

STABILIREA CARACTERISTICILOR CONSTRUCTIV-FUNCȚIONALE ALE AMESTECĂTOARELOR CU TAMBUR ROTATIV, CU FUNCȚIONARE DISCONTINUĂ

DETERMINING THE CONSTRUCTIVE AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ROTARY DRUM MIXERS WITH DISCONTINUOUS WORKING REGIME

Student Nicolae Vlad T. SIMA, Student Ioan Andrei T. SIMA

Departamentul Echipamente pentru Procese Industriale
Facultatea Inginerie Mecanică și Mecatronică
Universitatea POLITEHNICA din București, Romania

Rezumat: În lucrare se prezintă modalitățile de stabilire a caracteristicilor constructiv-funcționale și a puterii necesare acționării echipamentelor cu tambur rotativ pentru amestecarea, în regim discontinuu, a materialelor granulare și pulverulente. Pentru înțelegerea aplicării practice a acestei metode se prezintă un exemplu de calcul concret.

Cuvinte cheie: amestecare, amestecuri granulare și pulverulente, echipamente pentru amestecare, amestecătoare cu tambur rotativ.

Abstract: This paper presents the rules to establish constructive and functional characteristics as well as required power to action the rotary drum mixers equipments used for discontinuous working regime of granular and powdery materials. To facilitate practical application of this method further is presented a calculation example.

Keywords: mixing, granular and powdery materials, mixing equipment, rotary drum mixers.

1. GENERALITĂȚI

Amestecătoarele cu tambur rotativ, cu funcționare discontinuă, sunt destinate amestecării celor mai diferite materiale pulverulente și granulare.

Există o mare varietate constructivă de asemenea amestecătoare, ele diferențându-se atât prin forma geometrică a recipientului (tambur cilindric, tambur sub forma unei prisme hexagonale, tambur cubic, tambur tetraedric etc.) [1], cât și prin unghiul format între axa geometrică de simetrie a acestuia și axa în raport cu care se realizează rotirea.

Aceste tipuri de amestecătoare au căpătat o largă răspândire în diferite industrii (chimică, farmaceutică, alimentară etc.) datorită multiplelor avantaje pe care le prezintă: simplitate constructivă, exploatare și întreținere lesnicioase, posibilitatea amestecării materialelor abrazive, protejarea formei și a dimensiunilor granulelor materialelor amestecate etc.

2. CONSTRUCȚIA AMESTECĂTOARELOR CU TAMBUR ROTATIV, CU FUNCȚIONARE DISCONTINUĂ

Dintre numeroasele variante constructive cel mai răspândit este amestecătorul cu tambur cilindric, orizontal, la care axa de rotire coincide cu axa geometrică de simetrie a cilindrului (fig. 1).

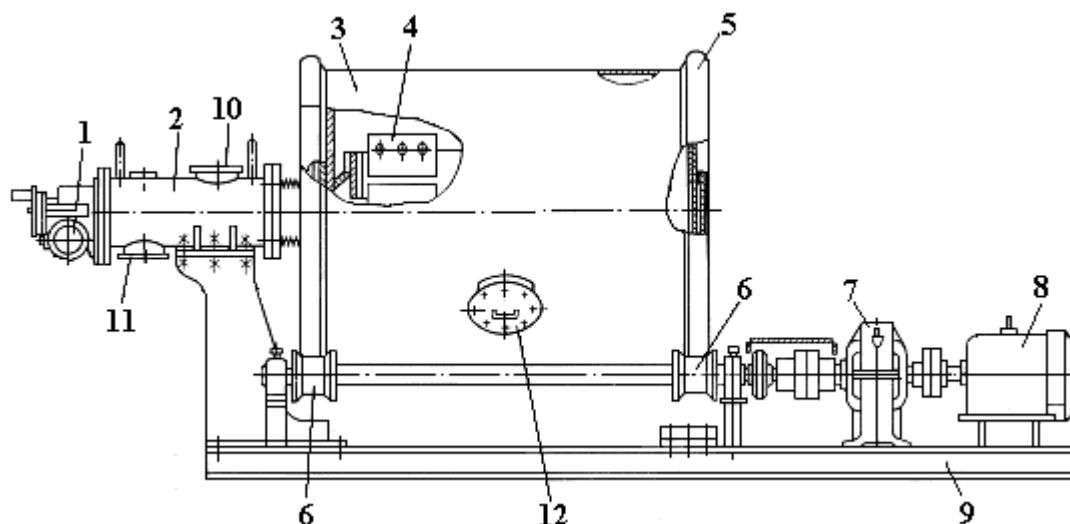


Fig. 1. Amestecător cu tambur cilindric orizontal cu amenajări interioare pentru sporirea amestecării în direcția axială [4].

1 – acționarea dispozitivului de alimentare și evacuare a șarjei de material; 2 - dispozitiv cu melc pentru alimentarea și evacuarea materialului din tambur; 3 – tamburul amestecătorului; 4 – palete înclinate, interioare; 5 – bandaje (inele de rulare); 6 – rolele de rezemare; 7 – reductor de turație; 8 – motor electric de acționare; 9 – batiu; 10 – racord pentru alimentarea materialului supus amestecării; 11 - racord pentru evacuarea amestecului; 12 – gură pentru inspectarea și curățarea interiorului tamburului.

Tamburul (recipientul) cilindric orizontal 3 al amestecătorului (fig. 1) este așezat prin intermediul a două bandaje (inele de rulare) 5, plasate la capete, pe doi arbori prevăzuți cu rolele de rezemare 6, fixate pe aceștia. Pentru antrenarea tamburului în mișcare de rotație se utilizează un grup de acționare format din motorul electric 8 cuplat la reductorul de turație 7, transmiterea mișcării de rotație de la rolele de rezemare-antrenare la tambur realizându-se prin fricțiune.

Materialul este ridicat, prin frecare, de către peretele tamburului până la o înălțime la care unghiul de înclinare al suprafeței libere a stratului de material față de planul orizontal depășește unghiul de taluz natural [3], după care materialul se prăbușește pe suprafața liberă a stratului, la baza acestuia. În planul segmentului de material efectul de amestecare este nesemnificativ, deoarece mișcarea granulelor materialului după traiectoriile circulare paralele cu peretele tamburului cilindric este foarte redusă. Prin urmare, procesul de amestecare a materialului are loc cu intensitate numai la suprafața liberă a stratului: granulele de material rostogolindu-se de sus în jos, cu viteze diferite (în funcție de mărimea lor) în lungul suprafeței înclinate, parcurg distanțe diferite, fiind înglobate apoi din nou în strat.

Datorită ciocnirilor întâmplătoare dintre granule în timpul rostogolirii lor pe suprafața liberă a stratului, traiectoriile acestora se pot abate în direcție axială, într-un sens sau în

Stabilirea caracteristicilor constructiv-funcționale ale amestecătoarelor cu tambur rotativ, cu funcționare discontinuă

celălalt, realizându-se astfel și o amestecare, de slabă intensitate, după direcția axei tamburului.

Prin urmare, amestecarea materialelor în amestecătorul cu tambur cilindric orizontal are loc cu intensitate redusă. Pentru a spori efectul de amestecare al tamburului, pe suprafața interioară a acestuia se fixează prin sudare o bandă elicoidală, iar pe peretele frontal un dispozitiv cu palete înclinate. Sensul de înfășurare al benzii elicoidale și înclinarea paletelor se adoptă astfel încât, la rotirea tamburului, spira elicoidală să deplaseze materialul într-un sens, iar paletele înclinate, în sens contrar. În acest mod se asigură o intensificare a amestecării materialului din tambur în toată masa lui [1].

3. STABILIREA PRINCIPALILOR PARAMETRII GEOMETRICE ȘI FUNCȚIONALI

a. Gradul de umplere cu material al tamburului

Tamburul se încarcă numai parțial cu materialul supus amestecării, gradul de umplere φ fiind exprimat prin raportul dintre volumul de material și volumul tamburului (sau prin raportul dintre aria secțiunii transversale a stratului (aria segmentului) de material și aria secțiunii transversale a tamburului) (fig. 2) și este definit de relația [2, 6]:

$$\varphi = \frac{V_m}{V_t} = \frac{A_m}{A_t} \quad (1)$$

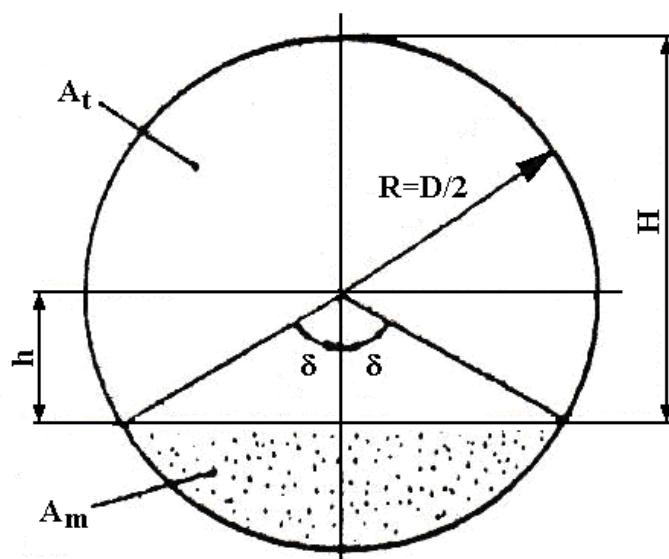


Fig. 2. Schemă pentru definirea gradului de umplere.

La valori reduse ale gradului de umplere, $\varphi = 0,03...0,10$, materialul este ridicat de către peretele tamburului până la o înălțime relativ mică de unde alunecă înapoi pe peretele tamburului în toată masa lui. În această situație neexistând practic mișcare relativă între particulele materialului efectul de amestecare este foarte redus.

Amestecătoarele cu tambur cilindric orizontal funcționează de regulă cu valori ale gradului de umplere $\varphi = 0,10...0,80$, situație în care, practic, după circa 10 rotații ale

tamburului se observă în segmentul de material o împrăștiere destul de uniformă a particulelor componentelor amestecului [4].

Pentru evaluarea gradului de umplere al tamburului cu materialul supus amestecării se utilizează relația [2]:

$$\varphi = 112,5 - 125 \cdot \frac{H}{D} \quad (2)$$

unde mărimile care intervin sunt cele din figura 2.

b. Dimensiunile și capacitatea tamburului

Practic, capacitatea tamburului (recipientului) poate fi oricât de mare, însă construcția amestecătoarelor cu capacitatea tamburului peste $5,0 \text{ m}^3$ nu este economică din punct de vedere economic [4].

În cazurile concrete se cunosc: masa șarjei supusă amestecării, proporția componentelor și densitățile în vrac ale acestora. Dacă amestecul este realizat din două componente A și B , în proporția $a:b$, exprimată masic, iar masa șarjei este M , atunci [1, 5]:

- masa componentului A este:

$$M_a = \frac{a}{a+b} \cdot M = \frac{C_a}{100} \cdot M; \quad (3)$$

- masa componentului B este:

$$M_b = \frac{b}{a+b} \cdot M = \frac{C_b}{100} \cdot M = M - M_a \quad (4)$$

unde $C_a = \frac{a}{a+b} \cdot 100 \%$ și $C_b = \frac{b}{a+b} \cdot 100 \% = (100 - C_a) \%$, reprezintă concentrațiile componentului A , respectiv B în amestec.

Volumul util al tamburului este:

$$V_u = \frac{M_a}{\rho_a} + \frac{M_b}{\rho_b} \quad (5)$$

unde ρ_a și ρ_b reprezintă densitățile în vrac ale componentelor A , respectiv B .

Volumul util al tamburului se poate determina și cu relația $V_u = M/\rho$, unde densitatea în vrac a amestecului are expresia:

$$\rho = \frac{C_a}{100} \cdot \rho_a + \frac{C_b}{100} \cdot \rho_b = \frac{C_a}{100} \cdot \rho_a + \left(1 - \frac{C_a}{100}\right) \cdot \rho_b \quad (6)$$

Capacitatea tamburului se determină cu relația:

Stabilirea caracteristicilor constructiv-funcționale ale amestecătoarelor cu tambur rotativ,
cu funcționare discontinuă

$$V = \frac{V_u}{\varphi} \quad (7)$$

Pentru construcțiile existente de asemenea amestecătoare, raportul dintre lungimea și diametrul tamburului are valorile $L/D = 1,2...1,7$, valorile mai mari ale acestui raport conducând atât la amestecarea neuniformă a materialului, cât și la golirea mai dificilă a tamburului [1, 6].

Cunoscând capacitatea tamburului, V , și valoarea raportului $\lambda = L/D$, se determină diametrul tamburului:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi \cdot \lambda} \cdot V} \quad (8)$$

și, în continuare, lungimea L a tamburului.

c. Turația tamburului

La rotirea tamburului umplut parțial cu material, acesta este ridicat până la o anumită înălțime când unghiul de înclinare al suprafeței libere a materialului față de planul orizontal depășește unghiul taluzului natural al acestuia, situație în care materialul alunecă în jos, în lungul suprafeței libere.

Înălțimea de ridicare este cu atât mai mare cu cât crește turația tamburului. Turația nu poate depăși însă o anumită valoare critică determinată de relația [1, 2]:

$$n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{R}} = \frac{30 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{D}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad \text{rot/min} \quad (9)$$

unde R și D reprezintă raza, respectiv diametrul interior la tamburului, m .

În momentul în care turația depășește valoarea critică dată de relația (9), materialul rotește solidar cu tamburul, iar efectul de amestecare încetează. Amestecătoarele cu tambur cilindric orizontal existente lucrează, în general, cu o turație [1, 4]:

$$n = \psi \cdot n_{cr} = (0,2 \dots 0,4) \cdot n_{cr} \quad (10)$$

Aceste amestecătoare sunt considerate mașini lente, viteza periferică a tamburului având valori reduse: $v = 0,17...1,00 \text{ m/s}$ [1, 4]. Turația tamburului depinde de o serie de factori, îndeosebi, de proprietățile fizico-mecanice și reologice ale materialelor amestecate, valoarea turației stabilindu-se, în general, pe cale experimentală. O turație prea ridicată poate conduce la o înrăutățire a a clității amestecului datorită fenomenului segregării componenteii mai grele din amestec, ca urmare a amplificării forțelor centrifuge.

4. PUTEREA NECESARĂ AMESTECĂRII

Momentul necesar rotirii tamburului rezultă prin însumarea următoarelor momente parțiale [1, 2, 7, 8]: M_1 – momentul necesar ridicării materialului în tambur; M_2 – momentul necesar învingerii frecărilor dintre inelele de rulare și rolele de reazemare; M_3 – momentul

necesar învingerii frecărilor în lagărele rotelor de rezem. Momentele se raportează la inelul de rulare (bandaj) a cărui turație este cunoscută.

Puterea necesară învingerii frecărilor din sistemul de rezemare al tamburului rotativ (frecarea dintre bandaje și rolele de rezemare și frecarea din lagărele acestora) reprezintă numai circa 4...6 % din puterea necesară ridicării materialului în tambur, fiind neglijabilă în raport cu cea necesară procesului de amestecare [1, 4]. Prin urmare, puterea necesară acționării tamburului se poate determina numai din considerentul ridicării materialului în tambur.

Momentul necesar ridicării materialului în tambur este determinat de relația (fig. 3) [1, 2]:

$$M_1 = G \cdot k \cdot R \cdot \sin \alpha \quad N \cdot m \quad (11)$$

unde G este greutatea șarjei de material din tambur, N ; $k = f(\varphi)$ - mărime care determină poziția R_0 a centrului de greutate al stratului de material din tambur; R - raza interioară a tamburului, m ; α - unghiul care definește ridicarea materialului în tambur ca urmare a rotirii acestuia (pentru regimul normal de funcționare al acestor amestecătoare acest unghi este egal cu unghiul taluzului natural al materialului).

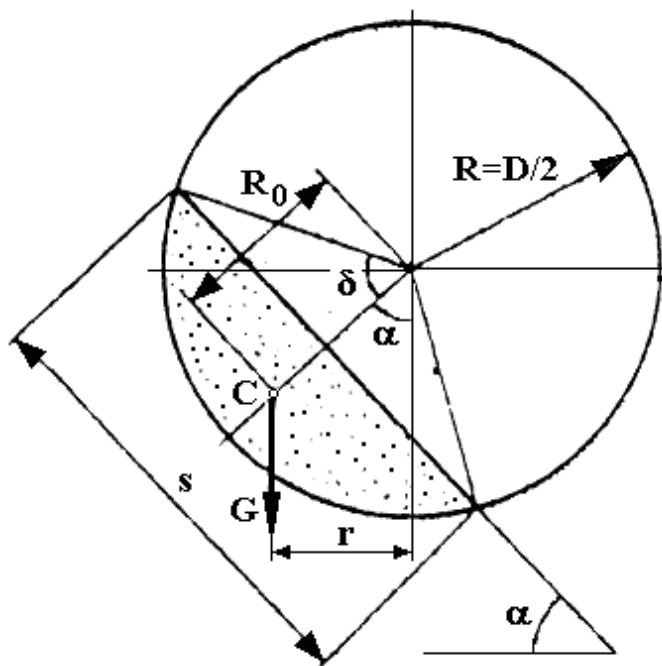


Fig. 3. Schiță pentru determinarea momentului M_1 .

Greutatea șarjei de material din tamburul este definită de relația [1, 2]:

$$G = \varphi \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \cdot g \quad N \quad (12)$$

unde D este diametrul interior al tamburului, m ; L - lungimea acestuia, m ; ρ - densitatea în vrac a materialului supus amestecării, kg/m^3 ; g - accelerația gravitației, m/s^2 .

Stabilirea caracteristicilor constructiv-funcționale ale amestecătoarelor cu tambur rotativ, cu funcționare discontinuă

Mărimea care determină poziția centului de greutate al stratului de material din tambur se exprimă prin relația [1, 2]:

$$k = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin^3 \delta}{2\delta - \sin 2\delta} \quad (13)$$

unde δ este unghiul la centru care definește segmentul de material (fig. 3).

Reprezentarea grafică a expresiei (13) este reprezentată în figura 4 [1, 2].

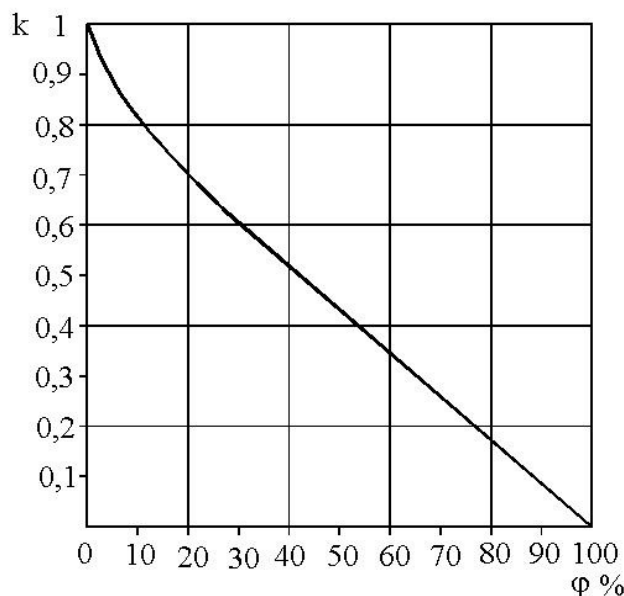


Fig. 4. Reprezentarea grafică a funcției $k=f(\varphi)$.

Dacă se ține seama de expresiile (12) și (13), relația (11) capătă forma cunoscută [7, 8]:

$$M_1 = \frac{1}{12} \cdot (D \cdot \sin \delta)^3 \cdot L \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \quad N \cdot m \quad (14)$$

Creșterea gradului de umplere φ are efecte contrare asupra greutateii șarjei de material G și asupra poziției R_0 a centrului de greutate al acesteia producând creșterea greutateii șarjei și apropierea centrului de greutate de al segmentului de material de centrul secțiunii transversale a tamburului.

Ținând seama că momentele necesare învingerii frecărilor dintre bandaje și rolele de rezemare și a frecărilor din lagărele acestora reprezintă circa 4...6 % din momentul necesar ridicării materialului în tambur, momentul total necesar pentru acționarea tamburului are expresia:

$$M_{tot} = (1,04 \dots 1,06) \cdot M_1 \quad N \cdot m \quad (15)$$

iar puterea necesară corespunzătoare:

$$N = M_{tot} \cdot \omega \quad W \quad (16)$$

unde $\omega = \pi \cdot n / 30 \text{ s}^{-1}$ este viteza unghiulară de rotație a tamburului (n – turația acestuia, rot/min).

Puterea motorului electric de acționare rezultă:

$$N_{mot} = k \cdot \frac{N}{\eta} \quad (17)$$

unde η este randamentul transmisiei; $k = 1,1 \dots 1,2$ – coeficient care consideră o rezervă de putere necesară deoarece amestecătorul pornește cu tamburul încărcat.

5. EXEMPLU DE CALCUL

Se determină caracteristicile geometrice și funcționale și puterea necesară acționării pentru un amestecător cu tambur rotativ utilizat pentru amestecarea a două componente granulare A și B , din nisip cuarțos, în proporția $a:b = 1:10$.

Componentele se caracterizează prin:

- Densitatea în vrac [3]: $\rho_a = 1500 \text{ kg/m}^3$; $\rho_b = 1600 \text{ kg/m}^3$;

- Unghiul de taluz natural, pentru fiecare dintre componentele amestecate [3]: $\alpha = 35^\circ$.

Masa șarjei de material supus amestecării: $M = 6000 \text{ kg}$.

Se determină:

- Concentrația componentei A :

$$C_a = \frac{a}{a+b} \cdot 100 = \frac{1}{1+10} \cdot 100 = 9,09 \%$$

- Concentrația componentei B :

$$C_b = 100 - C_a = 100 - 9,09 = 90,91 \%$$

- Componența șarjei:

- masa componentului A :

$$M_a = \frac{C_a}{100} \cdot M = \frac{9,09}{100} \cdot 6000 = 545,6 \text{ kg};$$

- masa componentului B :

$$M_b = M - M_a = 6000 - 545,4 = 5454,6 \text{ kg}.$$

- Densitatea amestecului:

$$\rho = \frac{C_a}{100} \cdot \rho_a + \frac{C_b}{100} \cdot \rho_b = \frac{9,09}{100} \cdot 1500 + \frac{90,91}{100} \cdot 1600 = 1590,91 \text{ kg/m}^3$$

- Volumul util al tamburului este:

$$V_u = \frac{M}{\rho} = \frac{6000}{1590,91} = 3,771 \text{ m}^3$$

- Volumul tamburului (considerând valoarea gradului de umplere $\varphi = 0,7$):

$$V = \frac{V_u}{\varphi} = \frac{3,771}{0,7} = 5,387 \text{ m}^3$$

- Diametrul interior al tamburului (pentru $\lambda = L/D = 1,2$):

Stabilirea caracteristicilor constructiv-funcționale ale amestecătoarelor cu tambur rotativ,
cu funcționare discontinuă

$$D = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi \cdot \lambda} \cdot V} = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi \cdot 1,2} \cdot 8,035} = 1,787 \text{ m}.$$

- Se adoptă: $D = 1,8 \text{ m}$.

- Lungimea utilă a interiorului tamburului:

$$L = \lambda \cdot D = 1,2 \cdot 1,8 = 2,16 \text{ m}.$$

- Se adoptă: $L = 2,2 \text{ m}$.

- Volumul efectiv al tamburului:

$$V_{ef} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 1,8^2}{4} \cdot 2,2 = 5,598 \text{ m}^3.$$

- Gradul de umplere efectiv:

$$\varphi_{ef} = \frac{V_u}{V_{ef}} = \frac{3,771}{5,598} = 0,673.$$

- Turația critică a tamburului:

$$n_{cr} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} = \frac{42,3}{\sqrt{1,8}} = 31,6 \text{ rot / min}.$$

- Se adoptă turația tamburului: $n = 10 \text{ rot/min}$.

- Turația relativă a tamburului: $\psi = n/n_{cr} = 10/31,6 = 0,316$.

- viteza unghiulară de rotire a tamburului:

$$\omega = \pi \cdot n / 30 = \pi \cdot 10 / 30 = 1,05 \text{ s}^{-1}.$$

- Pentru valoarea gradului de umplere $\varphi = 0,7$, rezultă pentru mărimea k valoarea $k = 0,275$ (fig. 4).

- Momentul necesar ridicării materialului în tambur (relația (11)):

$$M_1 = G \cdot k \cdot R \cdot \sin \alpha = 6000 \cdot 9,81 \cdot 0,257 \cdot 0,9 \cdot \sin 35^\circ = 8356 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Momentul total necesar rotirii tamburului:

$$M_{tot} = (1,04 \dots 1,06) \cdot M_1 = 1,05 \cdot 8356 = 8774 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Puterea necesară acționării tamburului:

$$N = M_{tot} \cdot \omega = 8774 \cdot 1,05 = 9213 \text{ W}$$

- Puterea motorului electric de acționare, admitând $\eta = 0,85$; $k = 1,1$:

$$N_{mot} = k \cdot \frac{N}{\eta} = 1,1 \cdot \frac{9213}{0,85} = 11354 \text{ W} = 11,922 \text{ kW}.$$

- Se adoptă, pentru acționarea tamburului, un motor electric cu puterea: $N_{mot} = 13 \text{ kW}$.

5. CONCLUZII

În situațiile în care șarja are altă masă, alte componente (cu densități în vrac mai mari) sau se modifică gradul de umplere al tamburului, se impune verificarea puterii necesare stabilite a acționării amestecătorului.

Conform celor prezentate anterior, adoptarea corectă a valorii gradului de umplere a tamburului are efecte favorabile atât asupra intensificării amestecării, cât și asupra reducerii puterii necesare antrenării amestecătorului.

Relațiile prezentate pentru calculul puterii necesare acționării amestecătorului cu tambur rotativ cu funcționare discontinuă se pot utiliza și pentru determinarea puterii de

antrenare a altor tipuri de echipamente cu tambur rotativ (amestecătoare cu tambur rotativ pentru amestecare continuă, echipamente pentru amestecarea betoanelor etc.) la care rezistențele din sistemul de rezemare al tamburului se pot neglija.

BIBLIOGRAFIE

1. Gh. Ene, Introducere în ingineria amestecării materialelor pulverulente și granulare, Editura Impuls, București, 2013.
2. Ene, Gh., Echipamente pentru mărunțirea materialelor solide (Bazele proiectării), Editura Impuls, București, 2003.
3. Ene, Gh., Ingineria materialelor granulare și pulverulente, Editura Printech, București, 2009.
4. Makarov, Iu. I., Aparatî dlia smeșeniia sîpucih materialov, Moskva, Izd. Mșinostroenie, 1973.
5. Ene., Gh., Stabilirea parametrilor constructivi și funcționali ai amestecătoarelor cu tambur rotativ cu funcționare discontinuă, Revista de chimie, 49, Nr. 5, 1998, p. 363 - 369.
6. Ene., Gh., Aspecte privind calculul funcțional al amestecătoarelor cu tambur rotativ, cu funcționare discontinuă, Studii și cercetări de mecanică aplicată, TOM 47, Nr. 5, 1988, p. 503-514.
7. Renert, M., Calculul și construcția utilajului chimic, vol. 2, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1971.
8. Iordache, Gh., Ene, Gh., Rasidescu, M., Utilaje din industria materialelor de construcții, Editura Tehnică, București, 1987.