

УДК 621.926.3-252:622.73-032.35

**Мисак Степан Йосифович**, аспірант. Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна. Вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна. (032)258-25-15, s.mysak750@gmail.com

### МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КУЛЬОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ПИТОМОЇ ВИТРАТИ МОЛОЛЬНИХ КУЛЬ МЛИНА КБМ 370/850 (Ш-50А) ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС

*Розглянуто метод визначення кульового завантаження та питомої витрати молотильних куль млина типу КБМ 370/850 (Ш-50А) пиловугільних котлів енергоблоків 300 МВт. Визначені поправочні коефіцієнти до питомої витрати куль які враховують зміни якості палива, зношення металу молотильних куль та інші фактори.*

**Ключові слова:** кульовий барабанний млин, молотильні кулі, кульове завантаження, питома витрата куль.

**Мысак Степан Иосифович**, аспирант. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина. Ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина. (032) 258-25-15, s.mysak750@gmail.com

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШАРОВОЙ ЗАГРУЗКИ И УДЕЛЬНОГО РАСХОДА МЕЛЮЩИХ ШАРОВ МЕЛЬНИЦЫ ШБМ 370/850 (Ш-50А) ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС

*Рассмотрен метод определения шаровой загрузки и удельного расхода мелющих шаров мельницы типа ШБМ 370/850 (Ш-50А) пылеугольных котлов энергоблоков 300 МВт. Определены поправочные коэффициенты к удельному расходу шаров которые учитывают изменения качества топлива износа металла мелющих шаров и другие факторы.*

**Ключевые слова :** Шаровая барабанная мельница, мелющие шары, шаровая загрузка, удельный расход шаров.

**Mysak Stepan Josifovich**, post-graduate student. National University "Lviv Polytechnic", Lvov, Ukraine. S. Bandery st., 12, Lvov, Ukraine. (032) 258-25-15, s.mysak750@gmail.com

### THE METHODOLOGY OF THE DETERMINING OF "THE BALL BOOT AND THE SPECIFIC FUEL GRINDING MILL BALLS MSC 370/850 (SH-50A) COAL-FIRED THERMAL POWER BOILERS

*The method of determining "the ball boot and specific consumption of grinding balls mill type MSC 370/850 (SH-50A) pulverized coal boiler units of 300 MW" is analyzed. The corrected coefficients to "specific fuel balls" which take into account the changes in the fuel quality, the wear-off of the metal of the grinding balls and various other factors, are determined.*

**Key words:** "ball mill drum, grinding balls, ball load, the specific fuel balls."

#### Вступ

В ситуації, що склалася в енергетиці України на багатьох електростанціях з твердопаливними котлами розмелювання та спалювання вугілля відбувається з різними технічними характеристиками, що не відповідають проектним показникам для даного типу котлів. За таких умов підготовка вугілля в кульових барабанних млинах (КБМ) супроводжується інтенсивним зношенням металу молотильних куль барабана, та як правило зменшенням їх пилопродуктивності.

При цьому в [1] враховується тільки частина факторів, що впливають на зміну зношення молотильних куль кульових барабанних млинів, а всі інші фактори, що приводять до збільшення зношення металу куль КБМ повинні враховуватися додатковими поправочними коефіцієнтами які як правило визначаються на основі експериментально-аналітичних досліджень. Розроблення методу та визначення додаткових поправочних коефіцієнтів які враховують зміни інтенсивності зношення металу куль в КБМ, дозволить підвищити надійність роботи КБМ при заданій пилопродуктивності та визначати оптимальні режими їх роботи.

#### Мета і задачі досліджень

Метою даної роботи є розробити метод визначення кульового завантаження млина типу КБМ 370/850(Ш-50А) пиловугільних котлів енергоблоків 150-200-300 МВт, а також поправочні коефіцієнти, що впливають на питому витрату молотильних куль.

Внаслідок систематичного недопостачання на електростанції молольних куль і розмелювання вугілля погіршеної якості або іншої марки відбувається інтенсивне зношення поверхонь молольних куль, що призводить до значної їх перевитрати в порівнянні з нормативними величинами з однієї сторони і зниження ефективності роботи КБМ з другої сторони.

Враховуючи це були поставлені наступні задачі досліджень, а саме :

- провести аналіз літературних джерел з даної проблеми;
- розробити аналітичний метод розрахунку кульового завантаження млинів з врахуванням поправок до питомої витрати куль при використанні непроєктних палив.

### Обґрунтування методу

Основою для розроблення методу та визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати молольних куль являлось попередні дослідження, що наведені в [2, 3, 10], а також нормативні документи, узаконені методики досліджень пилосистем та літературні дані [4–7].

Відомо, що втрата металу куль відбувається за рахунок стирання їх поверхні яке є залежне від інтенсивності взаємодії куль при розмелюванні вугілля. При цьому молольні кулі які знаходяться в різних ділянках КБМ мають різну взаємодію при розмелюванні вугілля, причому більшу по периметру КБМ, що розташовані ближче до осі барабана і меншу, що розташовані ближче до броні барабана.

При зменшенні кульового завантаження млина відбувається перерозподілення куль в КБМ, зменшується доля куль центральних ділянок і підвищується доля куль зовнішніх ділянок, що дозволяє вирівнювати інтенсивність зношення куль в об'ємі млина.

При зменшенні кульового завантаження млина на 30–35 % від номінального (розрахункового) величини зношення вирівнюється, а сумарне зношення практично не змінюється. Встановлено, що зміна питомої витрати молольних куль залежить від пилосистемності системи, кульового завантаження млина вологості та зольності палива.

Враховуючи вищесказане визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати куль а також кульового завантаження є важливою складовою ефективності роботи КБМ і пилосистеми взагалі.

### Коротка технічна характеристика кульового барабанного млина типу КБМ 370/850(Ш-50А)

На пилувугільних котлах енергоблоків 150-200-300 МВт встановлена КБМ 370/850 (Ш-50А) задача яких полягає в ефективному забезпеченні котлів вугільним пилом відповідної якості. Внутрішній діаметр барабана млина  $D_{\delta} = 3700$  мм, а довжина  $L = 8500$  мм. Граничне максимальне кульове завантаження барабана  $G_{\kappa}^{\text{н}} = 108$  т, а експлуатаційне  $G_{\kappa}^{\text{макс}} = 72$  т, діаметр молольних куль  $d = 40$  мм. Частота обертання барабана  $n_{\delta} = 17,6$  об/хв., вага млина без куль і електродвигуна 168 т.

В залежності від конструкції котлоагрегатів, та марки вугілля вибираються продуктивність КБМ і пилосистеми.

Так для котлів ТПП-210А енергоблоків 300 МВт вибрано три індивідуальні системи пилоприготування які розраховані на розмел вугілля марки АШ з такими характеристиками:  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 24,24$  МДж/кг (5700 ккал/кг),  $A_{\text{п}} = 19$  %,  $W_{\text{п}} = 7,5$  %,  $V^{\text{т}} = 3,5$  %,  $K_{\text{до}} = 0,95$ . В котел подається готовий пил з тонкістю помелу  $R_{90} = 7 \pm 1$  % і вологістю  $W^{\text{мн}} = 0,5-1,0$  %. Номінальна продуктивність КБМ  $B_{\text{н}}^{\text{п}} = 50$  т/год.

Котли ТПП-312 енергоблоків 300 МВт обладнані двома індивідуальними системами пилоприготування.

За проектом в КБМ розмелюється кам'яне вугілля марки ГСШ Донецького басейну з такими характеристиками:  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 20,93$  МДж/кг (5710 ккал/кг),  $A_{\text{п}} = 11$  %,  $W_{\text{п}} = 22,3$  %,  $V^{\text{т}} = 40$  %,  $K_{\text{до}} = 1,1$ . Розрахункові показники готового пилу: тонкість помелу –  $R_{90} = 25$  %, вологість  $W^{\text{мн}} = 3,0$  %, проектна номінальна продуктивність млина при тонкості помелу

$R_{90}^{\text{п}} = 25 \%$ ,  $B_{\text{м}}^{\text{п}} = 76$  т/год.

### Метод визначення кульового завантаження млина, та питомої витрати молільних куль

Аналітично-розрахунковий метод визначення кульового завантаження млина при розмелу непроекtnих видів палива базується на визначенні в першу чергу поправочних коефіцієнтів до питомої витрати молільних куль, що характеризують ефективність роботи КБМ.

На рис. 1 представлена блок-схема впливу режимних, конструктивних та інших факторів на ефективність роботи КБМ при поступленні на ТЕС непроекtnих видів палива.

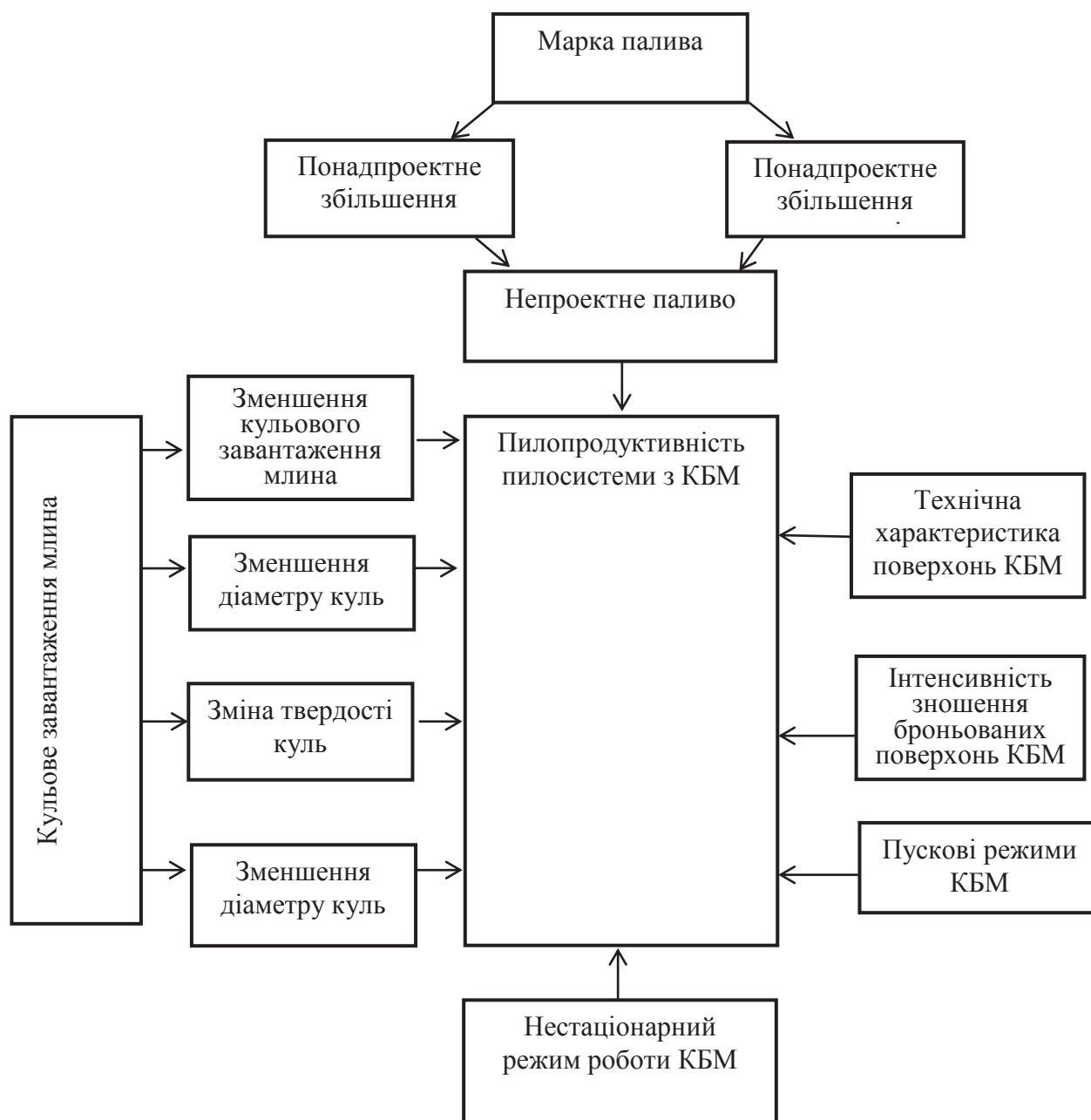


Рис. 1. Блок-схема впливу різних факторів на ефективність роботи КБМ пілопродуктивності пілосистем котлів при спалюванні непроекtnих видів палива

Як видно із рисунку окрім інших факторів значний вплив на ефективність роботи КБМ мають характеристика вугілля, що поступає в КБМ а відповідно інтенсивність стирання

поверхонь молольних куль.

Нормативна питома витрата молольних куль  $a_{норм}$  згідно [1] визначалася при таких умовах:

- КБМ оснащені броньованими плитами хвилястої форми;
- молольні сталінні кулі  $d = 40$  мм з твердістю металу 400 НВ;
- молольні кулі правильної форми без дефектів, глибина загартованого шару 9-12 мм.

Кульове експлуатаційне завантаження КБМ повинно підтримуватися періодичним поповненням та регулярним сортуванням куль. Цикл поповнення КБМ кулями проводиться при зниженні кульового завантаження не більше чим на 5 % номінального значення, а сортування куль проводиться через 2500–3000 годин їх роботи [1].

При цьому дійсна питома витрата молольних куль  $a_{д}^p$  з врахуванням поправочних коефіцієнтів визначимо за розрахунковими даними:

$$a_{д}^p = a_{н} \cdot k_p, \quad (1)$$

де:  $a_{н}$  – питома витрата куль без врахування коефіцієнтів, що впливають на продуктивність млина;

$k_p$  – розрахунковий коефіцієнт, що враховує зміну пилопродуктивності млина в порівнянні з нормативним значенням, його визначаємо:

$$k_p = k_{кв} \cdot k_{вл} \cdot k_{зол}, \quad (2)$$

де:  $k_{кв}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення кульового завантаження барабана млина;

$k_{вл}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення вологості вугілля;

$k_{зол}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення зольності вугілля.

Відомий метод експериментального розрахунку питомої витрати молольних куль. За експериментальними розрахунками дійсна питома витрата молольних куль  $a_{д}^e$  можна визначити

$$a_{д}^e = a_{н} \cdot k_e, \quad (3)$$

де  $k_e$  – експериментальний коефіцієнт, що враховує зменшення пило продуктивності млина в порівнянні з нормативним значенням.

$$k_e = \frac{\int_0^{\tau} b_1^n dt}{\int_0^{\tau} b_1^e dt} = \frac{B_1^n}{B_1^e}, \quad (4)$$

де  $\tau$  – час роботи млина;

$B_1^n$  і  $B_1^e$  – відповідно проектна і фактична продуктивність млина.

Із зменшенням кульового завантаження КБМ при незмінних інших факторах фактична його продуктивність визначається:

$$B_1^e = B_1^n \left( \frac{G_1^e}{G_1^n} \right)^{0.6}, \quad (5)$$

де  $G_1^e$  і  $G_1^n$  – відповідно фактичне та нормативне (проектне) кульове завантаження млина.

В залежності від зміни вологості палива фактична пилопродуктивність млина можна визначити за формулою [8].

$$B_1^e = B_1^n \left( \frac{W_1^e}{W_1^n} \right)^m, \quad (6)$$

де  $W_1^e$  і  $W_1^n$  – відповідно проектна та фактична вологість палива, %;

$m$  – показник степені, що характеризує марку палива.

При сталому значенні вологості палива коефіцієнт  $k_{кв}$  знайдено зі співвідношення :

$$k_{\text{вз}} = \left( \frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{п}}} \right)^{0,6}, \quad (7)$$

а при сталому значенні завантаження КБМ кулями,  $k_{\text{вЛ}}$  визначемо:

$$k_{\text{вЛ}} = \left( \frac{W_{\text{в}}^2}{W_{\text{п}}^2} \right)^m, \quad (8)$$

де  $m$  – показник степені який характеризується маркою вугілля, наприклад, для вугілля марки АШ  $m = 1$ , для інших марок вугілля він буде мати інше числове значення. Коефіцієнт  $k_{\text{вЛ}}$  – характеризує марку вугілля величину і якісний склад золи, зазвичай приймають в розрахунках за характеристикою палива. Так для вугілля марки АШ  $k_{\text{вЛ}} = 1,2$ .

Кінцевим результатом отримання аналітичних залежностей розрахунків  $a_{\text{д}}^{\text{п}}$  і  $k_{\text{р}}$  є порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних досліджень з уточненням величини показників степені  $m$  в формулах визначення вологості палива та кульового завантаження КБМ.

У відповідності до вимог [1, 9] для ефективності роботи КБМ потрібно періодично поповняти барабан кулями при зниженні завантаження. Враховуючи нерегулярність постачання на електростанції куль приписані вимоги часто не виконуються, що приводить до зменшення діаметру куль позанормативне значення. При цьому відбувається інтенсивне їх зношення. Зменшення діаметру куль відбувається не рівномірно по об'єму барабана млина, що приводить до зниження його ефективності роботи.

Для визначення дійсної питомої витрати молольних куль потрібно ввести коефіцієнти які враховують нерівномірність зменшення та зношення їх без регламентованого поповнення кулями КБМ

Тоді коефіцієнт, який враховує зміну діаметра куль можна записати у вигляді:

$$k_{\text{дк}} = k_{\text{дк}}^{\text{с}} \cdot k_{\text{дк}}^{\text{т}}, \quad (9)$$

де  $k_{\text{дк}}^{\text{с}}$  – коефіцієнт, що враховує використання молольних куль з діаметром меншим за проектне значення (40 мм);

$k_{\text{дк}}^{\text{т}}$  – коефіцієнт усередненого значення зменшення діаметра куль при роботі КБМ без регламентного поповнення куль.

У відповідності [1] коефіцієнт  $k_{\text{дк}}^{\text{с}}$  – визначається за формулою:

$$k_{\text{дк}}^{\text{с}} = \frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{с}}}, \quad (10)$$

де  $d_{\text{п}}$  і  $d_{\text{с}}$  – відповідно проектний та початковий діаметр куль, що поповнюється барабан млина.

Коефіцієнт  $k_{\text{дк}}^{\text{т}}$  визначається так:

$$k_{\text{дк}}^{\text{т}} = \frac{d_{\text{п}}}{d^{\text{т}}}, \quad (11)$$

де  $d^{\text{т}}$  – усереднений діаметр куль в барабані після довготривалої роботи КБМ без поповнення його молольними кулями.

Для більш точного визначення усередненого діаметру куль, барабан умовно поділяють на  $n$  ділянок і визначають на кожній ділянці середній діаметр зношених куль із проб, що відбираються, після чого усереднений діаметр визначають за формулою:

$$d^{\text{т}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad (12)$$

Встановлено, що коефіцієнт  $k_{\text{дк}}^{\text{т}}$  не залежить від продуктивності КБМ а визначається лише початковим та кінцевим діаметром молольних куль. Отже при відповідному  $d_{\text{с}}$

коефіцієнт  $k_{дк}$  визначається після визначення кінцевого усередненого діаметру зношених куль  $d''$ .

У відповідності з [7] кульове завантаження в кінці періоду роботи КБМ розраховується за формулою

$$G_k = \left(\frac{d_{\Phi}}{d_0}\right)^3 \cdot G_{к0}, \quad (13)$$

де  $G_{к0}$  – початкове завантаження КБМ молотильними кулями;

$d_{\Phi}$  і  $d_0$  – відповідно фактичне (кінцеве) та початкове значення діаметру куль завантаження барабана млина.

При цьому кінцевий діаметр куль визначається

$$d_{\Phi} = d_0 \left(\frac{G_k}{G_{к0}}\right)^{0,33}, \quad (14)$$

Якщо поділити тривалість експлуатації КБМ на певні періоди в кількості  $n$  то для окремих періодів експлуатації кінцеве кульове завантаження барабана млина визначається залежністю

$$G_{кi}'' = \alpha_n \cdot G_{к0}, \quad (15)$$

де  $G_{к0}$  – початкове кульове завантаження барабана першого періоду;

$\alpha$  і  $n$  – відповідно частка від початкового кульового завантаження отриманого періоду та його порядковий номер.

#### Розрахунки поправочних коефіцієнтів до питомої витрати молотильних куль

Розрахунки поправочних коефіцієнтів до питомої витрати молотильних куль виконано на основі розробленого методу та з використання експлуатаційних даних, що отримано на котлах ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 300 МВт.

При розрахунках для котла ТПП-210А з КБМ 370/850 (Ш-50А) прийняті такі проектні показники:

- максимальне робоче кульове завантаження –  $G_k^n = 90$  т;
- вологість палива –  $W_{п}^p = 7,5$  %;
- пилопродуктивність  $B_{п}^n = 50$  т/год;

Для котлів ТПП-312 енергоблоків 300 МВт ці показники відповідно будуть мати такі значення:

$$G_k^n = 87 \text{ т}; W_{п}^p = 11 \% \text{ і } B_{п}^n = 76 \text{ т/год.}$$

Результати аналітичних та експериментальних досліджень з визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати молотильних куль для КБМ 370/850 (Ш-50А) котлів ТПП-210 та ТПП-312 енергоблоків 300МВт приведені в таблиці.

Дослідження проводяться з різним кульовим завантаженням млинів та з різною характеристикою вугілля. Порівняльний аналіз показує, що у зазначеному у таблиці діапазоні кульового завантаження млинів та вологості вугілля похибка між аналітичними розрахунками за запропонованим методом та експлуатаційними дослідженнями поправочних коефіцієнтів не суттєва, що підтверджує достовірність запропонованого методу. При цьому узагальнюючий поправочний коефіцієнт  $k_{уз}$  режиму роботи КБМ визначався за формулою.

$$k_{уз} = k_e \cdot k''$$

Як видно із результатів досліджень, що наведені в таблиці  $k_{уз}$  із зменшенням кульового завантаження млина збільшується, причому для різних марок вугілля і типу котлів має різні числові значення.

При цьому результати розрахунків показали, що значення поправочних коефіцієнтів в стабільних режимах роботи КБМ не мають сталого значення, а залежать від фактичних показників роботи пилосистем котлів ( $G_k, W_{п}^p, k_{то}$ ). Чим більші відхилення режимів роботи пилосистем котлів від проектних умов тим більше змінюється величини поправочних коефіцієнтів, і тим більше потрібно корегувати значення питомої витрати молотильних куль.



Таблиця

Результати розрахунку визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати  
молотьних куль

Найменування	Котел ТПП-210А			Котел ТПП-312		
	1	2	3	1	2	3
Продуктивність млина $B_m$ , т/год.	35,5	46,1	47,36	53,1	69,15	72,18
Кульове завантаження млина, $G_k$ , т.	65,2	85,1	95,0	50,2	72,1	87,3
Вологість вугілля, $W^P$ , %.	8,7	7,9	8,2	11,2	11,45	11,1
Розрахункові величини поправочних коефіцієнтів						
$k_{вл}$ .....						
$k_{пз}$ .....	1,13	1,04	1,09	1,01	1,03	1,01
$k_{зол}$ .....	1,27	1,07	1,01	1,35	1,21	1,02
$k_p$ .....	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,43	1,11	1,10	1,36	1,25	1,03
Експериментальний коефіцієнт, $k_e$	1,42	1,10	1,10	1,35	1,24	1,02
Коефіцієнт зменшення діаметра куль, $k''$	1,47	1,04	1,0	1,61	1,02	1,01
Узагальнений коефіцієнт $k_{уз}$	2,02	1,14	1,10	2,17	1,26	1,03

### Висновки

1. За результатами аналізу досліджень пилосистеми з млинами типу КБМ 370/850 (Ш-50А) при розмелюванні кам'яного вугілля марки ГСШ та марки АШ досліджено зношення металу молотьних куль, розроблено і експериментально перевірено метод визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати куль КБМ.

2. Встановлено, що чисельне значення додаткових поправочних коефіцієнтів залежить від реальних умов експлуатації КБМ та марки вугілля, що поступає на розмел і суттєво зростає у випадку значних відхилень роботи КБМ від розрахункових (проектних) значень.

3. Додаткові поправочні коефіцієнти до питомої витрати куль потрібно визначати у відповідності з фактичними умовами експлуатації КБМ за допомогою запропонованого методу.

### Список використаної літератури:

1. Норми витрати куль для вуглерозмелювальних млинів кульових барабанних на розмел антрациту кам'яного та бурого вугілля. СОУ –НМПЕ 40.1.10.333.2005.-К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005 – 17 с.
2. Голишев Л. В., Мисак Й. С., Міщенко Ю. М., Кравець Т. Ю. Визначення поправочних коефіцієнтів до питомої витрати розмелювальних куль у разі розмелювання вугілля марки АШ // Энергия и электрофикация, 2005. № 10. – С. 6–9.
3. Гольшев Л. В. Мисак И. С. Метод расчета поправочных коэффициентов к удельному расходу мелющих шаров // Электрические станции, 2007, № 2. – С. 33–35.
4. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (Нормативные документы) Л.: ЦКТИ – ВТИ, 1971. – 231 с.

5. Леват Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 275 с.
6. Трёмбовля В. И. Теплотехнические испытания котельных установок – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 486 с.
7. Лебедев А. А. Подготовка и размол топлива на электростанциях. – М.: Энергия 1969. – 425 с.
8. Голишев Л. В., Мисак Й. С., Кравец Т. Ю. Визначення продуктивності кульового барабанного млина при розмелюванні кам'яного вугілля погіршеної якості // Энергетика и электрофикация. – 2000 № 8. – С. 13–15.
9. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила ГКД 34.20.507 – 2003. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2003. – 628 с.

**References:**

1. Application rates of hydrocarbon balls for grinding mills ball mill drum for anthracite coal and lignite [Normy vytraty dlya vuglerozmelyubalnykh mlyniv kulkovykh barabannykh na rozmel antratsytu ta burogo vugillya] SOU – NMPE 40.1.10.333.2005.-К.: ОЕП «GRIFRE», 2005. – 17 p.
2. Golishev L. V., Mysak J. S., Mishchenko J. M., Kravec T. J., Determination of correction factors to specific discharge grinding balls when grinding coal of ASH [Byznachennya popravochnykh koeffitsientov do pytomoyi vytraty romelyuvalnykh kul u razi romelyuvannyavugillya marki ASH] // Energy and Electrification. 2005. №10. p. 6-9.
3. Golishev L.V., Mysak J. S., Method of calculating the correction factors to the specific consumption of grinding balls [Metod rascheta popravochnykh koeffitsientov k udelnomu raskhodu melyushchikh sharov] // Power Stations, 2007 № 2, P. 33–35.
4. Calculation and design of coal preparation plant boilers [Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов] (Regulations) L.: ZKTI – BTI, 1971 – 231 p.
5. Levat G. T., Pulverization in thermal power plants [Пылеприготовление на тепловых электростанциях] – М.: Энергоатомиздат, 1991 – 275 p.
6. Trembovliya V. I., Thermal testing of boiler installations [Теплотехнические испытания котельных установок] – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 486 p.
7. Lebedev A. A., Preparation and refining of fuel on power stations [Подготовка и размол топлива на электростанциях] – М.: Energy 1969. – 425p.
8. Golishev L. V., Mysak J. S., Kravec T.J., Defining performance ball mill drum during grinding coal impaired quality [Vyznachennya produktyvnosti kulkovogo barabannogo mlyna pry povehuvanni kamyanogo vugillya pogirshenoї yakosti] // Energy and electrification. – 2000. – № 8. – P. 13–15.
9. Technical operation of power stations and networks [Технічна експлуатація електричних станцій і мереж] URL Rules. 34.20.507 – 2003. – К.: ОЕП «GRIFE», 2003. – 628 p.

Поступила в редакцию 20. 02 2015 г.