

## OPTIMIZAREA CONSTRUCTIVĂ A MALAXOARELOR CU ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE

*S. Andrievschi, dr.conf.univ. A. Lozan, drd  
Universitatea Tehnică a Moldovei*

### INTRODUCERE

Optimizarea constructivă a malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare are următoarele scopuri: reducerea rezistenței la amestecare și deci, a consumului de energie; creșterea productivității malaxorului prin reducerea timpului necesar pentru omogenizarea amestecului; excluderea blocării particulelor între suprafața interioară a tobei și organele de amestecare; micșorarea volumului de materiale și a costului de producere a malaxorului. Optimizarea constructivă conduce la creșterea indicilor tehnico-economici ai malaxoarelor.

### 1. REZULTATELE CERCETĂRILOR PREVENTIVE

Până în prezent s-a cercetat influența asupra rezistenței la amestecare a diferitor parametri constructivi ai malaxoarelor cu organe de lucru în

$$Z = 85,77 + 89,5K_u + 13,67d + 12K_u d + 14,83K_u^2 + 2,3d^2 \quad (1)$$

Toți coeficienții au semnul plus ceea ce înseamnă că la majorarea diametrului barei și coeficientului de umplere rezistența la înaintare a barei prin material crește. Cea mai mare influență asupra rezistenței o are coeficientul de umplere, care are valoarea de 89,5.

Dependența rezistenței la înaintare de unghiul de așchiere s-a cercetat pentru bare cu unghiul de așchiere  $\delta$  egal cu 30, 45, 60, 75 și 90°. Materialul utilizat a fost nisipul cu dimensiunea particulelor  $a \leq 1$  mm. Profilul barei cu unghiul de așchiere mai mic de 90° și constant pe toată lungimea ei se obține utilizând la confecționare ecuația spiralei logaritmice.

Pentru orice valoare a coeficientului de umplere a tobei, rezistența la înaintare a barelor cu

$$Z = 23,14 + 39,2x_1 + 103,8x_2 + 42,3x_1x_2 + 72,9x_2^2 \quad (2)$$

La majorarea și a unghiului de așchiere  $\delta$  și a coeficientului de umplere a tobei cu material  $K_u$  rezistența crește. Efectul liniar al coeficientului de umplere ( $x_2$ ) este de 2,65 ori mai mare decât efectul

formă de bare, și anume: raza tobei; diametrul barei; unghiul de așchiere al barei; raportul dintre lungimea și diametrul tobei, pasul dintre bare și modul de amplasare a lor pe arbore [1].

Cercetările efectuate au arătat că dependența rezistenței la înaintare de raza tobei este parabolică. La majorarea razei tobei și coeficientului de umplere, rezistența la înaintare crește. La coeficientul de umplere egal cu 0,2 rezistența crește de la 44 N pentru raza tobei egală cu 0,15 m până la 738 N la raza de 0,5 m. La coeficientul de umplere  $K_u = 0,5$  rezistența crește de la 320 N la raza tobei de 0,15 m până la 4360 N la raza tobei de 0,5 m.

Dependența rezistenței la înaintare de diametrul barei și coeficientul de umplere s-a cercetat folosind planul D-optimal pentru doi factori: coeficientul de umplere  $K_u$  și diametrul barei  $d$ . Luftul dintre capătul barei și corp a fost 27 mm pentru excluderea blocării particulelor ( $a = 10 \dots 15$  mm). S-a obținut polinomul de gradul doi

$\delta < 90^\circ$  este totdeauna mai mică decât cea a barei cu  $\delta = 90^\circ$ . La majorarea coeficientului de umplere se mărește considerabil rezistența la înaintare. De exemplu, la majorarea lui  $K_u$  de la 0,3 până la 1,0 rezistența la înaintare a barelor cu unghiul de așchiere  $\delta = 30^\circ$  crește de la 7,5 N până la 400 N, deci de 53,3 ori.

Pentru obținerea relației matematice a dependenței rezistenței la înaintare a barei prin nisip de unghiul de așchiere  $\delta(x_1)$  și coeficientul de umplere  $K_u(x_2)$  s-a utilizat planificarea ortogonală compozițională pentru doi factori [1]. În rezultatul efectuării analizei de regresie s-a obținut polinomul de gradul doi.

liniar al factorului  $x_1$  (unghiul de așchiere). Efectul interacțiunii factorilor este semnificativ și egal cu 42,3. Creșterea concomitentă a unghiului de așchiere și a coeficientului de umplere conduce la

creșterea rezistenței la înaintare. Efectul pătratic al factorului  $x_1$  este nesemnificativ, însă a factorului  $x_2$  este destul de mare.

Dependența rezistenței la înaintare de **raportul dintre lungimea și diametrul tobei** ( $L/D$ ) s-a determinat pentru malaxorul cu 6 rânduri longitudinale de bare și pasul barelor  $p = 90 \text{ mm}$  [1]. Pentru varierea raportului  $L/D$  s-a modificat lungimea tobei, diametrul fiind constant  $D = 300 \text{ mm}$ . Materialul din tobă a fost nisipul cu dimensiunea particulelor  $a \leq 1$

Observăm că pentru orice valoare a lui  $K_u$ , odată cu creșterea raportului  $L/D$  crește și rezistența la înaintare. Pentru  $K_u = 0,1 - 0,3$  aceasta creștere este aproximativ direct proporțională, însă, pentru  $K_u = 0,4 - 0,5$  creșterea rezistenței este mai mică până la raportul  $L/D = 1,1 - 1,3$ , apoi rezistența crește semnificativ.

Dependența rezistenței la înaintare de **pasul barelor** s-a determinat pentru două cazuri [1]. În primul caz barele au fost amplasate pe arbore pe o linie dreaptă, iar în al doilea caz – pe o linie elicoidală. În calitate de mediu de lucru s-a utilizat nisip de râu cu dimensiunile particulelor  $a \leq 1 \text{ mm}$ , coeficientul de umplere  $K_u = 0,5$ , raza tobei  $R = 0,15 \text{ m}$ , diametrul barelor  $d = 10 \text{ mm}$ . Pentru primul caz pasul barelor în lungul axei arborelui a fost de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 160, 180, 240, 340, 450 și 540 mm. **Numărul de bare** în rând a fost 2, 3, 4 și 5.

Când pasul este egal cu 10 mm (distanța dintre bare este egală cu zero) rezistența la înaintare are valori destul de mari. La majorarea pasului barelor rezistența se micșorează foarte simțitor și atinge valoarea minimă când pasul este de 60 mm. Majorarea de mai departe a pasului conduce la creșterea rezistenței la înaintare. Această legitate se respectă pentru toate numerele de bare. Valorile mari ale rezistenței la distanță minimă dintre bare (raportul  $p/d = 1$ , unde  $p$  este pasul barelor, iar  $d$  diametrul barelor) se datorează faptului că barele împing înaintea lor masa de material fără divizarea acesteia. La majorarea pasului printre bare începe să treacă o parte de material și aceasta conduce la micșorarea rezistenței la înaintare. Valoarea minimă se obține când raportul  $p/d$  este egal cu 5...8. În acest caz mobilitatea materialului dintre bare este destul de înaltă datorită acționării asupra lui a barelor megieșe – are loc interacțiunea barelor în procesul trecerii lor prin material.

Majorarea de mai departe a pasului conduce la creșterea rezistenței la înaintare. Această legitate se respectă pentru toate numerele de bare cercetate și se datorează creșterii zonei de acționare totale a barelor și lipsei interacțiunii lor. La pasul barelor

egal aproximativ cu 300...340 mm în toate cazurile rezistența nu mai crește, devine constantă și aceasta dovedește faptul că interacțiunea barelor nu mai are loc – barele înving rezistențele de deplasare separat. Valorile pasului la care rezistența la înaintare nu mai crește reprezintă grosimea transversală a zonei de material acționată de bară.

S-a cercetat și dependența rezistenței la înaintare de pasul barelor amplasate pe o linie dreaptă pentru calcar cu dimensiunea particulelor  $a = 2,5 - 5 \text{ mm}$ , coeficientul de umplere  $K_u = 0,3$ . Ceilalți parametri nu s-au schimbat. Caracterul variației rezistenței la înaintare este asemănător cu cel descris pentru nisip la toate numerele de bare cercetate, iar valoarea minimă a rezistenței la înaintare se obține când raportul  $p/d$  este egal cu 6...7 (fig. 1).

Pentru cazul situării barelor pe arbore pe o linie elicoidală s-a cercetat rezistența la înaintare pentru valorile pasului longitudinal 30, 45, 60, 75 și 90 mm [1], pasul radial a fost constant și egal cu 60°. Ceilalți parametri ai experimentului au fost la fel ca și pentru cazul descris mai sus.

La majorarea numărului de bare pe linia elicoidală, rezistența la înaintare mai întâi se micșorează, apoi rezistența crește lin până la numărul de bare egal cu 6. Când pe arbore sunt șapte bare rezistența crește brusc. Prima și a șaptea bară sunt situate pe una și aceeași linie paralelă cu axa arborelui, deoarece aici se termină prima spirală a liniei elicoidale pe care sunt amplasate barele. Astfel, aceste două bare înving concomitent rezistența materialului, iar creșterea rezistenței la înaintare are loc deoarece barele se afla la o distanță la care zonele lor de acționare nu interacționează.

La mărirea de mai departe a numărului de bare rezistența la înaintare nu se modifică esențial, însă la numărul de bare egal cu 13 creșterea este bruscă. Aici se termină spira a doua a liniei elicoidale: barele 1, 7 și 13 sunt situate pe o linie paralelă cu axa arborelui. La spira a treia procesul de schimbare a rezistențelor este asemănător. Majorarea bruscă a rezistențelor are loc când în material intră concomitent barele care se găsesc la începutul și la finele fiecărei spirale elicoidale și pe o linie paralelă cu axa arborelui.

Se poate conclua, că la situarea acestor bare pe suprafața arborelui nu pe o linie paralelă cu axa malaxorului, ci cu o oarecare abatere de la ea, astfel ca nici o bară să nu intre în material concomitent cu alte bare, rezistența la înaintare se va micșora și, deci, se va micșora și rezistența totală de amestecare.

## 2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE PENTRU MICȘORAREA REZISTEȚEI LA ÎNAINȚARE

S-a construit un organ de amestecare cu 33 de bare conform [2], amplasate pe arbore în așa mod că nici o bară nu coincide cu nici una alta, atât în planurile longitudinale, cât și în cele transversale (fig. 2, c). Pentru a compara rezistența a acestui organ de amestecare, s-au construit alte două tot cu 33 de bare, unul cu amplasarea barelor în mod

clasic (fig. 2, a), iar al doilea doar cu **decalaj unghiular** (fig. 2, b), ceea ce înseamnă că în planuri transversale, barele sunt amplasate în rânduri câte trei bare (în total 11 rânduri). Pasul dintre rândurile transversale este egal cu 60 mm.

Datorită situării în șah, fiecare bară divizează materialul din fața sa în două părți egale. De aceea componentele axiale de apăsare asupra barei sunt direcționate în sensuri opuse și forța axială totală este nulă.

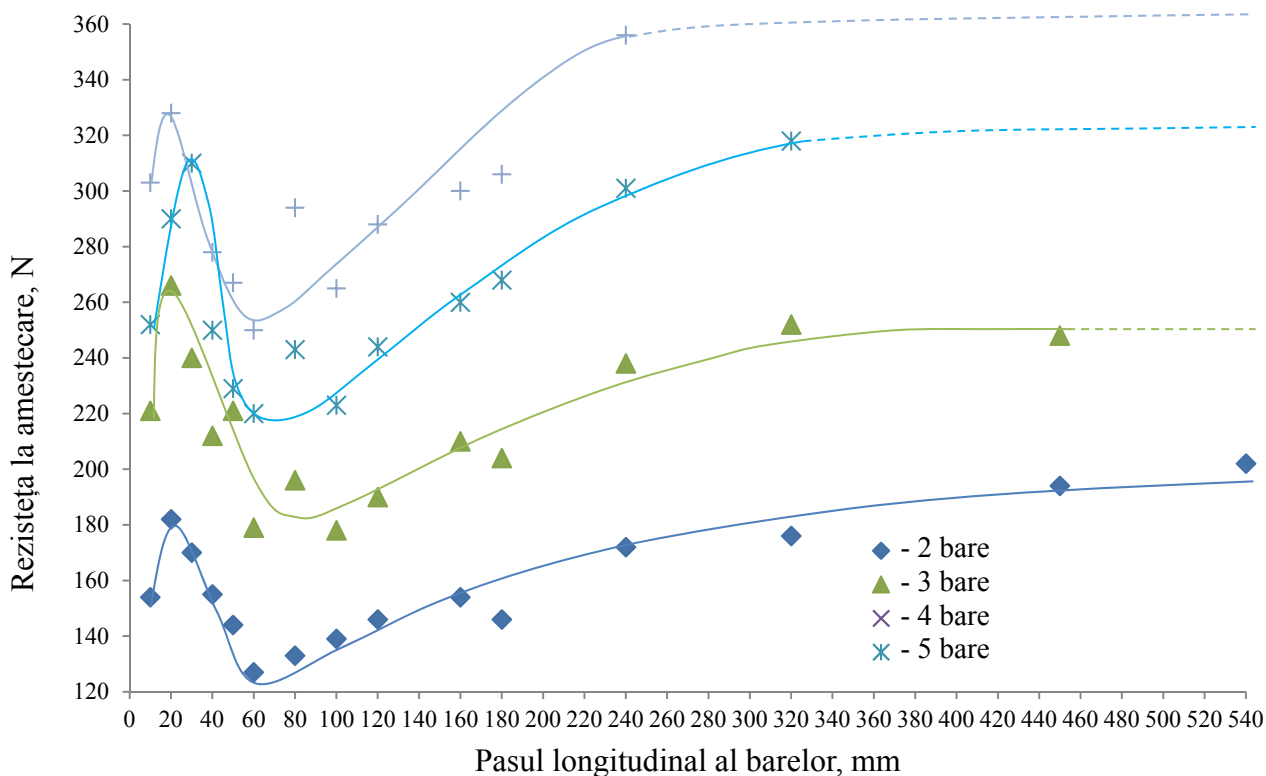


Figura 1. Rezistența la înaintare funcție de numărul de bare pe linia elicoidală și pasul lor longitudinal

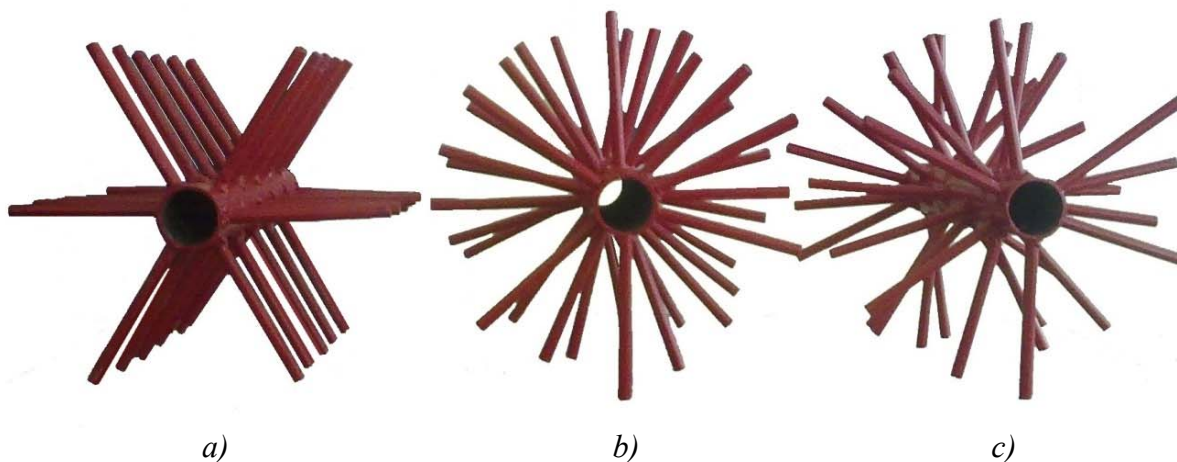


Figura 2. Organe de amestecare ale malaxoarelor cu bare, situate pe arbore în șah: a) fără decalaj unghiular și longitudinal; b) cu decalaj unghiular; c) cu decalaj unghiular și longitudinal.

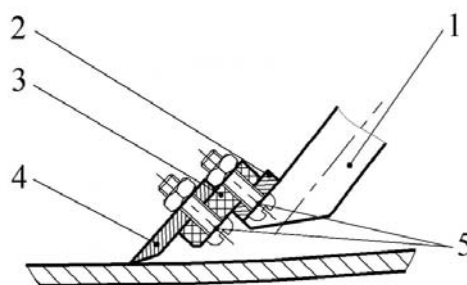
Afară de aceasta, utilizarea organelor de amestecare în formă de bare în locul paletelor conduce la afânarea amestecului în tot volumul său, micșorarea densității acestuia și micșorarea rezistenței la amestecare de 16 ori.

Cercetările efectuate [3] au arătat că cea mai mică rezistență la amestecare este la organul de amestecare cu **decalaj longitudinal** și circular datorită faptului că materialul este acționat de un număr mare de bare care nu se găsesc pe aceeași linie. Micșorarea rezistenței față de celelalte organe de amestecare constituie 20...26,7 % pentru  $K_u = 0,2...0,4$ .

În procesul amestecării particulele pot să se blocheze între bare și toba malaxorului. Acest fapt conduce la: majorarea consumului de energie necesar pentru prepararea amestecului; majorarea consumului de materiale necesare pentru confecționarea malaxorului din cauza forțelor mari care acționează asupra organelor de amestecare, arborilor, transmisiei, rulmenților; fărâmițarea agregatelor și ca rezultat – la modificarea compoziției granulometrice inițiale și deci a calității articolelor fabricate.

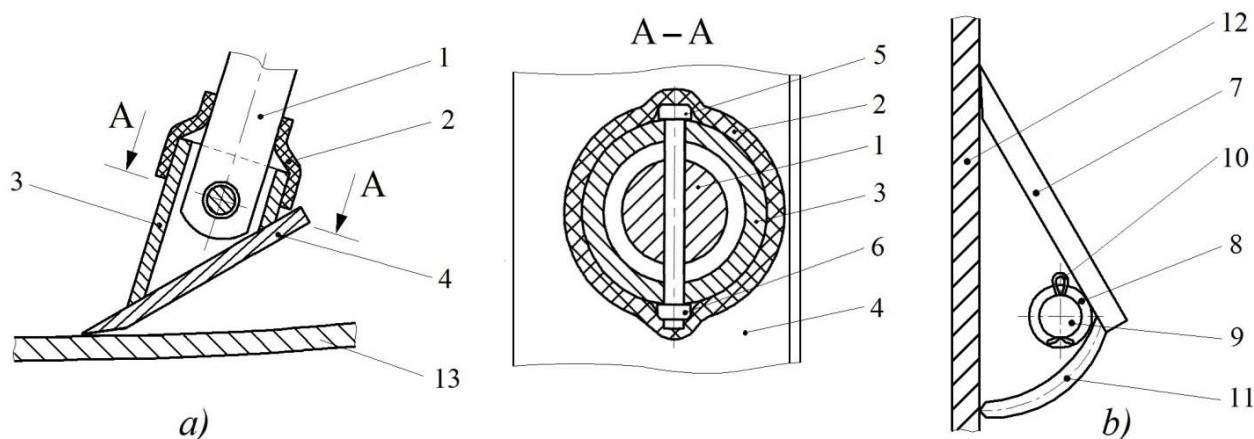
O soluție constructivă care permite excluderea blocării este **răzuitorul cu element elastic** [4], (fig. 3). Acesta este alcătuit din placa 2 fixată pe bara 1 și cuțitul 4 fixat de placa 2 prin intermediul elementului elastic 3 și a elementelor de îmbinare 5. Circumferința descrisă de capătul cuțitului 4, când acesta nu contactează cu toba, are o rază mai mare cu 1...3 mm decât raza interioară a tobei. Datorită acestui fapt, cuțitul 4 totdeauna se găsește în contact cu suprafața interioară a tobei fără joc, asigurând astfel evitarea deplină a blocării particulelor între capătul cuțitului și tobă. Cercetările efectuate [5] au demonstrat că blocarea

particulelor între cuțitul 4 și suprafața interioară a tobei nu are loc pentru orice mărime ale particulelor.



**Figura 3.** Răzuitor cu element elastic; 1-bară cu profil longitudinal curbiliniu; 2 – placă; 3 – element elastic; 4 – cuțit; 5 – elemente de îmbinare

O altă soluție constructivă care permite excluderea blocării este **răzuitorul articulat** [6], (fig. 4). Răzuitorul articulat longitudinal este alcătuit din cuțitul 4 fixat articulat de bara 1 prin intermediul bucei 3, bolțului 5 și piuliței 6, tubul cauciucat 2, care este îmbrăcat cu un capăt pe bucea 3, iar cu celălalt capăt, cu diametrul mai mic, pe bara 1. Când răzuitorul articulat longitudinal trece prin amestec, ele sunt apăsate spre fundul corpului cilindric și formează un joc nul cu corpul datorită faptului că forța sumară care acționează asupra răzuitorului este situată între axa bolțului 5 față de care se rotește răzuitorul și locul de contactare a răzuitorului cu corpul. Bucea 3 menține răzuitorul în poziție gata de lucru atunci când acesta nu se găsește în amestec. Tubul cauciucat exclude pătrunderea particulelor și a laptelui de ciment în zona articulației răzuitorului.



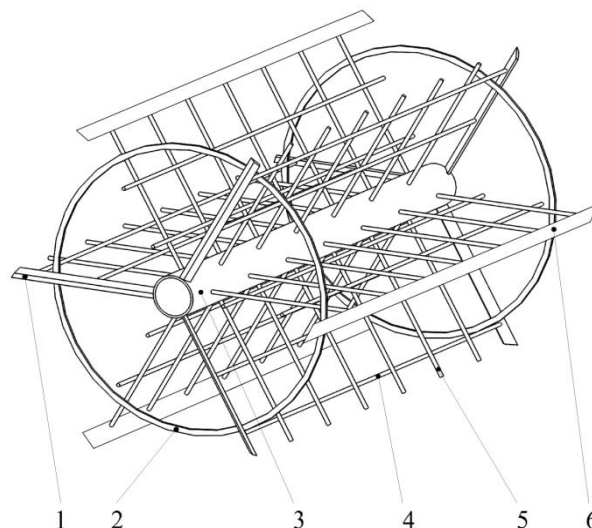
**Figura 4.** Răzuitor articulat longitudinal a) și radial b); 1-bară cu profil curbiliniu; 2 – tub cauciucat; 3 și 8 – bucea; 4 și 7 – cuțit; 5 – bolț; 6 – piuliță; 9 – pivot radial; 10 – șplint; 11 – bară de sprijin; 12 – perete lateral; 13 – corpul tobei.

Răzuitorul articulat radial (fig. 4, b)

este alcătuit din cuțitul 7 care este îmbinat cu pivotul radial 9 prin intermediul bușelor 8, șplintul 10 fixat în pivotul radial 9 și bara de sprijin 11 fixată pe răzuitor. Răzuitoarele articulate radiale în procesul malaxării sunt apăsate de către material spre peretele lateral datorită forțelor sumare mai mari care acționează pe suprafața frontală a răzuitorului situată între peretele lateral și linia centrului pivotului radial 9 decât a forțelor care acționează pe suprafața frontală situată între linia centrului pivotului și partea opusă a răzuitorului. Aceasta contribuie la formarea unui joc nul între peretele lateral și cuțitul 7. Șplintul 10 nu permite deplasarea cuțitului 7 în direcție radială. Bara de sprijin 11 contribuie la menținerea răzuitorului radial în poziția gata de lucru atunci când acesta nu se găsește în material.

În procesul funcționării nu toate barele se găsesc concomitent în amestec, prin urmare forța de rezistență a materialului nu se distribuie asupra tuturor barelor. În amestec concomitent se găsesc aproximativ 1/3 din bare, de aceea forța maximă de rezistență acționează concomitent asupra doar a unui rând longitudinal de bare. Dacă forța de rezistență la amestecare, în procesul funcționării, s-ar distribui asupra tuturor barelor organului de amestecare, atunci ar fi posibil de micșorat secțiunea barelor, iar acest fapt, la rândul său ar contribui la micșorarea rezistenței la amestecare, consumului de metal și masei malaxorului

Pentru ca forța de rezistență la amestecare să se distribuie la toate barele, trebuie ca acestea să fie unite toate între ele. Aceasta se poate obține utilizând **inele de rigidizare** [7], (fig. 5).



**Figura 5.** Malaxor cu bare cu inele de rigidizare: 1 – răzuitor radial; 2 – inel; 3 – arbore; 4 – bară longitudinală; 5 – bară radială; 6 – răzuitor longitudinal

Barele radiale în rândurile longitudinale sunt unite între ele prin bare longitudinale, iar toate rândurile longitudinale între ele se unesc prin inele de rigidizare. Astfel, toate barele preiau sarcinile de lucru, indiferent dacă se găsesc sau nu în material.

Barele și răzuitoarele longitudinale, afară de consolidarea barelor radiale, au misiunea de a diviza materialul din tobă în planuri transversale și de a efectua procesul de migrare în direcție radială. Aceasta contribuie la intensificarea dublă a procesului de amestecare în cazul egalității numărului de rânduri longitudinale de bare cu numărul de rânduri radiale de bare.

### 3. PARAMETRII CONSTRUCTIVI OPTIMALI AI MALAXORULUI CU ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE CU VOLUMUL TOBEI EGAL CU $25 \text{ dm}^3$ PENTRU BETON ( $a < 20 \text{ mm}$ )

Nr. crt.	Parametrul	Valoarea
1.	Raportul dintre lungimea și diametrul tobei, $L/D$	1...1,3
2.	Diametrul barei (pentru cazul utilizării inelelor de rigidizare)	6 mm
3.	Unghiul de așchiere al barei cu profil longitudinal curbiliniu	45°
4.	Unghiul de înclinare a răzuitoarelor longitudinale în plan transversal și a răzuitoarelor radiale în plan orizontal	30°
5.	Numărul de bare radiale	21
6.	Numărul de bare longitudinale	9
7.	Raportul dintre pasul barelor și diametrul barei	13

## CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

1. Pentru a micșora rezistența la amestecare trebuie de utilizat tobe cu diametrul mare însă cu coeficient de umplere mai mic;

2. La mărirea diametrului barei și a coeficientului de umplere are loc creșterea rezistenței la amestecare, însă cea mai mare influență asupra rezistenței o are coeficientul de umplere. Pentru a micșora rezistența la amestecare trebuie de micșorat coeficientul de umplere și diametrul barei;

3. Cu cât este mai mic unghiul de așchiere al barei, cu atât este mai mică rezistența la amestecare, însă pentru orice ungi de așchiere, la mărirea coeficientului de umplere are loc creșterea rezistenței. Cercetările au arătat că coeficientul de umplere are o pondere mai mare asupra rezistenței decât unghiul de așchiere al barei;

4. Raportul dintre pasul barelor și diametrul lor  $p/d$  optimal, din punct de vedere al rezistenței la amestecare, pentru nisip de râu cu dimensiunea particulelor  $a \leq 1 \text{ mm}$  este 5...8, iar pentru calcar cu dimensiunea particulelor  $a = 2,5 - 5 \text{ mm}$  – 6...7;

5. La amplasarea barelor pe o linie elicoidală rezistența la amestecare crește brusc atunci când pe o linie paralelă cu axa arborelui se află mai mult de o bară. Aceasta se datorează faptului că barele care se află pe aceeași linie înving concomitent rezistența la înaintare și ele se află la o distanță una față de alta la care zonele lor de acționare nu interacționează;

6. Cea mai mică rezistență la amestecare se formează la organul de amestecare cu decalaj longitudinal și circular datorită faptului că materialul este acționat de un număr mare de bare care nu se găsesc pe aceeași linie. Micșorarea rezistenței față de celelalte organe de amestecare constituie 20...26,7 % pentru  $K_u = 0,2...0,4$ ;

7. Utilizarea răzuitorului elastic exclude blocarea particulelor de orice dimensiuni, ceea ce conduce la micșorarea rezistenței la amestecare și păstrarea compoziției granulometrice a materialului;

8. Utilizarea inelelor de rigidizare permite unirea tuturor barelor într-un sistem integrat și distribuirea forței de rezistență la amestecare între toate barele. Aceasta la rândul său permite de a micșora secțiunea barei, a consumului de metal și a masei malaxorului. Micșorarea secțiunii barei conduce la micșorarea rezistenței la amestecare.

## Bibliografie

1. **Andrievschi S.** Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare. Univ. Tehn. a Moldovei. –Ch.: UTM, 2008. – 176 p;
2. **Andrievschi S., Lozan A., Guștiuc I.** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr 815; 2014.09.30. BOPI nr.9/2014.
3. **Andrievschi S., Lungu V., Carcea A., Lozan A., Guștiuc I.** Rezistența la amestecare a malaxorului cu decalaj circular și longitudinal al barelor”. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, U.T.M., Chișinău, octombrie 2014; 4 pag.
4. **Andrievschi S., Lozan A.** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr MD 583 Z, 2013.01.31. BOPI nr. 1/2013;
5. **Lozan A., Andrievschi S.** Legități ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare. Conferința Tehnico-științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, 8-10 decembr. 2011, Chișinău.-Ch.: U.T.M. 2012, vol. II, p. 446-449. ISBN 978-9975-45-208-3;
6. **Andrievschi S., Lozan A., Braniște I.** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr. 883. 2015.02.28. BOPI nr.2/2015.
7. **Andrievschi S., Lozan A., Vascan O.** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.747, 2014.03.31. BOPI nr. 3/201.