

## ЗАВИСИМОСТ НА КОЕФИЦИЕНТА НА НАПЪЛВАНЕ С ТОПКИ НА БАРАБАНАННИТЕ МЕЛНИЦИ ОТ ИЗРАЗХОДВАНАТА МОЩНОСТ С ЦЕЛ ОПРЕДЕЛЯНЕТО МУ ПО ВРЕМЕ НА ДВИЖЕНИЕ

**Иван Минин**

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, [minin@dir.bg](mailto:minin@dir.bg)

**РЕЗЮМЕ.** Коефициентът на напълване с топки на барабана на топковите мелници е основен параметър. От него зависят основните технологични параметри на барабанните топкови мелници като: относителен енергоразход за единица готов продукт, относителна производителност, добив на разчетна класа, циркуляционен товар и др. Поради непрекъснатото износване на облицовките на барабана на мелницата и износването на самите топки и добавянето на нови, той се променя и е необходимо да бъде измерван и контролиран. Измерването му става най-често при спиране на мелницата, а това не е възможно да се прави често по технологични и икономически причини. Този проблем не съществува при съвременните мелници, оборудвани с товарна клетка. В настоящата статия е показан начин за аналитично определяне на коефициента на напълване само с измерване на мощността, черпена от двигателя на мелницата без да е необходимо спиране на съоръжението.

**Ключови думи:** мелница, относителна скорост, коефициент на напълване, топков товар.

### ESTABLISHMENT OF THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF FILLING WITH BALLS FOR DRUM MILLS ON THE POWER CONSUMPTION IN ORDER OF ITS DETERMINATION DURING MOTION

**Ivan Minin**

University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: [minin@dir.bg](mailto:minin@dir.bg)

**ABSTRACT.** The coefficient of filling with balls of the drum of ball mills is a key parameter. It depends on the basic technological parameters of drum ball mills such as relative energy consumption per unit of product, relative productivity, yield of estimated fraction, circulating load and others. Due to the constant abrasion wear of drum linings and of the balls themselves, as and the addition of new ones, it changes and it is necessary to be measured and controlled. Its measurement most frequently is during a cessation of operation of the mill and this can not be done often for some technological and economic reasons. This problem does not exist in modern mills that are equipped with load cell. This article shows the way of analytical determination of the coefficient of filling only through measurement of the power for the mill engine with no need to stop the facility.

**Keywords:** mill, relative speed, coefficient of filling, ball load.

### Теоретична постановка

Механичният режим на работа на барабанните мелници се характеризира с два основни параметъра:

1. Коефициент на запълване с топки в барабанните мелници - определя се съгласно израза:

$$\varphi = \frac{V_{mc}}{V} = \frac{4 \cdot M_{mc}}{\rho_{mc} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L} \quad (1)$$

където:

- $M_{mc,t}$  - маса на мелещите тела;
- $\rho_{mc}, t/m^3$  - насипна плътност на мелещите тела;
- $D$  - диаметър на барабана, m;
- $L$  - дължина на барабана, m.

Насипната плътност на мелещите тела зависи от техния фракционен състав и плътността на материала, от който са изработени. При приближени разчети насипната плътност на топките (1) е приета  $\rho_{mc} = 4,514t/m^3$ .

Мелещата среда в барабанните мелници се увелича в движение от силите на триене, които възникват между въртящата се вътрешна повърхност на барабана (облицовката) и прилягащата ѝ сила на мелещата среда, а също и вследствие на триенето между останалите слоеве от мелещи тела.

2. Относителна ъглова скорост на барабана  $\psi$ , равна на отношението на фактичката ъглова скорост  $\omega$  към условната критична ъглова скорост  $\omega_{кр}$ .

$$\psi = \frac{\omega}{\omega_{кр}} \quad (2)$$

Влизащата във формула (2) условна критична ъглова скорост на въртене на барабана на мелницата съответства на такава скорост на въртене, при която силата на инерцията на въртеливото движение на мелещото тяло с център на тежестта на вътрешната повърхност на барабана е равна на силата на тежестта на това тяло. В този случай мелещото тяло е с безкрайно малки размери, повдигнато е в най-горната точка на барабана, намира се в

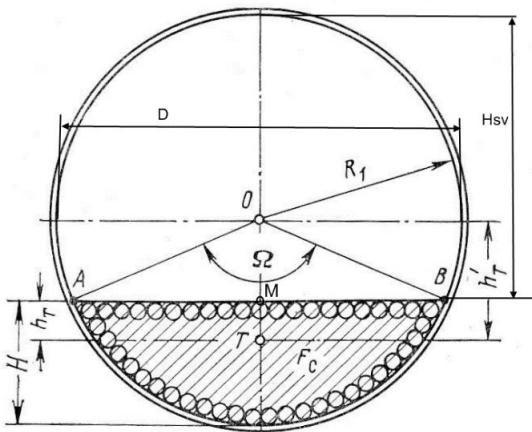
динамично равновесие, т.е. не се отделя от повърхността на барабана (облицовката), върти се заедно с нея като едно цяло (центрофугира). Условната критична скорост се определя по формулата:

$$\omega_{KP} = \frac{42,3}{\sqrt{D}}, \text{rad/s} \quad (3)$$

Където:  $D$  е диаметър на барабана на мелницата, m.

### Определяне на коефициента на запълване с топки на барабанни мелници тип МШЦ 4,5х6, смилаци медни руди.

Определянето на коефициента на напълване с топки се прави при спряна мелница, когато топковият товар застава както е показано на фиг.1. Съгласно фиг. 1 е възможно да се определят параметрите на напълването на барабана с мелеща среда, както следва:



Фиг. 1. Измерване на размерите на мелницата и определяне на масата на топковия товар

Централен ъгъл, определен от сектора зает с мелеща среда:

$$\cos \frac{\Omega}{2} = \frac{OM}{AO} = \frac{H - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{2H - D}{D} \quad (4)$$

Площ на сектора, зает с мелеща среда:

$$S_{AB} = \frac{D^2}{4} \arccos \left( \frac{2H_{SV} - D}{D} \right) - \left( H_{SV} - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left( H_{SV} - \frac{D}{2} \right)^2}, \text{m}^2 \quad (5)$$

Обем на сектора, зает с мелеща среда:

$$V_{mc} = V_{AB} = L \cdot S_{AB}, \text{m}^3 \quad (6)$$

Масата на сектора, зает с мелеща среда, може да бъде определена съгласно израза:

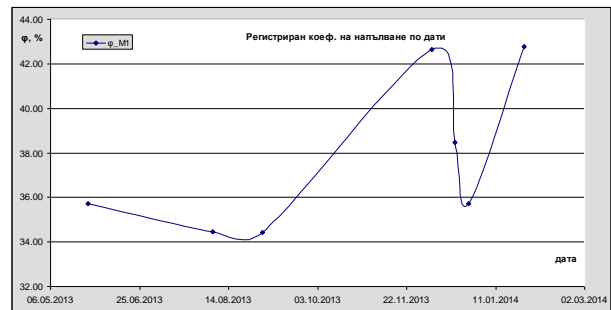
$$M_{AB} = \rho_{mc} L S_{AB}, t \quad (7)$$

където: " $\rho_{mc}$ " е плътността на мелещата среда, приета за средна плътност  $\rho_{mc} = 4,514 \text{t/m}^3$  на топки с различни размери в резултат на износването.

Тогава коефициентът на запълване с мелещи тела се определя:

$$\varphi = \frac{V_{mc}}{V} = \frac{4 \cdot L \cdot S_{AB}}{\pi \cdot D^2 \cdot L} = \frac{4 \cdot S_{AB}}{\pi \cdot D^2} \cdot 100, \% \quad (8)$$

Използвайки горната методика, се определи коефициентът на запълване с топки на 8 барабанни мелници тип МШЦ 4,5 х 6 на дати, когато те са спирани за ремонт, профилактика или по технологични причини. Регистрираните данни за коефициента на напълване за една произволно избрана мелница са показани последователно за отделните месеци на фиг.2. Графично и таблично са представени коефициентът на напълване и измерванията на вътрешния диаметър на барабана на избраната мелницата, както и измерената часова средна мощност на двигателя преди спирането таблично в табл.1.



Фиг. 2. Коефициент на напълване на избрана мелница регистриран по дати

От кривата, показана на фигура 2, е видно, че коефициентът на напълване с топки се променя в сравнително големи граници. Това се дължи от една страна на износване на топките в зависимост от количеството и едрината на постъпващата в мелницата руда, а от друга - на неравномерно подаване на нови топки в барабана на мелницата. Това става по методика, която отчита само количеството преработена руда и не отчита физико-механичните свойства на рудата, които често са различни в рамките на едно рудно находище. Много често на процеса влияят и субективни фактори като неравномерни доставки на нови топки в обогатителните фабрики, доставка на топки с различна твърдост и състав и т.н.

Таблица 1.

Измерени  $D, H_{SV}, H_{sv}$  и изчислени  $\varphi$  за избраната мелница

	$D$	$H$	$\varphi$	$M_T$	$P$	$\psi$
	m	m	%	t	kW	
	1	2	3	4	5	6
1	4.24	2.60	35.7101	139.2	2080	0.8
2	4.30	2.68	34.467	138.1	2110	0.8
3	4.33	2.70	34.4299	139.9	1800	0.8
4	4.23	2.36	42.642	165.4	2065	0.8
5	4.23	2.50	38.4757	149.2	2010	0.8
6	4.24	2.60	35.7101	139.2	2109	0.8
7	4.22	2.35	42.7745	165.1	2200	0.8

## Намиране на взаимовръзки между механичните параметри на изследваните мелници

Параметрите на механичния режим на мелницата се определят по три основни параметъра:

- консумирана мощност -  $P$ , kW;
- коефициент на напълване на барабана с топки -  $\varphi$ , %;
- относителна ъглова скорост (спрямо критичната) - скоростен фактор на режима на работа на мелницата -  $\psi$ ;

Между тези три фактора е възможно да се определи зависимост.

Поради факта, че в процеса на предаване на мощността има фактори, които не са прецизно детерминирани, е избран подход на регистриране на взаимовръзките между коефициента на напълване и консумираната мощност. Тъй като диаметърът на барабана в процеса на износване на облицовките се променя, съответно се повлияват и коефициентът на напълване, и относителната ъглова скорост. В случая влиянието върху скоростния фактор няма как да бъде контролирано или определено, тъй като изследваните мелници нямат регулируемо задвижване. Поради тази причина е търсена взаимовръзка между коефициента на напълване и мощността на консумирана от двигателя на мелницата.

На базата на събраните данни и с помощта на съответните компютърни програми са разкрити зависимости от следния тип:

$$\varphi = A_1 \cdot P + A_2 \cdot P^2, \quad (8)$$

като за всички зависимости са изпълнени статистическите критерии за оценка и адекватност. Данните за функциите за 8-те изследвани мелници са дадени в табл. 2.

Таблица 2.  
Зависимост между коефициента на напълване и мощността

	$A_1$	$A_2$	$\varphi$ ( $P_{min}$ )	$\varphi$ ( $P_{mid}$ )	$\varphi$ ( $P_{max}$ )
1	0.0233799	-0.0000023	34.53	38.18	40.15
2	0.0186998	-0.0000009	33.75	37.57	39.08
3	-0.0006767	0.0000083	34.01	34.46	39.62
4	0.0282288	-0.0000051	34.41	35.65	36.49
5	0.0095378	-0.0000034	33.40	35.34	37.97
6	0.0281969	-0.0000053	34.01	35.68	36.34
7	0.0452425	-0.0000137	36.48	35.53	34.40
8	0.0183695	-0.0000007	35.36	37.35	40.29

## Изводи

Аналитично определената връзка между коефициента на напълване и мощността на двигателя на мелницата с износването на облицовките дава възможност да бъде определен коефициентът на напълване с топки, без да се налага спирането на мелничния агрегат.

Отрицателният знак пред коефициента  $A_2$  отчита намаляването на изразходваната мощност с повишаването на коефициента на напълване в малка зона от изменението му, дължащо се на преместването на центъра на тежестта на изнесените по посока на движение от центробежните сили топки към оста на въртене на мелницата.

При използване на показаната в настоящата статия методика е препоръчително да се направят повече на брой измервания с цел подобряване на статистическите критерии за оценка и адекватност.

## Литература

- Божанов Емил С., Иван Н. Вучков, "Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти", София, Техника, 1973.
- Олевский В., „Размольное оборудование обогатительных фабрик”, Москва, 1963.
- Христо Цветков, „Обогатителни машини”, Техника, София 1976.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините”.