

INFLUENȚA DIFERIȚILOR FACTORI ASUPRA DEBITULUI MORILOR TUBULARE CU BILE

Gheorghe ENE, Prof.dr.ing.,
UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI,
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI MECATRONICĂ

Abstract

In this paper are presented the influences of different factors above the throughput of ball mills the degree of the drum filling, relative speed of drum, fineness of grinding material, the drum dimension (diameter, length and ratio L/D).

For a concrete case, must establish the diagrams of variations of these parameters which influence above the throughput of the mill.

1. GENERALITĂȚI

Debitul morilor tubulare cu bile este influențat de o multitudine de factori:

➤ Factori care depind de materialul supus măcinării: natura materialului, duritatea, rezistența de rupere (la compresiune, forfecare), existența defectelor structurale (pori fisuri, neomogenități ale structurii, compoziției și durității etc.), granulația materialului alimentat în moară, finețea de măcinare (granulația materialului evacuat din moară) etc;

➤ Factori care depind de parametrii funcționali ai morii: dimensiunile tamburului (diametrul, lungimea), turația tamburului, gradul de umplere al acestuia cu corpuri de măcinare;

➤ Factori care depind de construcția morii: numărul de compartimente, tipul pereților despărțitori și particularitățile constructive ale acestora, tipul și forma blindajelor, tipul și dimensiunile corpurilor de măcinare, tipul funcționării morii (în circuit deschis sau în circuit închis), tipul evacuării materialului măcinat (liberă, prin diafragmă, pneumatică, etc.).

Este foarte dificil de exprimat analitic influența majorității acestor factori asupra debitului morilor tubulare cu bile.

2. CONSIDERAȚIUNI TEORETICE

Între debitul morii și puterea de acționare există corelația [1,2]:

$$Q = \frac{1}{E_{sp}} \cdot N = Q_{sp} \cdot N, \quad t/h \quad (1)$$

unde: N este puterea necesară morii, kW ; E_{sp} – consumul specific de energie necesar măcinării materialului, kWh/t ; Q_{sp} – debitul specific (cantitatea de material, exprimată în tone care poate fi măcinată cu un consum de energie de $1 kWh$, (t/kWh)).

Din relația (1) rezultă că debitul va fi influențat de toți factorii care influențează consumul specific de energie (sau debitul specific) și puterea de acționare.

Ținând seama că puterea necesară morii este definită de expresia:

$$N = C^* \cdot G \cdot \sqrt{D}, \quad kW \quad (2)$$

în care masa încărcăturii de măcinare este:

$$G = \varphi \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{cm}, \quad t \quad (3)$$

relația (1) poate fi pusă sub forma:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{sp} \cdot C^* \cdot G \cdot \sqrt{D} = Q_{sp} \cdot C^* \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{cm} \cdot \sqrt{D} = \\ &= Q_{sp} \cdot C^* \cdot \varphi \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot D^{2,5} \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot Q_{sp} \cdot \varphi \cdot \lambda \cdot C^* \cdot D^{3,5} \end{aligned} \quad (4)$$

unde, $\lambda = L/D$.

În relația (4), φ este gradul de umplere al tamburului morii cu încărcătura de măcinare; ρ_{cm} – densitatea în grămadă a corpurilor de măcinare; D – diametrul interior util al tamburului, iar L – lungimea utilă a acestuia.

Utilizând relația (4) pot fi puse în evidență o serie de influențe asupra debitului morii.

3. INFLUENȚA CANTITATIVĂ A DIFERIȚILOR FACTORI ASUPRA DEBITULUI MORII

Influențele se pun în evidență cantitativ pentru cazul concret al unei morii.

3.1 INFLUENȚA GRADULUI DE UMLERE φ

Se utilizează relația (4):

$$Q = Q_{sp} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot \lambda \cdot \varphi \cdot C^* \cdot D^{3,5}, \quad t/h$$

în care s-a considerat:

$$Q_{sp}=0,035 \text{ t/kWh}; \quad \rho_{cm}=4,550 \text{ t/m}^3; \quad \lambda=2,5;$$

$$D=4,18 \text{ m}; \quad \Psi=0,756.$$

Mărimea C^* este variabilă în funcție de gradul de umplere φ , conform tabelului 1, determinat folosindu-se relația (5).

Tabelul 1.

φ	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
C^*	8,6	7,9	7,1	6,1	5,1

Variația debitului în funcție de φ este reprezentă grafic în figura 1.

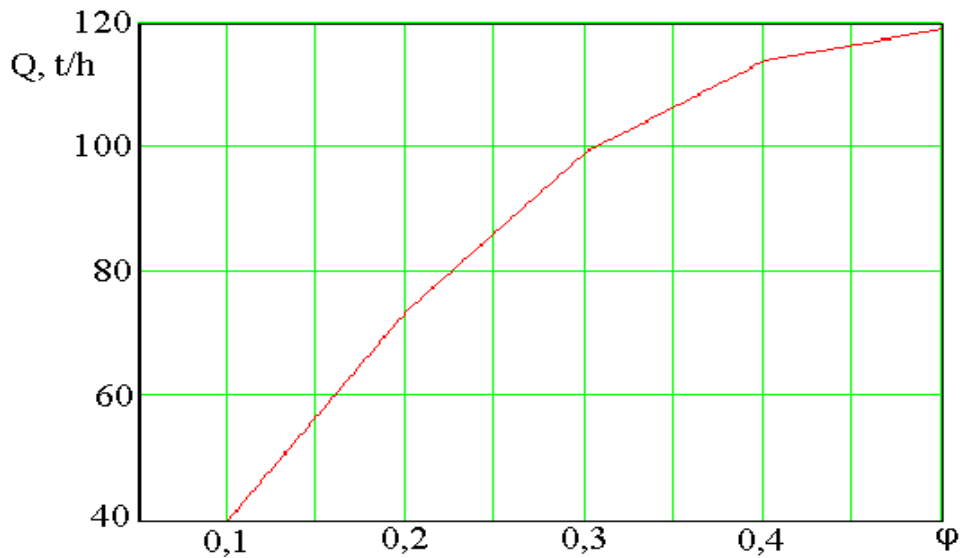


Fig. 1. Influența gradului de umplere asupra debitului

3.2. INFLUENȚA TURAȚIEI TAMBURULUI

În relația (4):

$$Q = Q_{sp} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot \lambda \cdot \varphi \cdot C^* \cdot D^{3,5} \quad t/h$$

s-a considerat:

$$Q_{sp}=0,035 \text{ t/kWh}; \quad \rho_{cm}=4,550 \text{ t/m}^3; \quad \lambda=2,5;$$

$$\varphi=0,30; \quad D=4,18 \text{ m.}$$

Mărima C^* este variabilă în funcție de turația relativă a tamburului $\Psi = n/n_{cr}$ ($n = \frac{32}{\sqrt{D}}$ -

turația tamburului; $n_{cr} = \frac{30 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{D}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}}$ - turația critică a tamburului) conform tabelului 2,

determinat folosindu-se relația (5).

Variația debitului în funcție de Ψ este reprezentată grafic în figura 2.

Tabelul 2.

Ψ	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
C^*	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1

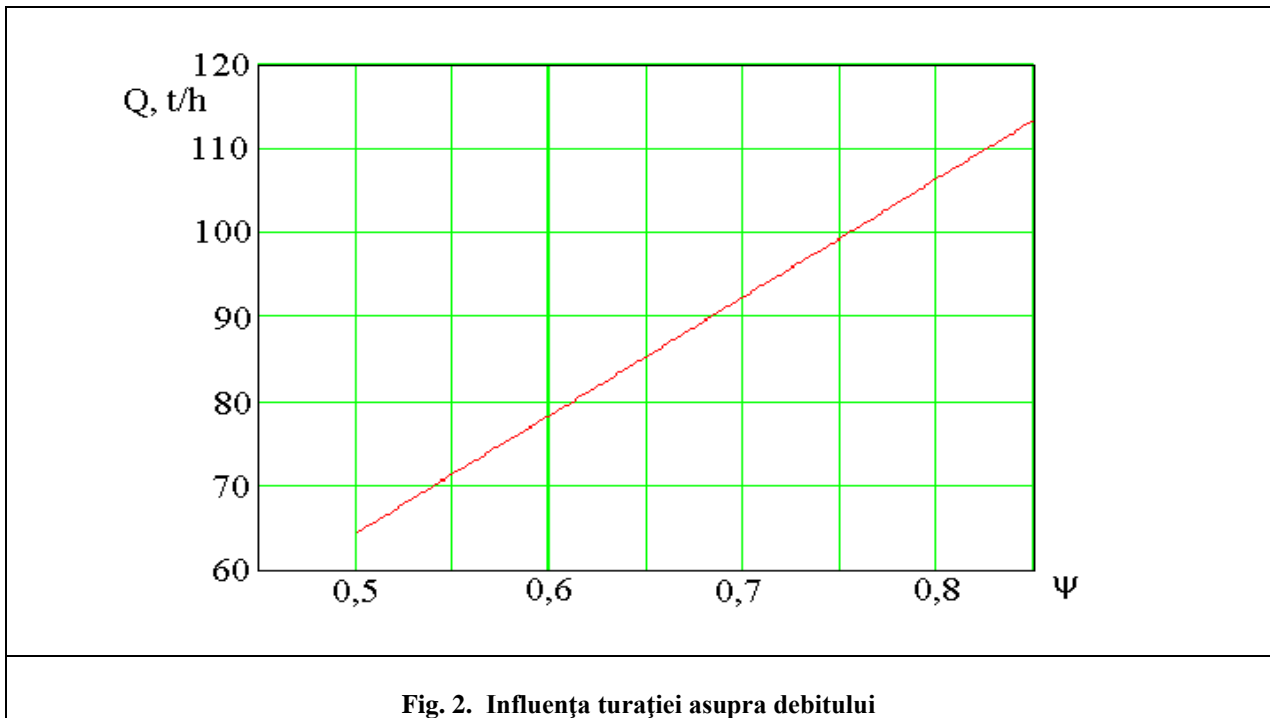


Fig. 2. Influența turației asupra debitului

3.3. INFLUENȚA CUMULATĂ A GRADULUI DE UMLERE ȘI A TURAȚIEI TAMBURULUI

Utilizând relația (4),

$$Q = Q_{sp} \cdot C^* \cdot G \cdot \sqrt{D} \quad t/h$$

în care:

$$C^* = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{3} \cdot \frac{\Psi}{\varphi} \cdot \sin^3 \delta \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

$$G = \varphi \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{cm},$$

și

$$Q_{sp} = 0,035 \text{ t/kWh}; \quad \rho_{cm} = 4,550 \text{ t/m}^3; D = 4,18 \text{ m};$$

$$L = \lambda \cdot D = 2,5 \cdot 4,18 = 10,45 \text{ m}; \quad \alpha = 45^\circ.$$

Mărimea C^* este variabilă în funcție de gradul de umplere φ și de turația relativă a tamburului Ψ , conform tabelului 3, determinat folosindu-se relația (5). Variația debitului în funcție de φ și Ψ (unde s-au dat valorile: $\Psi = 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,80; 0,85$), este reprezentată grafic în figura 3.

Tabelul 3.

φ	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$\sin^3 \delta$	0,765	0,850	0,916	0,963	0,991	1,000

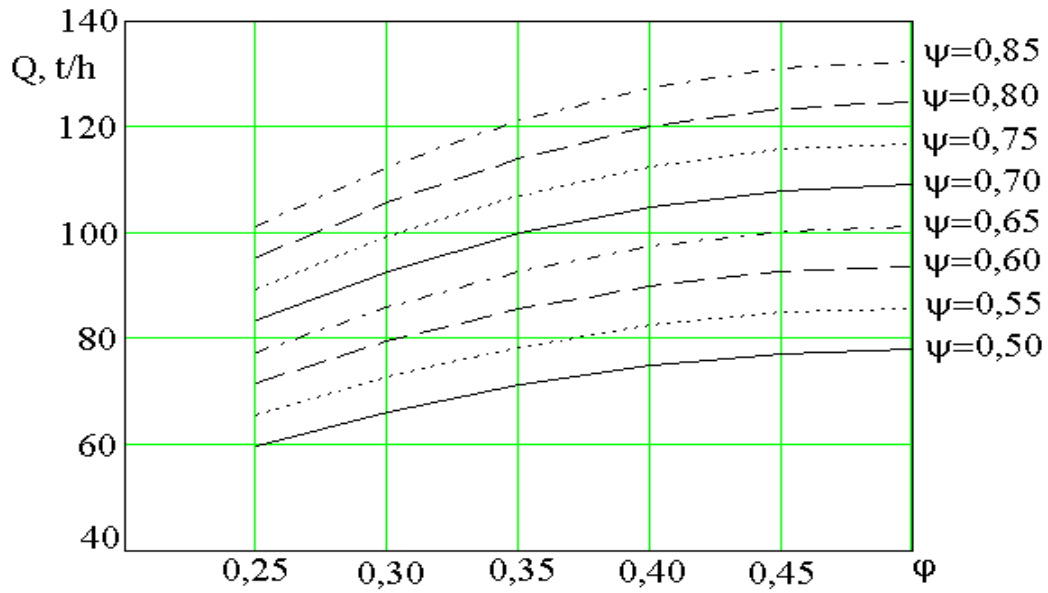


Fig. 3. Influența cumulată a gradului de umplere și a turației asupra debitului

3.4. INFLUENȚA FINEȚII DE MĂCINARE

În relația (4),

$$Q = Q_{sp} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot \lambda \cdot C^* \cdot D^{3,5} \text{ t/h}$$

se introduc valorile debitului specific Q_{sp} din tabelul 4 [1].

Tabelul 4.

$A_{sp} \text{ Blaine, [m}^2/\text{kg]}$	200	300	400	500	600
$Q_{sp}, [\text{t/kWh}]$	0,050	0,035	0,025	0,015	0,010

Variația debitului în funcție de A_{sp} este reprezentată grafic în figura 4.

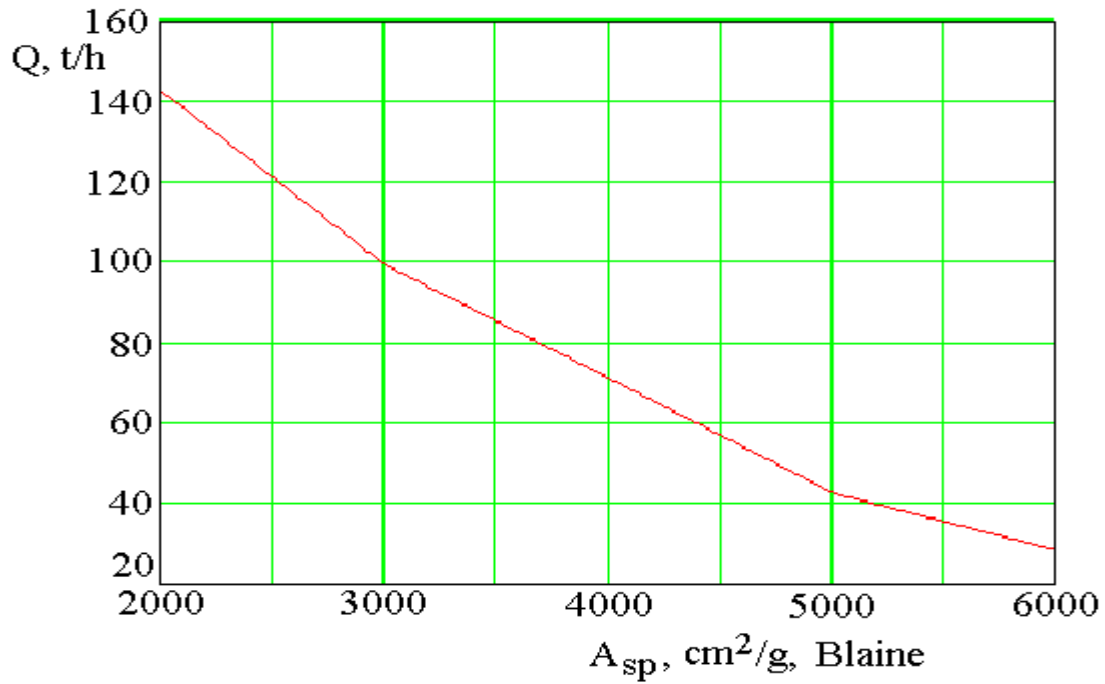


Fig. 4. Influența fineții de măcinare asupra debitului

3.5. INFLUENȚA DIMENSIUNILOR TAMBURULUI

Se utilizează relația (4)

$$Q = Q_{sp} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{cm} \cdot \varphi \cdot C^* \cdot \lambda \cdot D^{3,5}, \quad t/h$$

în care:

$$Q_{sp}=0,035 \text{ t/kWh}; \quad \rho_{cm}=4,550 \text{ t/m}^3; \quad \varphi=0,30; \quad C^*=7,1.$$

Considerând:

$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot D^3}{4} \cdot \lambda = 143,5 \text{ m}^3 = \text{const.}$ și variind mărimile D , λ s-au obținut reprezentările grafice din figura 5 și 6.

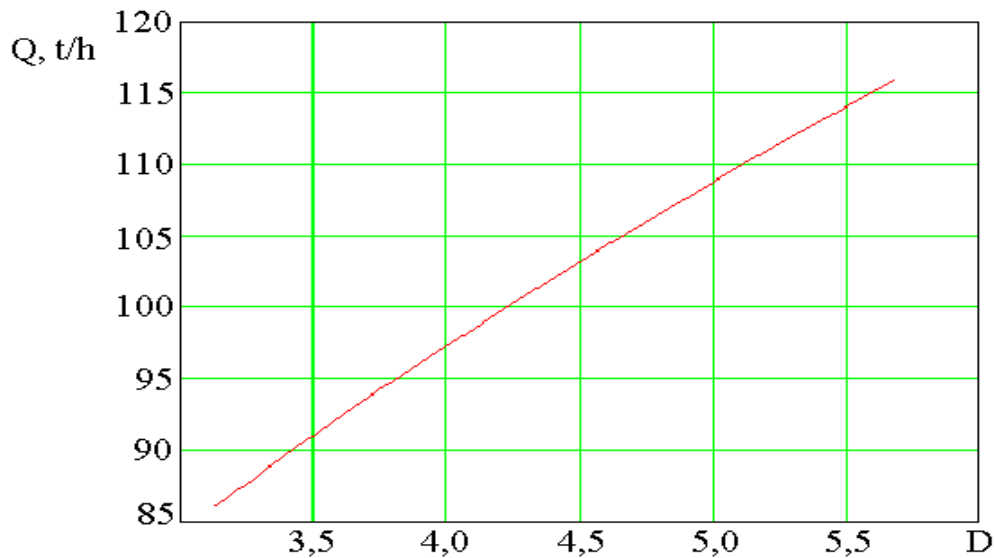


Fig. 5. Influența diametrului tamburului asupra debitului

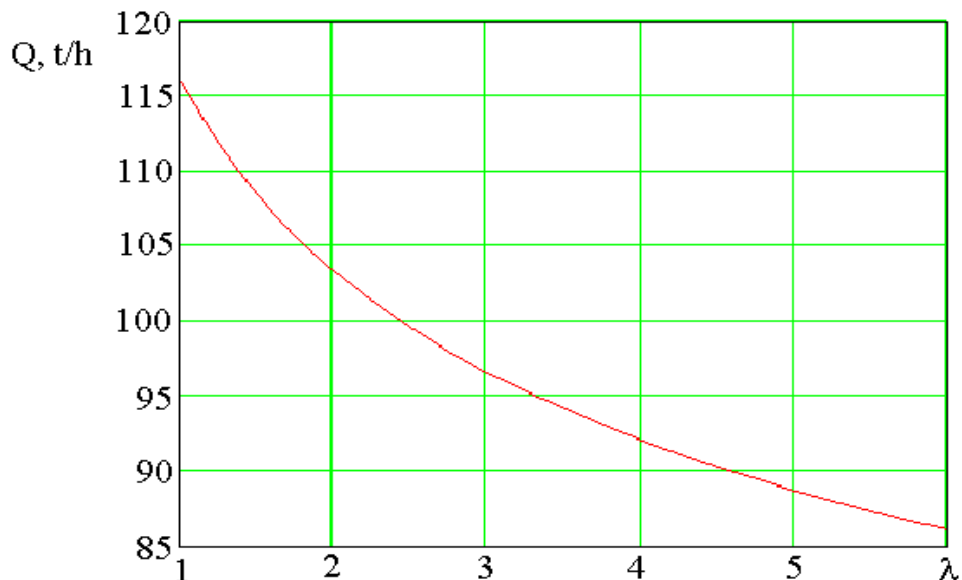


Fig. 6. Influența raportului L/D asupra debitului

4. CONCLUZII

Analizând variațiilor prezentate grafic în figurile 1...6, rezultă următoarele *concluzii*:

1. Debitul morii are o variație crescătoare, în funcție de gradul de umplere până la valoarea $\varphi = 0,5$. O creștere a valorii φ peste valoarea $\varphi = 0,5$, conduce la scăderea debitului, atât datorită reducerii razei R_0 a centrului de greutate care conduce la reducerea puterii de acționare N ($Q = Q_{sp} \cdot N$), cât și datorită scăderii eficienței măcinării, ca urmare a reducerii înălțimii de cădere H a corpurilor de măcinare, care conduce la reducerea intensităților șocurilor acestora.

La moara de față, pentru $\varphi = 0,30$, $Q = 100$ t/h, o creștere a gradului de umplere până la valoarea $\varphi = 0,50$, conduce la o creștere a debitului de aproximativ 20 % ($Q \approx 120$ t/h).

2. Debitul crește direct proporțional cu turația tamburului n , respectiv cu mărimea $\Psi = n/n_{cr}$. Eficiența maximă a măcinării are loc pentru $\Psi = 0,756$, când înălțimea de cădere a corpurilor de măcinare este maximă, iar intensitatea șocurilor acestora asupra materialului este de

asemenea maximă. O sporire a turației peste această valoare conduce la o creștere a debitului, însă ca urmare a creșterii numărului șocurilor bilelor asupra materialului în unitatea de timp, astfel că, pentru $\Psi=0,756$, $Q=100$ t/h, iar la $\Psi=0,85$, $Q=113$ t/h, deci o creștere de 13 %.

3. Influența combinată a gradului de umplere și a turației asupra debitului este utilă pentru adoptarea unor valori convenabile a parametrilor funcționării de regim a tamburului. Se observă că același debit $Q=100$ t/h se obține pentru $\varphi = 0,30$ și $\Psi=0,765$ sau pentru $\varphi = 0,35$ și $\Psi=0,75$, sau pentru $Q=0,45$ și $\Psi=0,65$ etc. Pentru $\Psi=0,765$, o creștere a gradului de umplere de la valoarea $\varphi = 0,30$ la valoarea $\varphi = 0,40$, conduce la o creștere a debitului de aproximativ 13 % ($Q=113$ t/h).

4. Finețea de măcinare influențează puternic asupra debitului morii și anume, debitul morii scade mult cu creșterea fineții de măcinare a materialului. Astfel pentru o finețe de măcinare $A_{sp}=300$ m²/kg Blaine, debitul morii este $Q=100$ t/h. Reducerea fineții de măcinare la 250 m²/kg conduce la o creștere a debitului de 20 % ($Q=120$ t/h) iar o creștere a fineții la 350 m²/kg, la o scădere a debitului cu 20 % ($Q=80$ t/h).

5. Debitul morii este influențat de dimensiunile tamburului morii. El variază cu diametrul la puterea 2,5 și cu lungimea la puterea 1. Dacă se introduce parametrul constructiv $\lambda = L/D$, atunci debitul variază cu diametrul la puterea 3,5 și λ la puterea 1.

Variațiile debitului cu diametrul D și parametrul $\lambda = L/D$, pentru o valoare constantă a volumului tamburului sunt prezentate în figurile 5 și 6. Pentru o valoare $D=4,18$ m și în anumite valori ale parametrilor constructivi și funcționali, debitul morii este $Q=100$ t/h. În aceleași condiții, dacă diametrul se micșorează la valoarea $D=3,5$ m, debitul scade la valoarea $Q=92$ t/h, iar dacă diametrul crește la valoarea $D=5,0$ m, debitul crește la $Q=108$ t/h.

Pentru $\lambda=2,5$, $Q=100$ t/h. La $\lambda=2,0$, debitul atinge valoarea $Q=102$ t/h, la valoarea $\lambda=3,0$, $Q=98$ t/h, iar la valoarea $\lambda=4,0$, $Q=94$ t/h.

Deoarece la un volum constant al tamburului, cu creșterea diametrului D , mărirea $\lambda = L/D$ scade și invers trebuie să adoptăm în mod rațional valoarea parametrului $\lambda = L/D$ care are influență atât asupra eficienței măcinării prin diametrul tamburului și deci a înălțimii de cădere a corpurilor de măcinare (intensitatea șocurilor) cât și prin consumul de metal pentru realizarea tamburului și a blindajelor acestuia.

BIBLIOGRFIE

- [1] Ene, Gh., Echipamente pentru mărunțirea materialelor solide. Bazele proiectării, Editura IMPULS, București, 2003.
- [2] Andreev, S. E., Zverevici, V. V., Perov, V. A., Droblenie, izmelcenie i grohocenie poleznih iskopaemih, Gosgortehizdat, Moskva, 1969.