою (3) знайти їх встановлені потужності N_{1y} та N_{2y} .

Тоді
$$N_y = N_{1y} + N_{2y}. \quad (5)$$

Потужність всіх установок підприємства дорівнюватиме

$$N_{\Sigma y} = n_y \cdot N_y. \quad (6)$$

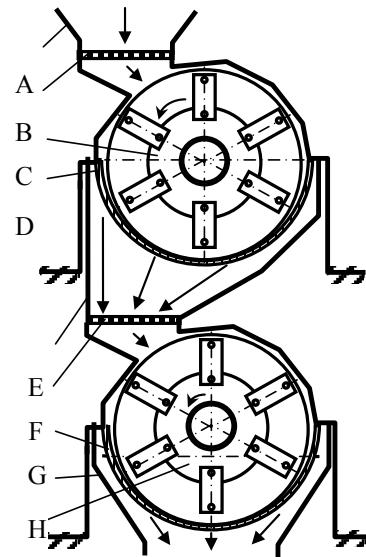


Рис. 1. Схема установки для послідовного розмелювання зерна на базі промислових молоткових дробарок: А — короб з вихідним продуктом; В, F — решета для затримання сторонніх, в тому числі металевих частинок та предметів; С, J — барабани дробарок відповідно для попереднього та остаточного розмелювання; D, G — решета для відсортування попередньо та остаточно розмелених частинок продукту; Е, Н — напрямні конуси для відведення попередньо та остаточно розмеленого продукту

Продуктивність паралельної роботи n_d дробарок упродовж часу $t_{p.d}$ розмелювання сировини масою $m_{c.d}$ складатиме

$$Q_d = \frac{m_{c.d}}{3600 \cdot n_d t_{p.d}} \quad (7)$$

Установлену потужність N_d одної такої дробарки зі забезпеченням ступеня подрібнення матеріалу λ_d визначаємо за формулою (3), а сумарну установлену потужність всіх дробарок підприємства

$$N_{\Sigma d} = n_d N_d, \quad (8)$$

після чого $N_{\Sigma d}$ порівнюється із $N_{\Sigma y}$ і робиться висновок про ефективність створюваних на основі наявних дробарок установок для розмелювання.

Річна економія електроенергії у випадку реалізації запропонованої схеми (див. рис. 1) складатиме

$$E_{ен} = 365 t_{p.d} (N_{\Sigma d} - N_{\Sigma y}). \quad (9)$$

З урахуванням нинішньої ринкової ціни $\Pi_{ен}$ електроенергії на Оптовому ринку України, обчислюється річний економічний ефект від впровадження установок

$$E_{еф} = E_{ен} \Pi_{ен}. \quad (10)$$

Для прикладу, визначимо $N_{\Sigma y}$ для установок, створених на базі дробарок Немирівського спиртового заводу (як вказувалось вище, на даному підприємстві експлуатується шість дробарок, з них чотири мають потужність 90 кВт, ще дві — потужність 75 кВт і це обладнання може бути скомпоноване у три установки, кожна з яких виконана за схемою на рис. 1).

Значення вихідних параметрів, необхідних для розрахунку продуктивності Q_y (див. (4)) приймаємо рівними: $m_{c.d} = 250$ т; $n_y = 3$; $t_{p.d} = 9$ год. Тоді

$$Q_y = \frac{250000}{3600 \cdot 3 \cdot 9} = 2,57 \text{ кг/с}. \quad (11)$$

Коефіцієнти питомих втрат енергії на подрібнення: $C_1 = 10 \cdot 10^3$ Дж/кг; $C_2 = 6 \cdot 10^3$ Дж/кг [2], а значення λ_{1y} , λ_{2y} знаходимо з урахуванням того, що у верхній дробарці установки (див. рис. 1) здійснюється попереднє розмелювання зерна до одержання частинок розміром $D_n = 1,2$ мм, тоді як у нижній дробарці матеріал доводиться до заданого кінцевого ступеня подрібнення

$$\lambda_{1y} = \frac{D}{D_n} = \frac{2,75}{1,2} = 2,29; \quad \lambda_{2y} = \frac{D_n}{d} = \frac{1,2}{0,5} = 2,4. \quad (12)$$

Тоді

$$N_{1y} = 1,26 \cdot 2,57 \left[10 \cdot 10^3 \lg 2,29^3 + 6 \cdot 10^3 (2,29 - 1) \right] = 60000 \text{ Вт} = 60 \text{ кВт}; \quad (13)$$

$$N_{2y} = 1,26 \cdot 2,57 \left[10 \cdot 10^3 \lg 2,4^3 + 6 \cdot 10^3 (2,4 - 1) \right] = 64000 \text{ Вт} = 64 \text{ кВт}; \quad (14)$$

$$N_y = N_{1y} + N_{2y} = 60 + 64 = 124 \text{ кВт}; \quad (15)$$

$$N_{\Sigma y} = 3N_y = 3 \cdot 124 = 372 \text{ кВт}. \quad (16)$$

Продуктивність паралельної роботи тих самих дробарок (див. (7))

$$Q_d = \frac{250000}{3600 \cdot 6 \cdot 9} = 1,29 \text{ кг/с}. \quad (17)$$

Із забезпеченням ступеня подрібнення матеріалу

$$\lambda_d = \frac{2,75}{0,5} = 5,5 \quad (18)$$

потрібна потужність одної дробарки

$$N_{д} = 1,26 \cdot 1,29 \cdot [10 \cdot 10^3 \lg 5,5^3 + 6 \cdot 10^3 (5,5 - 1)] = 80000 \text{ Вт} = 80 \text{ кВт}. \quad (19)$$

Отже, установлена потужність наявних дробарок за нинішнім режимом їх функціонування використовується практично повністю (з урахуванням того, що дві з них мають потужність по 75 кВт).

Потрібна потужність шістьох дробарок (див. (8))

$$N_{\Sigma д} = 6N_{д} = 6 \cdot 80 = 480 \text{ кВт}, \quad (20)$$

що помітно більше $N_{\Sigma у} = 372 \text{ кВт}$.

Річна економія електроенергії у випадку реалізації запропонованої схеми (див. рис. 1) складе (див. (9))

$$E_{ен} = 365 \cdot 9 \cdot (480 - 372) = 354780 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (21)$$

Тоді за нинішньою ринковою ціною електроенергії на Оптовому ринку України (ОРУ): 301 грн за 1 МВт · год (без ПДВ) [4] річний економічний ефект від впровадження установок сягатиме (див. (10))

$$E_{еф} = 354,78 \cdot 301 = 106788,78 \text{ грн}. \quad (22)$$

Слід також зважити на те, що електроенергія в Україні постійно дорожчає (останні півроку — на 3 — 4,5 % щомісяця [4]), таким чином, з часом ефективність установок зростатиме.

Як вказувалось вище, розроблену схему (див. рис. 1) доцільно реалізовувати на базі наявного на підприємстві обладнання. Зокрема, у випадку достатньо великої потужності електродвигунів експлуатованих дробарок (75, 90 кВт) вони можуть бути використані в приводі запропонованих установок — один двигун для приведення в дію обох дробарок установки (рис. 2).

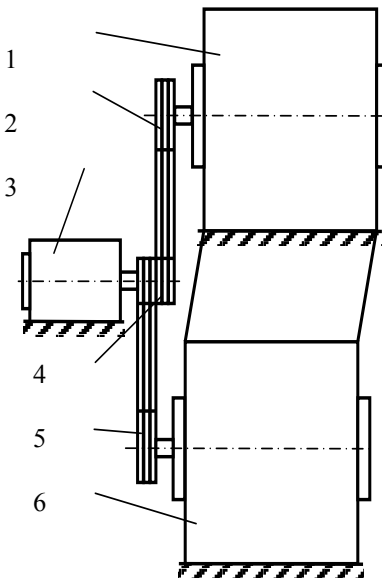


Рис. 2. Схема установки для послідовного розмелювання зерна з приводом двох дробарок від одного електродвигуна: 1, 6 — дробарки; 2, 5 — шків дробарок; 3 — електродвигун; 4 — шків електродвигуна

При цьому обертання від електродвигуна 3 передається через шків 4 та клинові паси на шків 2, 5 дробарок 1, 6. Однак слід мати на увазі те, що технологічні можливості установки, виконаної за схемою на рис. 2 будуть вужчими, ніж у установки з індивідуальним електроприводом кожної дробарки. Перша буде працездатною та достатньо надійною у випадку, коли перероблюваний продукт має стабільні густину, вологість, пластичність та гранулометричний склад, інакше можливі перевантаження та заклинювання верхньої дробарки установки, яка забезпечує попереднє розмелювання сировини. Тому, за можливістю, підприємству-власнику слід оснащувати кожну дробарку установки індивідуальним електроприводом, пристроями автоматичного керування та захисту від поломок при перевантаженнях.

Якщо потужність електродвигуна базової дробарки $N_{ед}$ дещо менша сумарної потрібної потужності установки (наприклад, $N_{ед} = 90 \text{ кВт}$, тоді як $N_{у} = 124 \text{ кВт}$), можливе зменшення $Q_{у}$ (збільшення тривалості розмелювання перероблюваної на підприємстві сировини), за рахунок чого забезпечується зниження робочих навантажень на валах дробарок.

Тоді, для розглядуваного прикладу, виходячи із формули (3), уточнена тривалість роботи упродовж доби нижньої більше навантаженої дробарки установки (вважаємо, що $N_{ед}$ розподіляється між обома дробарками приблизно порівну) визначається як

$$t_{р.д.у} = 1,26 \frac{m_{с.д}}{3600n_{у} N_{ед}/2} [C_1 \lg \lambda_{2у}^3 + C_2 (\lambda_{2у} - 1)] = 1,26 \frac{250000}{3 \cdot 3600 \cdot 90000/2} [10 \cdot 10^3 \lg 2,4^3 + 6 \cdot 10^3 (2,4 - 1)] = 12,6 \text{ год}. \quad (23)$$

Таке збільшення тривалості розмелювання маси $m_{с.д}$ є для більшості підприємств з цілодобово-

вим робочим циклом цілком допустимим.

Уточнене значення продуктивності розмелювання зерна в установці складатиме

$$Q_{y.y} = \frac{m_{c.d}}{3600n_y t_{p.d.y}} = \frac{250000}{3600 \cdot 3 \cdot 12,6} = 1,83 \text{ кг/с.} \quad (24)$$

Потужність трьох установок з електродвигуном $N_{ед} = 90$ кВт кожна дорівнюватиме

$$N_{\Sigma y.y} = 3N_{y.y} = 3N_{ед} = 3 \cdot 90 = 270 \text{ кВт.} \quad (25)$$

Річна економія електроенергії при такій потужності і добовій тривалості функціонування установок складе

$$E_{ен.y} = (N_{\Sigma d} t_{p.d} - N_{\Sigma y.y} t_{p.d.y}) 365 = (480 \cdot 9 - 270 \cdot 12,6) \cdot 365 = 335070 \text{ кВт·год.} \quad (26)$$

Уточнене значення річного економічного ефекту від впровадження установок для вказаної вище нинішньої ринкової вартості електроенергії сягатиме

$$E_{еф.y} = E_{ен.y} \Pi_{ен} = 335,070 \cdot 301 = 100856 \text{ грн.} \quad (27)$$

Тепер перевіримо, наскільки оптимальними будуть основні конструктивні параметри вихідних дробарок у випадку роботи їх у складі розробленої установки, із забезпеченням продуктивності розмелювання $Q_{y.y}$.

Згідно з [1, 2], оптимальне значення діаметра барабана дробарки можна знайти за формулою

$$D_6 = \sqrt{\frac{Q_{y.y} k}{q}}, \quad (28)$$

де k — конструктивний коефіцієнт, для дробарок розглядуваного типу $k = 4 \dots 7$ [2]; q — питоме навантаження, що для швидкості молотків дробарки 70...80 м/с вибирається в межах $q = 3 \dots 6$ кг/с·м².

Тоді
$$D_6 = \sqrt{\frac{1,83 \cdot 5,5}{4,5}} \approx 1,5 \text{ м,} \quad (29)$$

що досить точно відповідає значенню діаметра барабана наявних дробарок [5].

Оскільки інші конструктивні параметри молоткової дробарки (розміри та кількість молотків, радіус їх підвіски, довжина молотків до підвіски, діаметр пальців) розраховуються в основному, виходячи із величини D_6 , їх значення будуть також наближено відповідати фактичним величинам параметрів наявних дробарок.

Для експериментальної перевірки ефективності пропонованих схем (див. рис. 1, 2) можна на короткий час (у неробочі зміни або вихідні) задіяти одну з наявних на підприємстві дробарок. Необхідно тільки установити на ній решето для здійснення попереднього розмелювання вихідного продукту.

Нехай, наприклад, експериментальна дробарка оснащена електродвигуном потужністю $N_{ед} = 75$ кВт. Установлюємо на ній решето із сортувальними отворами діаметром 1,2 мм, для забезпечення ступеня подрібнення $\lambda_{1y} = 2,29$, як у верхній дробарці розглядуваної вище установки. Якщо запропоновані принципові рішення є раціональними, а розрахунки правильними, продуктивність роботи експериментальної дробарки повинна скласти

$$Q_{де} = \frac{60N_{ед}}{1,26 [C_1 \lg \lambda_{1y}^3 + C_2 (\lambda_{1y} - 1)]} = \frac{60 \cdot 75000}{1,26 [10 \cdot 10^3 \lg 2,29^3 + 6 \cdot 10^3 (2,29 - 1)]} = 192,7 \text{ кг/хв.} \quad (30)$$

Під час перевірки через завантажувальну лійку експериментальної дробарки із розрахованою продуктивністю $Q_{де}$ подається вихідний продукт. Якщо в процесі роботи дробарки упродовж зміни, продуктивність буде не нижчою $Q_{де}$, і під час випробувань не спостерігатимуться перевантаження обладнання (перегрівання електродвигуна, заклинювання та заїдання барабану), то результат переві-

рки можна вважати позитивним.

Висновки

1. На думку авторів, економічна ефективність використовуваних на різних підприємствах молоткових дробарок може бути істотно підвищена шляхом їх нескладного перекомпонування та модернізації. Зокрема, пропонується об'єднувати дробарки в технологічні блоки (установки) — по дві дробарки в складі кожної установки. При цьому під час роботи установок в них буде реалізовуватись двоступінчате послідовне розмелювання вихідного матеріалу до заданого кінцевого ступеня подрібнення.

2. У випадку реалізації пропонованих схем, модернізація наявних дробарок полягатиме у виготовленні або придбанні окремих додаткових деталей та складальних одиниць (зварних рам-основ для установлення дробарок та електродвигунів, напрямних конусів, решіт для запобігання потрапляння у обладнання разом із сировиною сторонніх частинок та предметів, решіт для відсортування попередньо розмеленого матеріалу, шківів для електродвигунів).

3. Зі впровадженням розроблених схем на переробних підприємствах або у будівництві буде забезпечене помітне зниження річних витрат на електроенергію, зменшення займаних площ зі збереженням практично незмінної продуктивності технологічного процесу розмелювання сировини та якості готового продукту.

4. Ефективність запропонованих схем та правильність проведених розрахунків перевірені експериментально.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельников С. В. Технологическое оборудование животноводческих ферм / С. В. Мельников. — Л.: Агропромиздат, 1985. — 352 с.
2. Машины для механизации животноводческих ферм. Теория и расчет. Механизация измельчения зерновых кормов. Молотковые дробилки. — Режим доступа: http://batu.edu.by/tmg_MGF_lect4.html.
3. Иванов М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. — М.: Высш. шк., 1991. — 383 с.
4. Режим доступа: <http://www.ukrindprom.com/news/dfhghf02100214477.html>.
5. Молотковые дробилки А1-ДМР2 — 75 — 90. Технический паспорт.

Рекомендована кафедрою металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв

Надійшла до редакції 11.06.08
Рекомендована до друку 20.06.08

Севостьянов Іван Вячеславович — доцент, **Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович** — завідувач кафедри.

Кафедра металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв, Вінницький національний технічний університет