

FENOMENELE PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE CU BARE CU ACȚIUNE INTERMITENTĂ

*Alexandru Lozan, doctorand
Universitatea Tehnică a Moldovei*

INTRODUCERE

Specific malaxoarelor cu bare este faptul că organele de amestecare au forma unor bare cilindrice, care sunt amplasate pe arbore radial în formă de șah. Acest fapt dă posibilitate de a se realiza efecte fizice și matematice care nu au fost cunoscute până acum.

În procesul amestecării, în malaxoarele cu bare are loc divizarea amestecului din interiorul tobei, în doar câteva secunde, într-un număr extrem de mare de șuvoaie, îndreptate în diferite direcții, ceea ce contribuie la migrația particulelor de-a lungul și în direcție radială a tobei. De asemenea are loc micșorarea rezistenței la înaintare prin amestec datorită interacțiunii barelor prin intermediul câmpurilor fizice de particule.

Aceste efecte permit intensificarea procesului de amestecare, ceea ce conduce la majorarea productivității, micșorarea cheltuielilor specifice de energie și prețului de cost al articolelor fabricate, precum și majorarea gradului de omogenizare a amestecului și a rezistenței mecanice a articolelor la același consum de lianți.

În lucrarea de față sunt prezentate fenomenele care au loc în procesul amestecării în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare. Aceste legități au fost descoperite în procesul cercetărilor efectuate la catedra Căi Ferate, Drumuri și Poduri a Universității Tehnice a Moldovei.

1. PROCESUL DE FORMARE A ȘUVOAIELOR COMPLEXE ȘI UNICE

Construcția și funcționarea malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă și amestecare forțată (fig. 1), care au fost brevetate până în prezent [1-12] sunt analogice cu cele ale malaxoarelor cu palete cu ax orizontal, însă primele, în loc de palete sunt echipate cu bare și răzuitoare. Barele 4 și 5, amplasate în șah pe arborele 2 și în spațiul dintre arbore și tobă, divizează concomitent toată masa de material din toba 1 în șuvoaie, care apoi se îmbină și iarăși sunt divizate în alte șuvoaie ș.a.m.d. Răzuitoarele 3 și 6 asigură schimbarea direcției de migrație a particulelor și totodată răzuirea suprafețelor interioare ale tobei.

Avantajul barelor în comparație cu paletele constă, în aceea că primele sunt mai înguste și încap mai multe pe arbore. Astfel, numărul de șuvoaie formate în procesul amestecării în malaxoarele cu bare este cu mult mai mare. În procesul rotirii arborelui, zonele de acționare ale barelor vecine interacționează [13], datorită cărui fapt materialul din tobă este afănat, iar rezistența la înaintare a barelor prin material este mult mai mică. Paleta fiind mai lată, are rezistență la înaintare mai mare, ia transportă o parte de amestec în fața sa fără amestecarea acestuia. De aceea o parte de energie în procesul amestecării se cheltuiește inutil la transportarea amestecului.

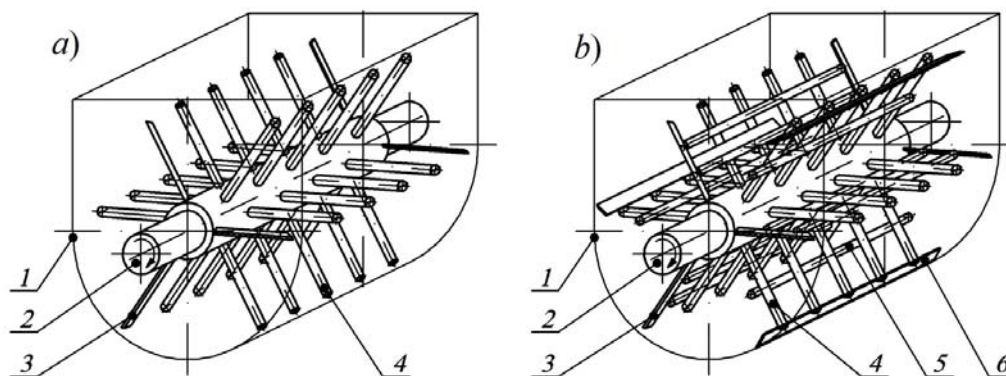


Figura 1. Schema malaxorului (rama și transmisia nu sunt indicate) cu acționare ciclică și amestecare forțată cu bare și răzuitoare radiale (a), ? cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale (b)

În fig. 2 este prezentat procesul de amestecare în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă și amestecare forțată, vederea din față a tobei malaxorului, în interiorul căreia se găsește arborele pe care sunt fixate în șah șase rânduri longitudinale de bare și răzuitoare radiale lângă pereții laterali ai tobei.

Observăm că la trecerea rândului I (secțiunea A-A), care conține și răzuitoare, materialul este divizat în șuvoaie. Șuvoaiile care se formează între două bare vecine, sunt îndreptate unul spre altul sub un unghi ascuțit (secțiunea B-B) și ca urmare se îmbină și se amestecă. Apoi, deoarece barele sunt fixate pe arbore în ordine de șah, barele rândului al II-lea trec prin centrul șuvoaiilor îmbinate, fiind din nou divizate, iar în rezultat se formează alte șuvoaie noi. Tot așa procese au loc și la trecerea celorlalte rânduri de bare și concomitent în tot volumul amestecului. Deoarece vectorii de deplasare a șuvoaiilor sunt îndreptați sub un unghi oarecare față de axa tobei, are loc migrarea componentelor amestecului de la peretele lateral din stânga spre cel din dreapta și invers. Acest fapt contribuie la distribuirea uniformă a tuturor componentelor în tot volumul amestecului și omogenizarea rapidă a lui.

Totodată, asupra lagărelor arborelui nu apasă forțe axiale, deoarece fiecare bară divizează șuvoiul de material în două părți egale, iar componentele axiale a forței de înaintare a barei se anihilează

În malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale (fig. 1, a), procesul de divizare a amestecului în șuvoaie și migrare a particulelor are loc doar în plan

longitudinal, iar în malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale (fig. 1, b) procesele sus menționate au loc concomitent atât în plan longitudinal cât și în plan transversal, amestecarea fiind mai intensivă.

Malaxoarele cu bare pot să se diferențieze, în funcție de capacitatea tobei, după numărul minimal de bare n_{bmin} în rândurile longitudinale (răzuitoarele se echivalează cu câte o bară). În fig. 3 este prezentat schematic procesul de amestecare și de formare a șuvoaiilor complexe și unice pe exemplul malaxorului cu $n_{bmin} = 3$ și pentru cazul când avem trei componente ale amestecului a, b și c în cantități egale cu câte o unitate, amplasate în zone transversale de-a lungul malaxorului. Liniile verticale de pe schemă reprezintă pereții laterali ai tobei, iar săgețile – șuvoaiile complexe.

Schema procesului de amestecare din fig. 3 este aplicabilă atât pentru malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă, cât și pentru cele cu amestecare forțată. În primul caz, barele sunt fixe, iar componentele amestecului cad în jos peste bare. În al doilea caz amestecul nu se deplasează în direcție verticală, iar barele trec prin amestec. Pe desen observăm cum se schimbă calitatea amestecului după trecerea fiecărui rând de bare.

Un **șuvoi complex**, format în procesul amestecării, reprezintă totalitatea **șuvoaiilor unice** formate după o **divizare**, în stânga sau în dreapta barei, sau după o **deviere** de la un răzuitor.

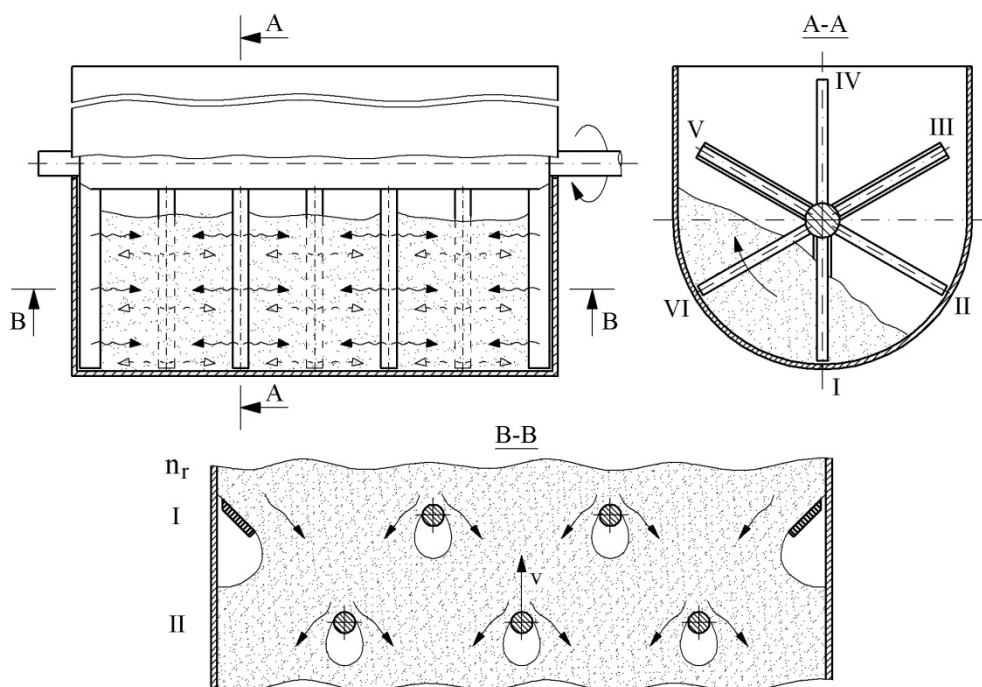


Figura 2. Procesul de amestecare în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă și amestecare forțată:

n_r – numărul rândurilor longitudinale de bare.

În procesul amestecării, după fiecare rând longitudinal de bare care trece prin amestec se formează un număr constant de șuvoaie complexe egal cu $2n_{bmin}$, iar numărul șuvoaielor unice care fac parte din componența unui șuvoi complex crește conform progresiei geometrice, deci se schimbă **calitatea și structura șuvoaielor complexe**. Fiecare șuvoi complex are structură unică și există până la următoarea divizare sau deviere, după care se formează un alt șuvoi complex. Șuvoaiele unice, din interiorul șuvoiului complex sunt amestecate reciproc între ele. Astfel, dacă șuvoaiele unice sunt alcătuite din particule ale diferitor componente, atunci acestea sunt amestecate între ele.

Deoarece, după fiecare rând de bare se formează un număr constant de șuvoaie complexe, rezultă că șirul de numere ale șuvoaielor complexe cumulate în procesul de amestecare reprezintă o progresie aritmetică (fig. 3: $\sum n_{sc} = 6, 12, 18, \dots$) cu rația d egală cu $2n_{bmin}$ și valoarea primului membru al progresiei a_1 tot egală cu $2n_{bmin}$. Deci, pentru determinarea oricărui membru al progresiei aritmetice a_n , sau numărului de șuvoaie complexe cumulate după trecerea a n_r rânduri longitudinale de bare prin amestec putem folosi relația

$$a_n = \sum n_{sc} = a_1 + d(n_r - 1) \quad (1)$$

sau

$$\sum n_{sc} = 2n_{bmin}n_r \quad (2)$$

Un **șuvoi unic**, format în procesul amestecării, reprezintă o parte componentă a **șuvoiului inițial**, dar care are o **cantitate de material** mai mică de **doi la puterea n_r ori**, unde n_r este numărul de rânduri de bare care au trecut prin amestec până la formarea lui (fig. 3).

La trecerea fiecărui rând de bare prin material în procesul amestecării, numărul șuvoaielor unice formate **se dublează**, iar cantitatea de material care se conține în fiecare respectiv se **micșorează tot de două ori**. După fiecare divizare sau deviere, din șuvoaiele unice formate anterior se formează altele noi, deoarece acestea se deosebesc nu doar prin cantitatea de material, dar și prin **aranjamentul particulelor în spațiu**, prin urmare nu poate exista două șuvoaie unice absolut identice.

Șirul de numere ale șuvoaielor unice care se formează după trecerea prin amestec a fiecărui rând longitudinal de bare reprezintă o progresie geometrică (fig. 3: $n_{su} = 6, 12, 24, \dots$) cu rația q egală cu 2 și valoarea primului membru al progresiei a_1 egală cu $2n_{bmin}$. Deci, pentru determinarea unui oarecare membru a_n al progresiei geometrice, sau numărului de șuvoaie

unice formate după trecerea rândului n_r longitudinal de bare putem folosi relația

$$a_n = n_{su} = a_1 q^{n_r - 1} \quad (3)$$

Numărul șuvoaielor unice cumulate $\sum n_{su}$ obținute după trecerea prin amestec a n_r rânduri longitudinale de bare se determină cu relația pentru calculul sumei membrilor progresiei geometrice

$$S_n = \sum n_{su} = a_1 \frac{q^{n_r} - 1}{q - 1} \quad (4)$$

La trecerea primului rând longitudinal de bare (fig. 3), fiecare component al amestecului este divizat în câte două șuvoaie cu cantitatea 0,5 fiecare. Aici se formează 6 șuvoaie complexe alcătuite din câte un singur șuvoi unic. La trecerea rândului al doilea, se formează tot 6 șuvoaie complexe, dar care conțin deja câte 2 șuvoaie unice. Șuvoaiele unice sunt grupate după tipul componentului din care sunt alcătuite (de exemplu $2 \times 0,25a, 2 \times 0,25c$).

După trecerea prin material a rândului al doilea de bare, și devierea șuvoiului 0,5a de la răzuitorul din stânga, se obțin două șuvoaie cu cantitatea 0,25a fiecare. Aceasta are loc deoarece, dacă în locul răzuitorului ar fi fost o bară, iar peretele lateral ar fi fost situat față de aceasta la o distanță egală cu pasul longitudinal dintre bare, atunci șuvoiul 0,5a s-ar fi divizat în două șuvoaie: 0,25a de stânga și 0,25a de dreapta (fig. 4, b). Însă, în cazul dat, șuvoiul 0,5a este deviat în întregime de răzuitorul din stânga spre dreapta și se obțin în așa mod două șuvoaie cu cantitate 0,25a fiecare (fig. 4, a). Același lucru se întâmplă și la răzuitorul din dreapta.

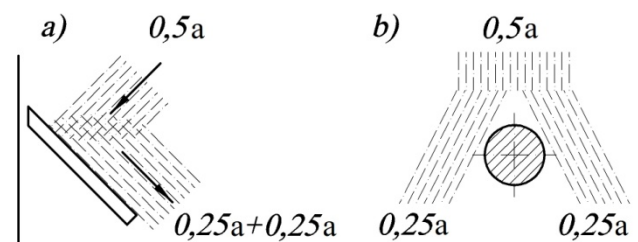


Figura 4. Procesul devierii șuvoiului 0,5a de la răzuitor (a) și divizării de către bară (b).

Particulele componentelor amestecului a și c se distribuie pe toată lungimea malaxorului după trecerea rândului al 5-lea de bare (fig. 3), formându-se distribuții normale secționare, iar particulele componentului b se distribuie deja după trecerea rândului al 3-lea, formând distribuție normală în centrul malaxorului. La continuarea procesului de amestecare, aceste distribuții tind să se uniformizeze. Adică, particulele componentului a se deplasează la dreapta, componentului c la stânga, iar a componentului b spre periferiile tobei.

Particulele componentului b se distribuie uniform pe toată lungimea malaxorului mai rapid, deoarece au fost situate inițial în centrul tobei. După rândul al 15, în fiecare șuvoi complex se conțin 5461 șuvoaie unice cu cantitatea fiecăruia egală cu 2^{-15} de la unitate, alcătuite din particule ale componentului b, cu excepția șuvoaielor complexe centrale, care conțin 5462 șuvoaie unice alcătuite din particulele aceluiasi component. Acest fapt ne demonstrează că particulele componentului b sunt distribuite uniform de-a lungul malaxorului. La continuarea procesului de amestecare, distribuția uniformă nu se schimbă.

Particulele componentelor a și c se distribuie uniform după trecerea a 69 rânduri de bare, ceea ce este echivalent cu 11,5 rotații ale arborelui malaxorului cu 6 rânduri longitudinale de bare. După al 69-lea rând de bare, în fiecare șuvoi complex se conțin particulele fiecărui component în proporții egale. Aici fiecare component, în interiorul fiecărui șuvoi complex, se găsește sub forma de $9,84 \cdot 10^{19}$ șuvoaie unice fiecare având o cantitate de material egală cu 2^{-69} părți de la unitate. Aceste

șuvoaie sunt amestecate între ele și deci, amestecul este omogen.

2. PROCESUL DE MIGRAȚIE AL PARTICULELOR

În malaxoarele cu bare, în procesul amestecării, datorită divizării componentelor amestecului în șuvoaie și devierii acestora, au loc procese de migrație a particulelor în tot volumul tobei

Deplasarea particulelor de la peretele lateral de stânga al malaxorului până la peretele lateral de dreapta sau invers constituie o **migrație deplină**. O migrație deplină se compune din mai multe **migrații elementare**. O migrație elementară reprezintă deplasarea particulelor de la o bară la alta, de la o bară la un răzuitor sau invers. În orice malaxor cu bare, la trecerea unui rând de bare prin amestec particulele efectuează $2n_{bmin}$ migrații elementare (fig. 5), iar la o rotație a arborelui malaxorului echipat cu 6 rânduri longitudinale de bare – $12n_{bmin}$ migrații elementare.

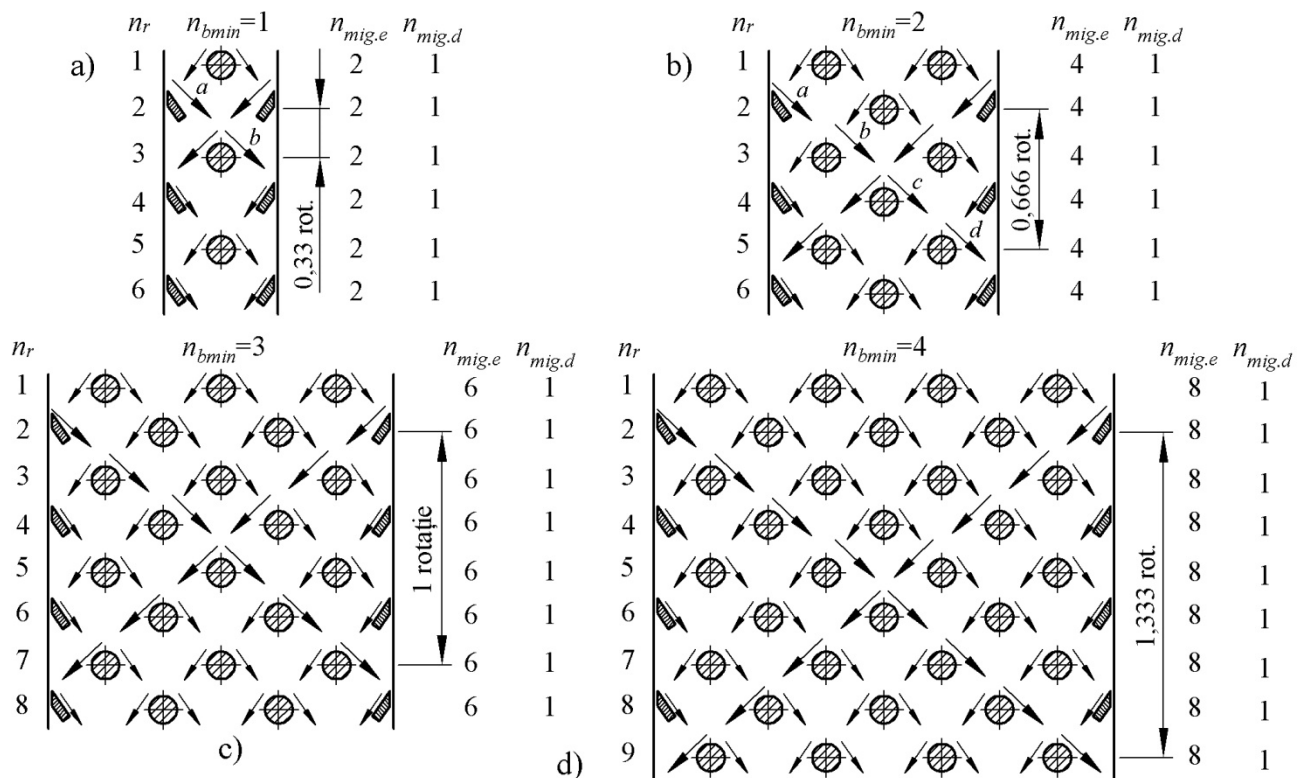


Fig. 5. Schema procesului de migrație a componentelor amestecului în malaxoarele cu bare: n_{bmin} – numărul minimal de bare în rândurile longitudinale; n_r – numărul rândurilor longitudinale de bare; $n_{mig.e}$ și $n_{mig.d}$ – numărul migrațiilor elementare și respectiv depline ale particulelor

Observăm că în malaxorul cu $n_{bmin} = 1$ (fig. 5, a) pentru efectuarea unei migrații depline, particulele trebuie să efectueze două migrații elementare a și b, iar pentru aceasta este necesară trecerea prin amestec a două rânduri longitudinale

de bare. Însă, după trecerea unui singur rând de bare, se formează în total tot două migrații elementare ale particulelor, iar împreună ele alcătuiesc o migrație deplină. Același lucru îl avem și la malaxoarele cu alt n_{bmin} .

De exemplu, la malaxorul cu $n_{bmin} = 2$ (fig. 5, b), pentru efectuarea unei migrații depline, particulele trebuie să efectueze patru migrații elementare a, b, c și d, iar pentru aceasta este necesară trecerea prin amestec a patru rânduri longitudinale de bare. Însă, după trecerea unui singur rând de bare, se formează în total tot patru migrații elementare, iar împreună ele alcătuiesc o migrație deplină. Deci, putem considera că în orice malaxor cu bare, după trecerea fiecărui rând de bare prin amestec se formează migrații elementare care sunt echivalente cu o migrație deplină. iar la o rotație a arborelui malaxorului echipat cu 6 rânduri de bare se formează în total 6 migrații depline.

În malaxorul cu $n_{bmin} = 1$ o particulă se deplasează de la peretele de stânga spre cel de dreapta, sau invers după 0,333 rotații ale arborelui, iar în malaxoarele cu $n_{bmin} > 1$ durata deplasării particulelor de la un perete lateral la celălalt este mai mare. De exemplu, în malaxorul cu $n_{bmin} = 2$ (fig. 5, b) pentru aceasta sunt necesare 0,666 rotații, deci o durată de două ori mai mare decât în primul caz, iar pentru malaxorul cu $n_{bmin} = 4$ (fig. 5, d) – de 4 ori mai mare. Durata efectuării unei migrații depline a unei particule depinde direct proporțional de numărul minimal de bare în rândurile longitudinale.

Pentru determinarea numărului de rotații n ale arborelui malaxorului, echipat cu șase rânduri longitudinale de bare, necesare pentru efectuarea unei migrații depline a unei particule putem folosi relația

$$n = 0,333n_{bmin} \quad (5)$$

Procesul de migrație în planuri transversale este analogic cu cel din planurile longitudinale. Numărul total de migrații se determină prin însumarea migrațiilor efectuate de particule în ambele planuri.

CONCLUZII

1. La trecerea fiecărui rând de bare prin material în procesul amestecării, numărul șuvoaielor unice formate se dublează, iar cantitatea de material care se conține în fiecare se micșorează tot de două ori.

2. Șirul numerelor șuvoaielor complexe cumulate în procesul de amestecare în malaxoarele cu bare reprezintă o progresie aritmetică cu rația $d = 2n_{bmin}$ și valoarea primului membru al progresiei a_1 egală tot cu $2n_{bmin}$.

3. Șirul numerelor șuvoaielor unice formate în procesul amestecării după trecerea prin material a fiecărui rând longitudinal de bare reprezintă o

progresie geometrică cu rația $q = 2$ și valoarea primului membru al progresiei $a_1 = 2n_{bmin}$.

4. Numărul migrațiilor depline ale particulelor depinde direct proporțional de numărul de rotații ale arborelui malaxorului, iar durata efectuării unei migrații depline a unei particule depinde direct proporțional de numărul minimal de bare în rândurile longitudinale.

Bibliografie

1. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție. 479 G2, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 1997.05.31. BOPI nr.10/96.
2. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție. 655 G2, Malaxor. MD, 1997.09.30. BOPI nr.1/97.
3. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție. 2301 C2, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2004.06.30. BOPI nr.11/2003.
4. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție 2303 C2, Malaxor vibrator cu acțiune ciclică. MD, 2004.06.30. BOPI nr. 11/2003.
5. **Andrievschi S., Lungu V., Izbândă A.** Brevet de invenție. 2423 C2, Malaxor. MD, 2004.12.31. BOPI nr. 4/2004.
6. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție. 3287 G2, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2007.12.31. BOPI nr. 4/2007.
7. **Andrievschi S., Lungu V.** Brevet de invenție. 3415 G2, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2008.06.30. BOPI nr. 10/2007.
8. **Andrievschi S., Daniță A.** Brevet de invenție. 3448 G2, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2008.08.31. BOPI nr. 12/2007.
9. **Andrievschi S., Lozan A.** Brevet de invenție. 583 Z, Malaxor cu acțiune ciclică. MD. 2013.08.31. BOPI nr. 1/2013.
10. **Andrievschi S., Lozan A., Braniște I.** Brevet de invenție. 883 Z, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2015.09.30. BOPI nr. 2/2015.
11. **Andrievschi S., Lozan A., Vascan O.** Brevet de invenție. 747 Z, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2014.03.31. BOPI nr. 3/2014.s
12. **Andrievschi S., Lozan A., Guștiuc I.** Brevet de invenție. 815 Z, Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2014.09.30. BOPI nr. 9/2014.
13. **Andrievschi S.** Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare. Chișinău: U.T.M., 2008. 176 p.

Recomandat spre publicare: 12.10.2015.