

LEGI ȘI FENOMENE ALE PROCESULUI DE AMESTECARE CU ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE

*Dr. în tehnică, conf. univ. Serghei ANDRIEVSKI,
dr. în tehnică, conf. univ. Valeriu LUNGU,
ing. Alexandr LOZAN*

Universitatea Tehnică a Moldovei

ABSTRACT

The presented laws and phenomena take place in the process of mixing the bar mixers. These patterns have been discovered in a study conducted by the Department of Roads, Construction Materials and Machinery of the Technical University of Moldova due to the specific design of mixers with bars and a specific way of mixing, which lead to a homogeneous mixing in the whole volume in a very short time.

Intensificarea proceselor de amestecare, majorarea gradului de omogenizare a amestecului, obținute nu datorită mării consumului de energie, ci prin utilizarea unui nou principiu de amestecare sunt foarte actuale, atât pentru industria materialelor și articolelor de construcție, cât și pentru alte domenii ale economiei naționale. Utilizarea organelor de amestecare în formă de bare [1 – 6] , situate într-un mod optimal în spațiul dintre arbore și suprafața interioară a tobei malaxorului, asigură în procesul rotirii divizarea forțată a componentelor într-un număr mare de șuvoaie și îmbinarea ulterioară în viteză a lor. Repetarea de nenumărate ori a acestor procese conduce la migrația particulelor în sensuri opuse atât în lungul malaxorului cât și în direcție radială și la obținerea unui amestec omogen.

Descrierea constructivă și funcțională a malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare este prezentată în brevetele de invenție [2-6], rezultatele cercetărilor au fost publicate în articole editate în culegeri de lucrări științifice, în reviste și în monografia [1]. În lucrarea de față sunt prezentate legile și fenomenele specifice malaxoarelor cu bare cu acționare ciclică. Pentru a facilita procesul de lămurire a legităților procesului de amestecare prezentăm următoarele definiții.

Șuvoi unic și șuvoi complex unic de amestec care se formează în procesul malaxării și care există porțiuni de secundă. Fiecare șuvoi, format în procesul divizării și îmbinării, este unic în felul său, deoarece fiecare schimbare de direcție, divizare în șuvoaie, îmbinare a șuvoaielor conduce la apariția noi șuvoaie unice, care la rândul lor iarăși își schimbă direcția, se divizează, se îmbină ș.a.m.d. Șuvoiul complex unic este un așa șuvoi de particule care include în componența sa un număr oarecare de șuvoaie unice.

Cercetările teoretice și experimentale au condus la descoperirea următoarelor legi și fenomene ale procesului de amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare.

Prima lege

Numărul de șuvoaie complexe de amestec $n_{\text{șc}}$ care se formează după trecerea fiecărui rând longitudinal de bare al malaxorului este egal cu $2n_{\text{bmin}}$, unde: n_{bmin} este numărul minimal de bare în rândurile longitudinale de bare, deci

$$n_{\text{șc}} = 2n_{\text{bmin}}.$$

Legea a doua

Numărul de șuvoaie complexe cumulate $\sum n_{\text{șc}}$ care se formează după trecerea rândurilor longitudinale de bare reprezintă o progresie aritmetică cu rația d egală cu $n_{\text{șc}}$ și se determină cu relația

$$a_{nr} = a_1 + d(nr - 1) = \sum n_{\text{șc}},$$

unde: a_1 – primul membru al progresiei egal cu $n_{\text{șc}}$;

d – rația progresiei,

n_r – numărul de ordine al progresiei egal cu numărul de rânduri longitudinale de bare care au trecut prin material, sau cu formula

$$\sum n_{\text{șc}} = 2n_r n_{\text{bmin}}$$

Legea a treia

Numărul de șuvoaie unice $n_{\text{șu}}$ care se formează după trecerea prin material a n_r rânduri longitudinale de bare reprezintă o progresie geometrică cu rația q egală cu 2. Valoarea membrului cu numărul n_r al progresiei geometrice $a_{nr} = n_{\text{șu}}$ se determină cu relația

$$a_{nr} = a_1 q^{nr-1},$$

iar suma membrilor progresiei geometrice (suma totală a șuvoaielor unice $\sum n_{\text{șu}}$) se determină cu relația

$$S_{nr} = \frac{a_{nr} q - a_1}{q - 1} = \sum n_{\text{șu}},$$

unde: a_{nr} - valoarea membrului cu numărul n_r al progresiei geometrice ($a_{nr} = n_{\text{su}}$);

q – rația ($q \neq 1$);

a_1 - valoarea primului membru al progresiei geometrice, $a_1 = 2 \cdot n_{bmin}$.

Legea a patra

În malaxorul cu bare după primul rând cu $n_{b.min} = 4$ datorită divizării în șuvoaie și îmbinării șuvoaielor, se obține o distribuție normală a materialului în lungul malaxorului .

După primul rând cu $n_{b.max}$ datorită răzuitoarelor începe migrarea particulelor de la stânga spre dreapta și de la dreapta spre stânga. Aceasta contribuie la formarea distribuției normale secționate de stânga și de dreapta. Are loc însumarea distribuției normale centrale cu distribuțiile normale secționate din stânga și din dreapta. Aceasta conduce la apariția distribuției uniforme. La continuarea acestui proces distribuția rămâne uniformă, deosebindu-se de cele precedente printr-un număr mai mare de șuvoaie unice și cu o omogenizare mai înaltă a amestecului.

Omogenitatea înaltă a amestecului este garantată prin aceea că, spre exemplu, în malaxorul cu $n_{b.min} = 4$ după 5,33 rotații ale arborelui în amestec se conțin mai mult de $1,72 \cdot 10^{10}$ șuvoaie unice amestecate între ele.

Legea a cincea

La situarea separată transversală în lungul tobei a componentelor a , b și c fiecare cu un conținut egal cu unu observăm următoarele: componentul b situat în centrul tobei conform legii a patra capătă o distribuție uniformă în lungul tobei deja după trecerea a 12 rânduri de bare prin material. Șuvoaiele a și c , în procesul divizării-îmbinării și devierii de către răzuitoare și migrației, mai întâi capătă distribuții normale secționate de stânga și de dreapta, care apoi se transformă în distribuții uniforme.

După trecerea prin material a 57 de rânduri longitudinale de bare (9,67 rotații ale arborelui) distribuția particulelor este uniformă în lungul tobei, iar fiecare șuvoi complex este compus din trei mulțimi de șuvoaie, fiecare aparținând componentelor a , b și c având fiecare conținutul egal cu 0,167 de la unu și amestecate omogen, deoarece fiecare șuvoi complex este compus din cel puțin $1,44 \times 10^{17}$ șuvoaie unice amestecate între ele. Raportul cantităților de material ale șuvoiului a față de cantitățile de material ale șuvoaielor b și c atât pe verticală, cât

și pe orizontală, este 1:1:1 și corespunde cu cel dat de dozaj și de divizarea șuvoaielor în părți egale la toate barele.

Legea a șasea

La finele procesului de amestecare în malaxoarele cu bare se obține un amestec omogen cu raportul componentelor în toată masa egal cu raportul dat de dozator până la amestecare.

Legea a șaptea

La introducerea materialului în zona primului rând transversal de bare din stânga a malaxorului au loc următoarele fenomene. Șuvoaiile din stânga primului rând transversal de bare sunt deviate de către răzuitoare spre dreapta și treptat trec până la peretele din dreapta, apoi fiind deviate de răzuitoarele de dreapta spre stânga își continuă mișcarea spre stânga. Aceste procese au loc concomitent în tot volumul tobei ocupat de material.

După trecerea primelor rânduri longitudinale de bare prin material (rândurile 8-20) se obține o distribuție normală secționată care descrie situarea cantitativă a materialului în lungul tobei.

Pe măsura trecerii barelor prin material se mărește cantitatea de material în șuvoaiile din dreapta și se micșorează în cele din stânga. Distribuția materialului se apropie de cea uniformă. După trecerea prin material a 174 de rânduri longitudinale de bare se obține o distribuție uniformă la care cantitatea șuvoaielor complexe este una și aceeași și-i egală cu 0,25 părți de la unu cu o precizie de șase cifre după virgulă.

Calitatea amestecului se caracterizează cu un grad înalt de omogenizare datorită numărului mare de șuvoaie unice amestecate între ele ($8,796 \cdot 10^{12}$ șuvoaie unice după trecerea a 42 rânduri de bare)

Legea a opta

Componentele amestecului sunt distribuite până la amestecare uniform în lungul tobei malaxorului în straturi orizontale suprapuse fiecare egal cu o unitate.

După trecerea a 39 de rânduri longitudinale de bare se obține distribuția uniformă, atât pe verticală, cât și pe orizontală. Raportul dintre cantitatea componentelor în orice zonă a tobei este de 1:1, deci acela care a fost dat de dozaj.

Când în malaxor până la amestecare sunt mai multe componente situate orizontal și uniform cu diferite cantități (spre exemplu 1:2:3), la finele procesului de amestecare se obține un amestec distribuit tot uniform și omogen, în orice

volum elementar al căruia se găsesc particulele ale fiecărui component în proporții egale cu cele date de dozaj, și anume, 1:2:3.

Legea a noua

În malaxoarele cu amestecare în planuri longitudinale și transversale numărul total de șuvoaie unice reprezintă suma șuvoaielor formate în planurile longitudinale și cele transversale. Migrația particulelor are loc de la stânga tobei spre dreapta și invers, de la centrul tobei spre periferie și invers.

Legea a zecea

Limita divizării materialului în șuvoaie în malaxoarele cu bare apare atunci când grosimea șuvoiului unic devine mai mică decât dimensiunea particulelor amestecului.

Legea a unsprezecea

Numărul de migrații elementare (trecerea de la o bară la alta) care au loc în malaxoarele cu acționare ciclică cu organe de amestecare în formă de bare $n_{mig.e}$ se determină cu relația

$$n_{mig.e} = 2(n_b + n_{p.r})n,$$

unde: n_b – numărul total de bare radiale al malaxorului;

$n_{p.r}$ – numărul de perechi de răzuitoare radiale ale malaxorului;

n – numărul de rotații al arborelui.

Legea a doisprezecea

Numărul de migrații depline (trecerea particulei de la peretele din stânga spre cel din dreapta, sau invers) care au loc în malaxoarele cu acționare ciclică cu organe de amestecare în formă de bare și tobă basculantă $n_{mig.d}$ se determină cu relația

$$n_{mig.d} = \frac{(n_b + n_{p.r})n}{n_{b.min}}$$

Legea a treisprezecea

Divizarea materialului de către bare în raport de a:b = 3:1 la toate barele. Numărul de șuvoaie complexe și unice care se formează este de aceeași valoare ca și la malaxorul cu divizarea materialului în părți egale la fiecare bară. După trecerea a 32 de rânduri longitudinale de bare prin material se stabilește o structură constantă a amestecului care apoi se menține la amestecarea de mai departe: raportul cantității componentului a asupra cantității componentului b în

fiecare din șuvoaiile complexe A , B , C și D este egal cu trei. Raportul cantităților șuvoaielor complexe este egal cu trei.

Raportul cantităților de același material care aparțin șuvoaielor vecine (în lungul malaxorului) tot este egal cu trei. Așa, raportul cantității materialului șuvoiului a care aparține șuvoiului complex A față de cantitatea șuvoiului a care aparține șuvoiului complex B este egal cu trei ($0,506250/0,168750=3$), iar a cantităților materialului șuvoaielor b tot a acestor șuvoaie complexe A și B este tot trei ($0,168750/0,056250=3$). Tot așa legități se observă și la șuvoaiele complexe B , C și C , D

Legea a patrusprezecea

Prima bară a malaxorului cu $n_{b.min} = 3$ este fixată imprecis. De aceea are loc divizarea materialului în două șuvoaie inegale în raport de 3:1. La celelalte bare divizarea se efectuează în două părți egale. Se obține distribuția uniformă a materialului după un număr de patru ori mai mare de treceri printre bare decât în malaxorul cu divizarea în două părți egale la toate barele.

Legea a cincisprezecea

În malaxorul cu $n_{b.min} = 3$ șuvoiul cu cantitatea egală cu o unitate se divizează la prima bară centrală în două șuvoaie: stâng cu cantitatea de $\frac{3}{4}$, și drept cu cantitatea de $\frac{1}{4}$. La toate celelalte bare are loc divizarea în părți egale a șuvoaielor. După trecerea a 43 de rânduri de bare se obține o distribuție uniformă a ambelor componente, iar raportul cantității primului component față de cantitatea componentului al doilea este egal cu trei în orice volum și coincide cu raportul inițial dintre aceste componente determinat de dozaj.

Legea a șaisprezecea

Probabilitatea totală de trecere a particulelor a fiecărui rând este egală cu produsul probabilității totale a rândului precedent la probabilitatea trecerii acestui rând

$$P_{it} = P_{(i-1)t} \cdot P_i$$

unde: P_{it} - probabilitatea totală de trecere a particulelor a fiecărui rând;

$P_{(i-1)t}$ - probabilitatea totală de trecere a particulelor la rândul precedent;

P_i - probabilitatea trecerii acestui rând.

Legea a șaptesprezecea

Procesul divizării, îmbinării și migrării șuvoaielor de particule în malaxoarele cu bare este probabilistic. Are loc mai întâi distribuția normală a particulelor în centrul tobei, apoi transformarea ei la capetele tobei în distribuții normale secționate, însumarea ultimelor cu distribuția normală centrală. Toate acestea conduc la formarea distribuției uniforme în toată masa amestecului.

Procesul de amestecare probabilistic conduce la apariția unui proces determinist care poate fi prognozat.

Legea a optsprezecea

Aționarea concomitentă a particulelor de către forțele din stânga și din dreapta a barelor sub diferite unghiuri față de direcția de deplasare contribuie la afânarea masei de material și creșterea mobilității lui. Mobilitatea mărită a materialului din zonele acționate contribuie la micșorarea rezistenței la deplasare a barelor.

În malaxorul cu 33 bare situate în șah pe suprafața arborelui în condiții egale cu cele precedente rezistența la înaintare a barelor malaxorului (16 bare în material) are aceeași valoare ca și rezistența la trecerea prin amestec numai a unei singure bare separate. Aceasta dovedește faptul existenței și importanței interacțiunii barelor în procesul malaxării

Legea a noăsprezecea

Pasul barelor are o influență deosebită asupra rezistenței la înaintare. Când pasul este egal cu 10 mm (distanța dintre bare este egală cu zero), rezistența are valori destul de mari. La majorarea pasului barelor rezistența se micșorează foarte simțitor și atinge valoarea minimă când pasul este de 60 mm pentru nivelul înclinat al materialului. Majorarea de mai departe a pasului conduce la creșterea rezistenței la înaintare. Această legitate se respectă pentru toate numerele de bare cercetate.

Valori 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 sa 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. Valoare 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 vecine – are loc interacțiunea barelor în procesul trecerii lor prin material.

Legea a douăzecea

Locul de introducere a șuvoiului inițial de material în malaxorul cu bare situate în șah pe arbore nu influențează negativ asupra calității amestecului. În rezultatul divizării în părți egale a componentelor amestecului, îmbinării șuvoaielor divizate, migrării particulelor în lungul tobei în dreapta și în stânga și invers la finele procesului de amestecare se obține o distribuție uniformă în lungul tobei, un număr mare de șuvoaie unice și un amestec omogen.

Însă, cu cât locul de introducere a materialului este mai departe de centru în lungul tobei, cu atât timpul de amestecare se mărește.

Legea a douăzeci și una

Unirea capetelor organelor de amestecare în formă de bare ale malaxorului cu inele de rigidizare, situate simetric la capetele arborelui, unirea acestor inele cu celelalte rânduri transversale de bare prin intermediul barelor longitudinale conduce la distribuirea uniformă a forței totale de rezistență între toate barele și eliminarea forțelor de încovoiere a arborelui. Arborele este solicitat numai la torsiune.

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. ISBN 978-9975-45-088-1.
2. ***Andrievschi S., Lozan A.*** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.583, BOPI nr.1/2013, 2013.01.31.
3. ***Andrievschi S., Lozan A., Vascan O.*** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.747, BOPI nr.3/2014, 2014.03.31.
4. ***Andrievschi S., Lozan A., Fuștei D.*** Malaxor gravitațional cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.748, BOPI nr.3/2014, 2014.03.31.
5. ***Andrievschi S., Lozan A., Guștiuc I.*** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.815, BOPI nr.9/2014, 2014.09.30.
6. ***Andrievschi S., Lozan A., Braniște I.*** Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr. 883, BOPI nr.3/2014, 2014.03.31.