

УДК 621.926.2

**Й.С. Мисак**, д.т.н.  
**Я.Ф. Івасик**, к.т.н.  
**П.Й. Омеляновський****ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПИЛОСИСТЕМИ ВІД КУЛЬОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ  
БАРАБАНА МЛИНА (КБМ)**

Національний університет «Львівська політехніка» e-mail: mysak@polynet.lviv.ua

*Приведено результати експериментального визначення впливу кульового завантаження барабана млина типу КБМ 287/410 (Ш-12) під час розмелювання вугілля марки Г на режимні та економічні показники пилосистеми.****Ключові слова:** кульовий барабанний млин, продуктивність пилосистеми, кульове завантаження барабана, оптимальне кульове завантаження, мінімальне та максимальне кульове завантаження, питома витрата електроенергії.***Вступ**

Кульові барабанні млини широко застосовуються на ТЕС, які спалюють антрацит, тверде і високозольне кам'яне вугілля. Робота КБМ під час неповного навантаження не вигідна, так як питома витрата електроенергії на розмелювання різко росте через те, що підвищується ковзання куль в барабані.

Кульовий барабанний млин належить до найнижчоекономічних агрегатів пилосистеми і котельної установки. За орієнтовною оцінкою досліджень [1] коефіцієнт корисної дії млина може становити від 1 до 15 %. При роботі млина основна енергетична складова витрачається не на розмелювання вугілля, а на тертя, зношення металу, нагрівання куль і броні тощо.

**Постановка задачі**

Продуктивність пилосистеми залежить від енергетичних параметрів процесу розмелювання та теплових умов сушіння вугільного матеріалу. За відсутності факторів, які суттєво обмежують процес сушіння, розмельну продуктивність млина з відомими конструктивними характеристиками визначає кульове завантаження барабана, яке впливає також на рівень спожитої пилосистемою електроенергії та якість процесу розмелювання вугілля, що характеризується фракційним складом готового пилу.

Ефективність процесу розмелювання вугілля прийнято оцінювати за економічним показником – питомою витратою електроенергії на пилоприготування, яка визначається, в основному, спожитою потужністю електродвигуном млина і продуктивністю пилосистеми.

**Основний зміст**

Під кульовим режимом розуміють підтримання в барабані млина певної ваги куль і їх розміру, сортування і додавання куль для компенсації їх зношення.

Дослідження впливу кульового завантаження барабана на ефективність процесу розмелювання проведено за результатами випробування пилосистеми з млином типу КБМ 287/410 (Ш-12), який розраховано на розмелювання вугілля марки Г Львівсько – Волинського родовища:  $Q_H^p = 20,93$  МДж/кг (5000 ккал/кг),  $W^p = 10,5$  %,  $A^p = 22,8$  %. За проектом пилосистема має подавати в котел ТП-10 (220 т/год, 10 МПа, 520 °С) вугільний пил з тонкістю помелу  $R_{90} = 25$  % і вологістю  $W^{ml} = 1,5$  %.

Котел ТП-10 обладнано двома індивідуальними системами пилоприготування з млинами типу Ш-12, пиловим бункером, замкненим циклом сушіння гарячим повітрям і пневмотранспортом вугільного пилу до пальників за допомогою млинового вентилятора. Витрата проектного палива при номінальній паропроductивності котла -  $V_k = 29$  т/год, температура гарячого повітря – 335 °С, відпрацьованого сушильного агента – 70 °С.

Умови проведення випробування пилосистеми:

- паропроductивність котла  $D_k = 155 - 210$  т/год;
- температура гарячого повітря – 318 - 330 °С;

- характеристика вугілля марки Г -  $Q_H^p = 19,63 - 21,67$  МДж/кг (4688 - 5176 ккал/кг),  $W^p = 6,2 - 9,6$  %,  $A^p = 23,9 - 29,2$  %;

- кульове завантаження барабана млина  $G_k = 22,1 - 29,9$  т.

Основні вимірювання виконувалися:

- кульове завантаження барабана – за потужністю електродвигуна млина і вагою куль, які добавлялися після закінчення кожного досліді;

- продуктивність млина – методом фіксованого в часі відбору вугілля після дискового живильника;

- витрати електроенергії на пилоприготування – за допомогою штатних лічильників потужності електродвигунів млина і млинового вентилятора;

- вугільний пил – штатним відбиранням проби під циклоном.

Проведено 9 дослідів з різним кульовим завантаженням барабана млина: 22,1 – 22,4 – 23,3 – 24,5 – 25,7 – 26,9 – 28,1 – 29,3 – 29,9 т.

Значення фактичної продуктивності млина перераховано і приведено до проектної тонкості помелу  $R_{90}^n = 25$  % за формулою:

$$B_M^o = B_M \cdot \left( \frac{\ln \frac{100}{R_{90}^n}}{\ln \frac{100}{R_{90}^p}} \right)^{0,5},$$

де  $B_M^o, B_M$  - приведена і фактична продуктивність млина, т/год;

$R_{90}^n, R_{90}^p$  - проектна і фактична тонкості помелу пилу, %.

Графічні залежності фактичної та приведеної продуктивностей млина від кульового завантаження барабана наведено на рис.1.

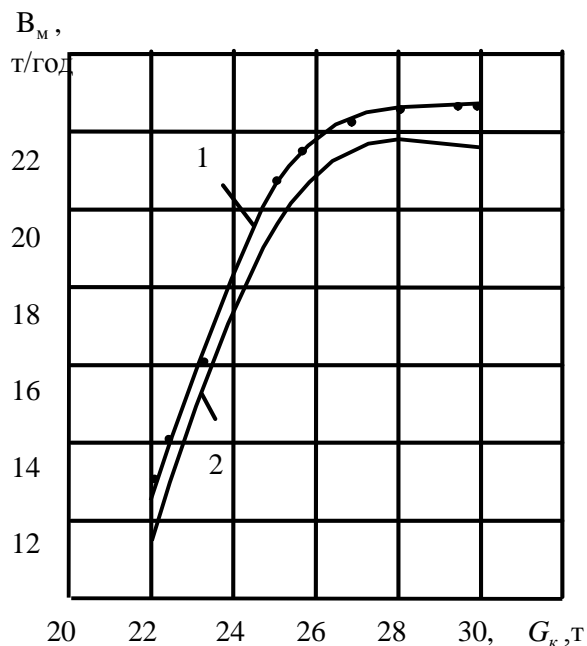


Рис. 1. Залежність продуктивності млина від кульового завантаження барабана  
1 – фактична продуктивність; 2 – продуктивність млина, приведена до проектної тонкості помелу  $R_{90} = 25$  %

Динаміка зміни продуктивності млина залежно від збільшення кульового завантаження барабана характеризувалася двома різними темпами зростання: швидким – у діапазоні значень  $G_k = 22 - 25$  т і повільним – при  $G_k > 25$  т.

За умови, що кульові завантаження  $G_k > 27$  т, досягалась максимальна продуктивність

млина: фактична – 22 – 23 т/год, приведена 21,5 – 22,0 т/год.

Залежність тонкості помелу готового пилу від кульового завантаження барабана млина наведено на рис. 2.

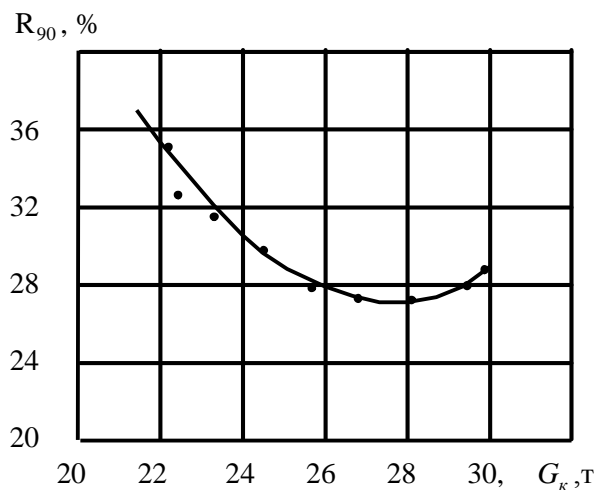


Рис. 2. Залежність тонкості помелу готового пилу від кульового завантаження барабана млина

За зафіксованого положення ступок відцентрового сепаратора та інших однакових умов зміна кульового завантаження барабана помітно впливала на тонкість помелу пилу: у разі збільшення кульового завантаження від 22 до 28 т тонкість помелу  $R_{90}$  зменшувалася від 35,4 до 27,4 %, а якщо  $G_k > 29$  т спостерігалася погіршення якості процесу розмелювання вугілля і зростання  $R_{90}$  до 29 %.

Таким чином, задовільна якість процесу розмелювання вугілля досягалася при кульовому завантаженні барабана  $28 \pm 1$  т.

Залежність потужності електродвигуна млина від кульового завантаження барабана наведено на рис. 3. Потужність електродвигуна млина зростала майже прямолінійно залежно від збільшення кульового завантаження. У цьому разі на динаміку зміни потужності не впливали темп зростання та значення продуктивності млина.

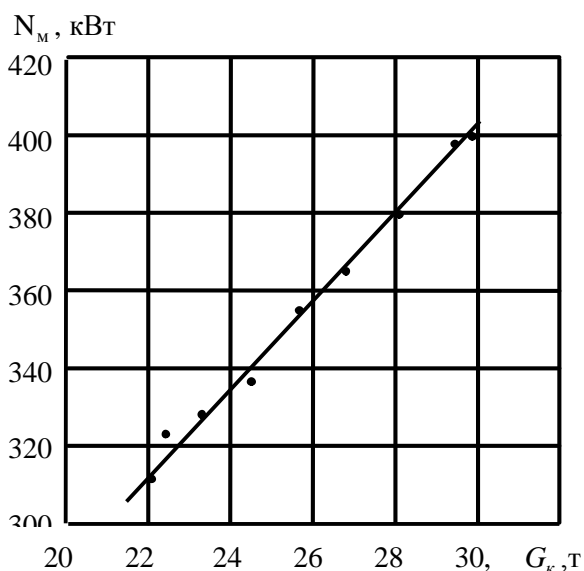


Рис. 3. Залежність потужності електродвигуна млина від кульового завантаження барабана

За результатами випробування не виявлено залежності потужності електродвигуна млинового вентилятора від кульового завантаження барабана. Це можна пояснити тим, що

режим роботи вентилятора в значній мірі визначався рівнем завантаження пиложивильників або концентрацією пилу в пилопроводах, тобто продуктивністю котла. У разі незначних коливань від середнього значення потужність електродвигуна млинового вентилятора становила  $150 \pm 5$  кВт.

Залежність питомої витрати електроенергії на пилоприготування, яку було розраховано за приведеною продуктивністю млина, від кульового завантаження барабана наведено на рис.4.

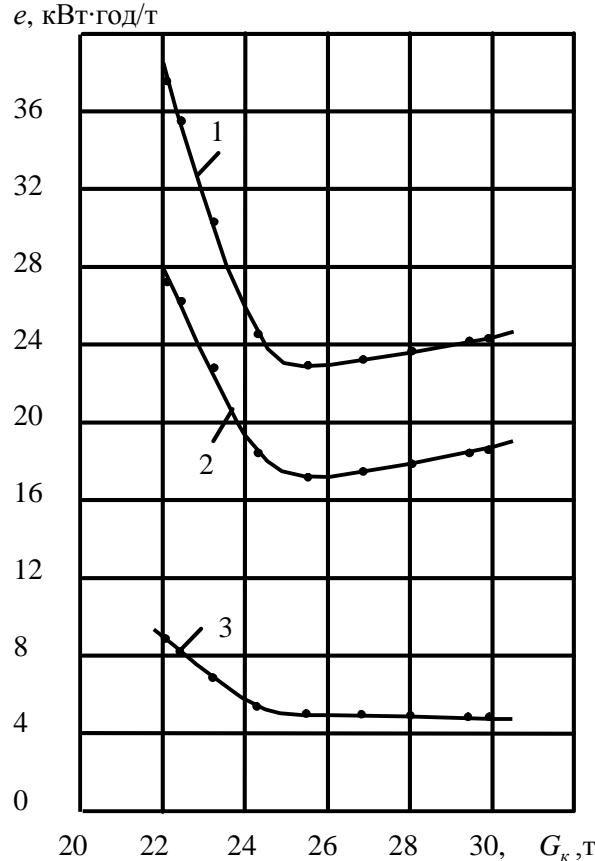


Рис. 4. Залежність питомої витрати електроенергії на пилоприготування від кульового завантаження барабанного млина

1 – на пилоприготування; 2 – на розмелювання вугілля; 3 – на пневмотранспортування

Динаміка зміни питомих витрат електроенергії на пневмотранспорт і розмелювання вугілля характеризується співвідношенням темпу зміни потужностей двигуна млинового вентилятора (млина) до темпу зміни продуктивності млина. У діапазоні збільшення кульового завантаження від 22 до 25 т темп зростання продуктивності значно випереджав темп підйому потужності, що приводило до швидкого зниження питомих витрат електроенергії на пилоприготування. Рівновага темпів і мінімум питомих витрат мали місце при  $G_k = 26,5 \pm 0,5$  т, а якщо  $G_k > 27$  т – темп зростання потужності млина почав дещо випереджати темп продуктивності, що привело до помірної збільшення питомої витрати електроенергії на пилоприготування.

Кульове завантаження барабана, при якому забезпечується мінімальна питома витрата електроенергії на пилоприготування, вважається оптимальним.

За вихідними даними – діаметром барабана  $D_0 = 2,87$  м, об'ємом барабана  $V_0 = 26,5$  м<sup>3</sup>, частотою обертання барабана  $n_0 = 18,7$  об/хв, густиною куль  $c_k = 4,9$  т/м<sup>3</sup> – проведено розрахунок оптимального кульового завантаження.

Показники за якими проведено розрахунок оптимального кульового завантаження барабана:

1) Критична частота обертання барабана:

$$n_{кр} = \frac{42,3}{(D_0)^{0,5}} = \frac{42,3}{(2,87)^{0,5}} = 25, \text{ об/хв.}$$

2) Співвідношення частот обертання барабана:

$$\frac{n_{\bar{6}}}{n_{кр}} = \frac{18,7}{25} = 0,75.$$

3) Оптимальна міра заповнення барабана кулями:

$$\Psi_{\bar{6}}^{opt} = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{\left(\frac{n_{\bar{6}}}{n_{кр}}\right)^{1,75}} = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{(0,75)^{1,75}} = 0,20.$$

4) Оптимальне кульове завантаження барабана:

$$G_k^{opt} = \Psi_{\bar{6}}^{opt} \cdot \rho_k \cdot V_{\bar{6}} = 26,0 \text{ т.}$$

За літературою [2] оптимальне кульове завантаження барабана для млина Ш-12 становить 26,4 т.

Результати експериментального і розрахункового визначення оптимального кульового завантаження мають задовільну відповідність і тому для млина Ш-12 приймається  $G_k^{opt} = 26,5 \pm 0,5$  т.

Для забезпечення надійної та економічної експлуатації котельного обладнання рекомендовано впровадження таких режимів пилосистеми:

- режим максимальної продуктивності
  - $G_k^{max} = 28,0 \pm 1,0$  т,
  - $V_m^{max} = 22,5 \pm 0,5$  т/год,
  - $R_{90} = 27 - 28$  %,
  - $e_n = 23,5 - 24,0$  кВт·год/т.
- режим мінімальної продуктивності:
  - $G_k^{min} = 25,0$  т,
  - $V_m^{min} = 20,5 \pm 0,5$  т/год,
  - $R_{90} = 29$  %,
  - $e_n = 23,5 - 24,0$  кВт·год/т.
- режим оптимального кульового завантаження:
  - $G_k^{opt} = 26,5 \pm 0,5$  т,
  - $V_m^{opt} = 21,0 \pm 0,5$  т/год,
  - $R_{90} = 28$  %,
  - $e_n = 23,0$  кВт·год/т.

### Висновки

1. Під час розмелювання вугілля марки Г за результатами випробування пилосистеми з млином типу КБМ 287/410 (Ш-12) визначено, що кульове завантаження барабана суттєво впливає на режимні та економічні показники.

2. У разі випробування пилосистеми режимні дослідження повинні проводитися з кульовим завантаженням барабана млина, яке змінюється у межах 70 – 100 % максимального значення.

### Список літературних джерел

1. Лебедев А.Н. Подготовка и размол топлива на электростанциях. М.: Энергия, 1969. (Подготовка і розмелювання палива на електростанціях).
2. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. -М.: Энергия, 1976.