

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**Cu titlu de manuscris  
CZU: 693.542.5.(043.2)**

**LOZAN ALEXANDR**

**OPTIMIZAREA MALAXOARELOR CU BARE CU ACȚIUNE  
INTERMITENTĂ ȘI A PROCESELOR DE AMESTECARE ÎN  
CONSTRUCȚII**

**242.07 – MAȘINI ȘI ECHIPAMENTE TEHNICE**

**Teza de doctor în tehnică**

**Conducător științific**

**Andrievschi Serghei  
dr. în tehnică, conf. univ.**

**Autorul:**

**Lozan Alexandr**

**CHIȘINĂU, 2017**

**© Lozan Alexandr, 2017**

## CUPRINS

<b>FOAIA PRIVIND DREPTUL DE AUTOR.....</b>	<b>2</b>
<b>ADNOTARE (română, rusă și engleză).....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA ABREVIERILOR.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>11</b>
<b>1. PARTICULARITĂȚILE PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE CU ACȚIUNE INTERMITENTĂ. DETERMINAREA SARCINII CERCETĂRILOR.....</b>	<b>16</b>
1.1. Analiza procesului de amestecare și a construcției organelor de lucru ale malaxoarelor cu palete și acțiune intermitentă.....	18
1.2. Metode de intensificare a procesului de amestecare în malaxoarele cu bare.....	30
1.3. Blocarea particulelor amestecului între organele de amestecare și pereții interiori ai tobei.....	36
1.4. Concluzii și stabilirea sarcinilor studiilor.....	38
<b>2. STUDIUL TEORETIC AL PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE CU BARE ȘI ACȚIUNE INTERMITENTĂ.....</b>	<b>41</b>
2.1. Procesul de divizare și îmbinare a șuvoaielor.....	41
2.2. Procesul migrației particulelor.....	51
2.3. Studiul probabilistic al procesului de amestecare.....	53
2.4. Limita divizării șuvoiului de material.....	58
2.5. Concluzii la capitolul 2.....	61
<b>3. OPTIMIZAREA CONSTRUCTIVĂ A MALAXOARELOR CU BARE.....</b>	<b>63</b>
3.1. Metodica cercetării și aparatura utilizată.....	63
3.1.1. Aplicarea teoriei planificării experimentului multifactorial.....	63
3.1.2. Analiza modelului matematic obținut.....	67
3.1.3. Metode particulare și instalații experimentale.....	69
3.2. Rezistența la amestecare în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale.....	71
3.3. Rezistența la înaintare a barelor înzestrate cu inel de rigidizare.....	79
3.4. Rezistența la înaintare a barelor funcție de situarea lor pe arbore.....	81
3.4.1. Interacțiunea barelor cu mediul de lucru.....	81

3.4.2. Rezistența la amestecare a malaxorului cu decalaj circular și longitudinal al barelor.....	83
3.5. Concluzii la capitolul 3.....	93
<b>4. OPTIMIZAREA PROCESELOR DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE DE CONSTRUCȚII.....</b>	<b>95</b>
4.1. Omogenitatea amestecului obținut în malaxorul gravitațional cu bare.....	95
4.2. Omogenitatea amestecului obținut în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale.....	99
4.3. Optimizarea procesului de amestecare.....	102
4.3.1. Durata malaxării amestecului în stare uscată și umedă.....	102
4.3.2. Rezistența la amestecare a malaxorului.....	105
4.3.3. Nomograma pentru determinarea rezistenței la amestecare a malaxoarelor cu bare.....	108
4.4. Implementarea în producție și propuneri de utilizare în practică a rezultatelor obținute.....	113
4.5. Concluzii la capitolul 4.....	116
<b>CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....</b>	<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXE.....</b>	<b>129</b>
Anexa 1. Schemele malaxoarelor cu palete cu amestecare forțată.....	130
Anexa 2. Schema procesului de formare a șuvoaielor complexe în planuri transversale în diferite malaxoare.....	131
Anexa 3. Numărul șuvoaielor unice $n_{\text{șu}}$ după fiecare rând longitudinal de bare și suma totală a lor $\sum n_{\text{șu}}$ în malaxoarele cu $n_{\text{bmin}} = 5 - 8$ .....	132
Anexa 4. Schema formării șuvoaielor unice în malaxorul cu $n_{\text{bmin}} = 4$ .....	133
Anexa 5. Schema procesului de amestecare a componentelor amestecului situate separat în zone transversale cu diferite cantități inițiale în malaxorul cu $n_{\text{bmin}} = 5$ .....	134
Anexa 6. Schema procesului de distribuire a probabilităților deplasării bilei în malaxorul cu $n_{\text{bmin}} = 4$ (șuvoiul inițial este turnat în centru).....	135
Anexa 7. Idem (șuvoiul inițial este turnat la prima bară din stânga).....	137
Anexa 8. Idem (șuvoiul inițial este turnat la bara a doua din stânga).....	145
Anexa 9. Idem (șuvoiul inițial este turnat la bara a treia din stânga).....	153
Anexa 10. Brevet de invenție 583 Z MD.....	161



Anexa 11. Brevet de invenție 883 Z MD.....	162
Anexa 12. Brevet de invenție 747 Z MD.....	163
Anexa 13. Situarea barelor pe suprafața desfășurată a arborelui.....	164
Anexa 14. Brevet de invenție 815 Z MD.....	165
Anexa 15. Brevet de invenție 748 Z MD.....	166
Anexa 16. Coeficientul neomogenității amestecului $v_c$ .....	167
Anexa 17. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha + \beta = \gamma$ .....	168
Anexa 18. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha^I + \beta^I = \gamma^I$ .....	169
Anexa 19. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha^{II} + \beta^{II} = \gamma^{II}$ .....	170
Anexa 20. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha^{III} + \beta^{III} = \gamma^{III}$ .....	171
Anexa 21. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha^{IV} + \beta^{IV} = \gamma^{IV}$ .....	172
Anexa 22. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei $\alpha^V + \beta^V = \gamma^V$ .....	173
Anexa 23. Optimizarea malaxorului cu bare cu volumul amestecului 80 l produs la SA „INCOMAȘ” utilizând nomograma inginerescă.....	174
Anexa. 24. Act despre utilizare în producție a brevetului de invenție la Institutul de Genetică și Fiziologie a Plantelor al A.Ș.M. ....	175
Anexa. 25. Act despre utilizarea în producție a brevetului de invenție la SRL Coltan-TTD. ....	176
Anexa. 26. Act despre utilizarea în producție a brevetului de invenție la CP Rezonans.....	177
Anexa. 27. Act despre utilizarea în producție a brevetului de invenție la SRL IURAN.....	178
<b>DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....</b>	<b>179</b>
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>180</b>

**Lozan Alexandr. Optimizarea malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă și a proceselor de amestecare în construcții, teza de doctor în tehnică, Chișinău, 2017.**

Teza de doctor include o introducere, patru capitole (119 pagini de text, 55 figuri, 20 tabeluri), concluzii generale, bibliografie (128 surse) și 27 anexe.

Pe baza rezultatelor obținute sunt publicate 12 articole științifice în reviste, culegeri ale conferințelor naționale și internaționale, obținute cinci brevete de invenție.

Cuvinte-cheie: malaxor, bară, intermitent, amestec, omogenizare, intensificare, șuvoi, beton, mortar, optimizare, planificare.

Scopul lucrării constă în optimizarea parametrilor funcționali și constructivi ai malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă, care asigură o omogenitate înaltă a amestecurilor și productivitate înaltă cu un consum minim de energie.

Sunt elaborate și lărgite bazele teoretice ale procesului de amestecare și este determinată influența factorilor constructivi și tehnologici asupra rezistenței la înaintare, omogenității amestecului și productivității malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă.

Cercetările au fost efectuate utilizând metodele statisticii matematice, teoriei probabilităților și teoriei planificării experimentului multifactorial. Au fost elaborate metode noi și standuri pentru efectuarea experimentelor multifactoriale, sunt obținute modele matematice care descriu adecvat procesul de amestecare în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă.

Au fost elaborate, cercetate și propuse o gamă de soluții constructive noi ale malaxoarelor cu bare cu acțiune ciclică și anume: răzuitoare longitudinale cu element elastic; răzuitoare radiale și longitudinale articulate; organe de amestecare echipate cu inele de rigidizare; bare amplasate cu decalaj pe suprafața arborelui; amestecare prin cădere liberă. Acestea asigură: excluderea blocării particulelor în procesul amestecării; micșorarea rezistenței la amestecare, a consumului de metal și a greutateii malaxoarelor; majorarea energiei potențiale a componentelor amestecului.

Sunt prezentate rezultatele cercetărilor influenței factorilor constructivi și funcționali ai malaxoarelor asupra procesului de amestecare în formă de polinoame de gradul doi, nomograme utile pentru proiectarea și exploatarea malaxoarelor cu bare.

Este elaborată ecuația pentru determinarea rezistenței la amestecare în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă funcție de șapte factori constructivi și tehnologici: coeficientul de umplere a tobei; dimensiunea particulelor; diametrul barelor; diametrul tobei; umiditatea amestecului; lungimea tobei; unghiul de așchiere al barelor. În baza ecuației date a fost construită nomograma inginerescă permite determinarea rapidă a parametrilor optimali ai malaxorului și ai procesului de amestecare, care asigură cea mai mică rezistență la amestecare.

## АННОТАЦИЯ

**Лозан Александр. Оптимизация прутковых смесителей циклического действия и процессов смешивания в строительстве, диссертация на степень доктора технических наук, Кишинев, 2017.**

Докторская диссертация включает: введение, четыре главы (119 стр. текста, 55 рисунков, 20 таблиц), общие выводы, библиографию (128 источников) и 27 приложений.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ в журналах, сборниках национальных и международных конференций, запатентовано пять изобретений.

Ключевые слова: смеситель, пруток, циклический, смесь, гомогенизация, интенсификация, поток, бетон, раствор, оптимизация, планирование.

Цель работы заключается в оптимизации конструктивных и технологических параметров прутковых смесителей циклического действия, которые гарантируют получение гомогенной смеси и высокую производительность с минимальным потреблением энергии.

Разработаны и расширены теоретические основы процесса смешивания и определено влияние конструктивных и технологических факторов на сопротивление прохождению рабочих органов через смесь, на гомогенность смеси и на производительность циклических смесителей с прутковыми рабочими органами.

Исследования проведены с использованием методов математической статистики, теории вероятностей и математического планирования многофакторного эксперимента. Разработаны новые методы и стенды для проведения многофакторных экспериментов, получены математические модели, которые адекватно описывают процесс смешивания в прутковых смесителях циклического действия.

Разработаны, исследованы и предложены новые конструктивные решения прутковых смесителей циклического действия, а именно: продольные скребки с гибким элементом; шарнирные радиальные и продольные скребки; рабочие органы усиленные кольцом жесткости; прутки расположенные на поверхности вала со сдвигом; гравитационное смешивание. Данные решения обеспечивают: исключение блокировки частиц в процессе перемешивания; уменьшение сопротивления перемешиванию, снижение металлоемкости и веса смесителей; повышение потенциальной энергии компонентов смеси.

Предложены результаты исследования влияния конструктивных и технологических факторов смесителя на процесс смешивания в виде полиномов второго порядка, инженерных номограмм, полезные при проектировании и эксплуатации смесителей.

Предложена формула для расчета сопротивления перемешиванию прутковых смесителей циклического действия в зависимости от семи конструктивных и технологических факторов: коэффициента заполнения желоба; размера частиц смеси; диаметра прутков; диаметра желоба; влажности смеси; длины желоба; угла захода прутков в смесь. На основе данной формулы разработана инженерная номограмма, которая позволяет оперативно рассчитать оптимальные параметры смесителя и процесса смешивания, обеспечивающие наименьшее сопротивление перемешиванию составляющих бетонных и растворных смесей.

## ADNOTATION

### **Lozan Alexandr. Optimization of mixers with bars with intermittent action and processes of mixing in construction, PhD thesis, Chisinau, 2017.**

The doctoral thesis includes an introduction, four chapters (119 text pages, 55 drawings, 20 tables), general conclusions, bibliography (128 sources) and 27 annexes.

Based on the obtained results 12 scientific articles are written and published in journals, collections of national and international conferences, five patents are obtained.

Keywords: mixer, bar, intermittent, mixture, homogenization, intensification, optimization, stream, concrete, mortar, optimization, planning.

The purpose of the work consists in optimize of constructive and technological parameters of mixer with bars and intermittent action, that will ensure obtaining homogeneity of the mixture and high productivity with minimum energy consumption.

In the paper the theoretical bases of the mixing process is elaborated and expanded, and the influence of constructive and technological parameters on the resistance to mixing, the homogeneity of the mixture and productivity of mixers with bars and with intermittent action is determined.

The research was performed using statistical methods, the theory of probability, and the theory of planning of multifactor experiment. New methods and stands for performing the multifactor experiments are developed, mathematical models that adequate describe the process of mixing in the mixers with bars and intermittent action are obtained.

New constructive solutions of mixers with bars and with intermittent action, are developed, searched and proposed, namely: longitudinal scraper with elastic element; articulated radial and longitudinal scraper; equipped with stiffening rings mixing organs; bar located with shift on the shaft surface; gravitational mixing. These solutions ensure: exclusion of particles blocking in the mixing process; reduction resistance to mixing, metal consumption and weight mixers; increasing the potential energy of the mixture components.

The research results of the influence the constructive and technological parameters on the mixing process in the form of second-degree polynomials, nomograms useful for designing and operating of the mixers are proposed.

The equation for determining of the resistance to mixing in the mixers with bars and with intermittent action depending on the seven constructive and technological factors are proposed, namely: the filling coefficient of the drum; particle size; diameter of the bars; diameter of the drum; humidity of the mixture; the length of the drum; angle of entry of bars in the mixture. Based in the formula was built engineering nomogram, which makes it possible to quickly determine the optimal parameters of the mixer and mixing process, which ensures the lower resistance to mixing.

## LISTA ABREVIERILOR

- A.Ș.M. – Academia de Științe a Moldovei  
A/C – Raportul apă/ciment  
CP – Cooperativă de producție  
CSI – Comunitatea Statelor Independente  
DEM – Metoda elementului discret (din engleză *Discrete element method*)  
L/D – Raportul lungimea tobei / diametrului tobei  
M/V – Masa specifică (masa malaxorului/ volumul amestecului)  
p/d – Raportul pasul barelor / diametrul barei  
P/V – Puterea specifică (puterea motorului / volumul amestecului)  
SA – Societatea pe acțiuni  
SRL – Societate cu răspundere limitată  
SUA – Statele Unite ale Americii  
UTM – Universitatea Tehnică a Moldovei

## INTRODUCERE

În prezent proiectarea și confecționarea malaxoarelor destinate preparării amestecurilor de construcții se bazează pe principiul acționării volumetrică a organului de amestecare în formă de paletă asupra mediului de lucru. Deplasarea paletei prin material conduce la formarea unor șuvoaie masive, interpătrunderea cărora este dificilă. Din această cauză crește durata amestecării, consumul specific de energie la amestecare și scade productivitatea malaxorului.

Intensificarea procesului de amestecare de 2-4 ori în comparație cu malaxoarele cu palete și majorarea gradului de omogenizare a amestecurilor pot fi obținute în malaxoarele cu bare inventate în cadrul Universității Tehnice a Moldovei. La baza acestor malaxoare stă un nou principiu de amestecare care se produce datorită utilizării organelor de amestecare în formă de bare amplasate într-un mod optim pe suprafața arborelui malaxorului. În procesul rotirii arborelui, toate barele care se găsesc în material divizează concomitent întreaga masă de amestec în șuvoaie care apoi se îmbină în viteză și iarăși se divizează ș. a. m. d. Aceste procese se repetă la trecerea prin amestec a fiecărui rând de bare. Datorită divizării materialului în șuvoaie și devierii acestora, are loc migrația particulelor în diferite direcții atât în lungul tobei cât și în planuri transversale.

Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă conduce la micșorarea de 4-6 ori a duratei amestecării în comparație cu malaxoarele cu palete. Aceasta dă posibilitate de a majora considerabil productivitatea malaxoarelor, de a micșora cheltuielile specifice de energie și de a obține un volum de producție mai mare la o unitate de putere a motorului mașinii.

Majorarea gradului de omogenizare a amestecului conduce la creșterea rezistenței mecanice a articolelor și la micșorarea consumului de lianți, ceea ce dă posibilitate de a reduce prețul de cost al amestecurilor și al articolelor fabricate. De asemenea, omogenizarea înaltă a amestecului conduce la micșorarea devierii parametrilor mecanici și fizici ai articolelor și majorarea fiabilității lor.

Malaxoarele cu bare au fost cercetate anterior de către Andrievschi S., conf. univ., dr., care a elaborat bazele teoretice ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare, a cercetat influența asupra rezistenței la amestecare a unui șir de parametri constructivi și tehnologici și anume: coeficientul de umplere, diametrul și lungimea tobei; diametrul, unghiul de așchiere și pasul barelor; dimensiunea particulelor și umiditatea amestecului; turația arborelui etc. De asemenea dlui a mai cercetat dependența productivității și calității amestecării de pasul barelor, modul de încărcare a componentelor în toba malaxorului și numărul de rotații ale arborelui.

Malaxoarele cu bare cu acțiune continuă au fost cercetate anterior în special de către Lungu V., conf. univ. dr., care a elaborat bazele teoretice ale procesului de amestecare în aceste malaxoare, a cercetat rezistența la amestecare funcție de: coeficientul de umplere, diametrul și lungimea tobei; diametrul, forma secțiunii transversale și pasul barelor; dimensiunea particulelor și umiditatea amestecului etc. Dlui a cercetat și dependența productivității și calității amestecului obținut în malaxoarele cu bare cu acțiune continuă de mai mulți factori constructivi și tehnologici.

În pofida faptului că există un volum mare de cercetări ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă, este necesară lărgirea bazelor teoretice și cercetarea minuțioasă a tuturor legităților acestui proces care nu au fost studiate anterior. Nu este rezolvată definitiv problema blocării particulelor între capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a tobei. Sunt necesare cercetări ale influenței factorilor constructivi și funcționali, precum și interacțiunea acestora, asupra rezistenței la amestecare, omogenității amestecului și productivității malaxoarelor, care nu au fost cercetate anterior.

Luând în considerație volumul mare (zeci de mii de metri cubi pe an) de amestecuri de construcție necesar în țara noastră, optimizarea constructivă și funcțională a malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă și implementarea lor în producție reprezintă un interes deosebit de important pentru economia națională.

**Scopul și obiectivele lucrării.** Scopul lucrării constă în optimizarea parametrilor funcționali și constructivi ai malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă, care asigură o omogenitate înaltă a amestecurilor și productivitate înaltă cu un consum minim de energie.

Obiectivele:

1. Elaborarea și extinderea bazelor teoretice ale procesului de amestecare în malaxoare cu bare și acțiune intermitentă;
2. Obținerea modelelor matematice care descriu adecvat procesul de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă, utilizând teoria modernă de planificare a experimentului;
3. Determinarea parametrilor constructivi optimați ai malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă, care asigură micșorarea rezistenței la amestecare;
4. Determinarea parametrilor tehnologici optimați ai procesului de amestecare, care asigură majorarea productivității și calității amestecului obținut în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă cu cheltuieli specifice minime de energie;
5. Elaborarea și cercetarea malaxoarelor noi și a organelor de amestecare optime din punct de vedere constructiv;



6. Aplicarea rezultatelor obținute în practica proiectării, confecționării și exploatării malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă.

**Metodologia cercetării științifice.** Sunt utilizate metodele statisticii matematice și teoriei probabilităților, metodele teoriei planificării experimentului multifactorial, metodele standardizate de laborator pentru determinarea rezistenței la compresiune a betonului preparat în malaxorul cu bare (Centrul de încercări betoane al companiei Lafarge din Moldova), metodele tehnologiei informaționale, metodele particulare de apreciere a omogenității amestecului obținut în malaxoarele cu bare și de determinare a rezistenței la amestecare.

**Noutatea și originalitatea științifică** este asigurată de:

- bazele teoretice elaborate și extinse, ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă;
- metodele și standurile elaborate pentru cercetarea multifactorială a malaxoarelor cu bare;
- parametrii constructivi și tehnologici optimali obținuți, care asigură minimizarea rezistenței la înaintare și majorarea omogenității amestecului și productivității malaxorului;
- modelele matematice obținute care descriu adecvat procesul de amestecare și nomogramele ingineresti construite pe baza acestora;
- construcțiile optimale ale malaxoarelor și organelor de lucru elaborate, care asigură excluderea blocării particulelor, micșorarea diametrului barelor, rezistenței la amestecare și majorarea energiei potențiale a componentelor amestecului.

**Problema științifică soluționată** constă în elaborarea modelelor matematice și nomogramelor ingineresti, ceea ce a contribuit la optimizarea parametrilor constructivi și funcționali ai malaxoarelor, în vederea utilizării ulterioare a lor la proiectarea și exploatarea mașinilor pentru prepararea amestecurilor de construcții, cu organe de lucru în formă de bare și acțiune intermitentă.

**Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării** constă în: aplicarea metodelor de prognozare a calității amestecului preparat în diferite malaxoare cu bare și acțiune intermitentă utilizând bazele teoretice elaborate ale procesului de amestecare; utilizarea modelelor matematice multifactoriale și nomogramelor construite pe baza acestora, în procesul proiectării și exploatării malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă; implementarea construcțiilor noi ale malaxoarelor, care permit excluderea blocării particulelor, micșorarea diametrului barelor și rezistenței la amestecare, majorarea energiei potențiale ale componentelor amestecului; utilizarea regimurilor optimale de preparare a amestecurilor în malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă determinate experimental.

La susținere se prezintă:

- bazele teoretice ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune ciclică;
- metoda de cercetare multifactorială a influenței factorilor constructivi și tehnologici asupra rezistenței la înaintare, omogenității și productivității malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă;
- modelele matematice multifactoriale obținute care descriu dependența rezistenței la amestecare, omogenității amestecului și rezistenței la compresiune a betonului de parametrii constructivi și tehnologici ai malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă;
- nomogramele ingineresti construite pe baza modelelor matematice obținute.

**Aprobarea rezultatelor.** Rezultatele cercetărilor au fost discutate și publicate în tezele Conferințelor Tehnico-științifice ale UTM (Chișinău 2011, 2013, 2014, 2015); în culegerile Conferințelor Tehnico-științifice Internaționale „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, a VI-a, a VII-a și a VIII-a ediție (Chișinău 2012, 2014 și 2016); în buletinul Conferinței Internaționale „DeDuCoN – INCERCOM”, ediția a II-a, (Chișinău 2015). Au fost publicate în materialele Simpozionului științifico-practic „LECTURI AGEPI”, ediția a XV-a (Chișinău 2013); în materialele Conferinței Științifice Internaționale „Cercetare și Administrare Rutieră”, ediția a VI-a (București 2013); în revista din Registrul național al revistelor științifice „Meridian ingineresc”. Au fost discutate în cadrul Conferinței internaționale a profesorilor și elevilor Colegiului Politehnic (Chișinău 2015) și în cadrul Departamentului Drumuri, Materiale și Mașini pentru Construcții a Universității Tehnice a Moldovei.

Construcțiile malaxoarelor au fost brevetate și apreciate cu medalii și diplome la: Expoziția Internațională Specializată „INFOINVENT-2013”, Chișinău (medalie de argint și 3 diplome); Expoziția Internațională de Invenții INOVA – 2014, ediția a 39-a desfășurată la Osijek, Croația (medalie de aur și o diplomă); Expoziția Internațională „Construct-Home”, Chișinău, 2016 (2 diplome).

În baza rezultatelor cercetărilor efectuate au fost publicate 12 articole științifice, inclusiv 2 în reviste recenzate, 4 fără coautori. De asemenea au fost brevetate 5 construcții noi ale malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare și acțiune intermitentă.

**Implementarea rezultatelor cercetărilor științifice.** Malaxoarele elaborate în baza cercetărilor efectuate au fost implementate la Institutul de Genetică și Fiziologie al Academiei de Științe a Moldovei. (anul 2013), la SRL „Coltan-TTD” (anul 2013), la CP „Rezonans” (anul 2014) și la SRL „Iuran” (anul 2015).

#### **Sumarul compartimentelor tezei.**

##### **1. Particularitățile procesului de amestecare în malaxoarele cu acțiune intermitentă.**

**Determinarea sarcinii cercetărilor.** Este analizat procesul de amestecare și construcția organelor de lucru atât ale malaxoarelor tradiționale cu palete, cât și a malaxoarelor cu bare, cu

acționare intermitentă. Sunt analizate metodele de intensificare a procesului de amestecare, blocarea particulelor între organele de amestecare și suprafața interioară a tobei, sunt determinate sarcinile cercetărilor.

**2. Studiul teoretic al procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă.** Este descrisă teoria procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă elaborată de autor. Au fost efectuate cercetări teoretice ale proceselor de divizare și deviere a șuvoaielor și de migrație a particulelor. Sunt introduse noțiuni noi, așa ca „șuvoi unic” și „șuvoi complex”, au fost obținute formule pentru calcularea numărului șuvoaielor unice, complexe și migrațiilor, care se formează în procesul amestecării. Este prezentat studiul probabilistic al procesului de amestecare. A fost cercetată limita divizării amestecului în șuvoaie.

**3. Optimizarea constructivă a malaxoarelor cu bare.** Este prezentată metodică cercetării și aparatura utilizată. A fost cercetată rezistența la înaintare: a malaxorului echipat cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale, cu un grătar și cu șase grătare; a răzuitoarelor radial articulat; a barelor radiale echipate cu inel de rigidizare. De asemenea a fost cercetată rezistența la înaintare a barelor funcție de situarea lor pe arbore. Sunt prezentate nomograme care descriu adecvat procesele studiate. Au fost determinate valorile optime ale parametrilor constructivi care asigură obținerea omogenității și productivității înalte a malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă, cu un consum minim de energie.

**4. Optimizarea proceselor de amestecare în construcții.** Sunt prezentate rezultatele cercetărilor influenței factorilor procesului de amestecare asupra omogenității amestecului obținut în malaxorul gravitațional cu bare, în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale cu amestecare forțată. Au fost determinate valorile optime ale parametrilor procesului de amestecare, care asigură o omogenitate înaltă a amestecului în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă. A fost determinată rezistența la compresiune a betonului preparat în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă funcție de durata amestecării în stare uscată și împreună cu apa. Sunt elaborate nomograme inginerești pentru parametrii de optimizare și sunt date propuneri de utilizare în producție a rezultatelor obținute. A fost propusă ecuația pentru determinarea rezistenței la amestecare în malaxoarele cu bare cu amestecare forțată funcție de șapte factori constructivi și tehnologici. În baza formulei date este construită nomograma inginerească, care dă posibilitate de a determina rapid parametrii optima ai malaxorului și ai procesului de amestecare care asigură cea mai mică rezistență la amestecare.

**Concluzii generale și recomandări.** Compartimentul include sinteza rezultatelor tezei și sugestii privind cercetările de perspectivă.

# 1. PARTICULARITĂȚILE PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE CU ACȚIUNE INTERMITENTĂ. DETERMINAREA SARCINII CERCETĂRILOR

Primele malaxoare pentru prepararea amestecurilor de beton au apărut în anii 60 ai secolului XIX [10, 66], iar în prezent prepararea mecanizată a amestecurilor a pătruns în toate ramurile industriei. Mecanizarea procesului de producere a amestecurilor de construcție a permis reducerea muncii manuale, creșterea omogenității amestecului și productivității, excluderea influenței factorului uman asupra calității amestecurilor, organizarea mai eficientă a lucrărilor etc. [69].

De studierea procesului de preparare a amestecurilor și perfecționarea instalațiilor de malaxare s-au preocupat numeroși savanți, așa ca Н. А. Житкевичь [69], R. L'Hermite [84], G. Kunnos [82, 83], Ю. И. Макаров [87, 88], Ю. М. Баженов [48], A. Neville [39], Șt. Mihăilescu [36, 37], I. Ionescu [29, 30], М. В. Бунин [57], И. А. Бакин [49-51] ș. a.

Calitatea amestecului depinde de numărul de acționări ale organelor de amestecare asupra amestecului în procesul amestecării, precum și de numărul direcțiilor de deplasare ale particulelor. Când particulele se deplasează în mai multe direcții, atunci are loc intersecția traiectoriilor lor de deplasare, ceea ce conduce la omogenizarea amestecului [37, 42, 79]. În procesul amestecării trebuie să se asigure repartizarea uniformă în tot volumul amestecului a granulațiilor, lianților, adaosurilor și a apei, împiedicarea formării cocloașelor în amestec, evitarea fărâmițării agregatelor pentru a nu modifica compoziția granulometrică inițială.

Procesul mecanic de preparare a amestecurilor de mortar și de beton este foarte complex, mecanismul de decurgere a căruia depinde de componența amestecului, proprietățile fizico-mecanice ale materialelor componente, durata amestecării și construcția malaxorului [30, 36, 65]. Asupra calității amestecului de asemenea influențează semnificativ ordinea de încărcare a componentelor în malaxor [107, 112]. Nu se recomandă încărcarea mai întâi a cimentului, deoarece el se lipește de tambur și palete și nu se distribuie uniform în amestec. Componentele mai mult dispuse segregării se recomandă de încărcat în ultimul rând. Injectarea apei în malaxor după amestecarea uscată prin mai multe puncte și în cantități mici dă posibilitate de a uniformiza procesul de umezire a amestecului [36, 81].

Mai mulți cercetători de peste hotare [120-126] cercetează procesul amestecării prin modelarea după metoda elementului discret (DEM, din engleză *Discrete element method*). DEM reprezintă o familie de metode destinate calculului mișcării unui număr mare de particule, așa ca molecule, particule de nisip, pietriș, prundiș și ale altor medii granuloase. Utilizând programe de calculator pe baza metodei DEM cercetătorii analizează dinamica șuvoaielor în diferite tipuri de malaxoare.

Amestecarea include următoarele procese elementare [87, 90]: 1) deplasarea unui grup de particule megieşe dintr-o poziţie în alta prin interpătrunderea şi alunecarea straturilor de amestec (amestecare convectivă); 2) redistribuirea treptată a particulelor diferitor componente prin suprafaţa de desprindere nou formată (amestecare prin difuziune); 3) concentrarea particulelor mai grele în locurile corespunzătoare ale malaxorului sub acţiunea forţelor de gravitaţie sau de inerţie (procesul de segregare).

Amestecarea convectivă şi prin difuziune conduc la creşterea calităţii amestecului, iar procesul de segregare acţionează contrar celor două procese, datorită separării particulelor cu mase diferite ale amestecului. În procesul amestecării în malaxor au loc concomitent toate cele trei procese, dar măsura influenţei acestora asupra calităţii amestecului în diferite perioade ale procesului de preparare a amestecurilor, este diferită.

La începutul malaxării calitatea amestecului, exprimată de exemplu prin coeficientul neomogenităţii  $v_c$ , se modifică în special datorită distribuirii convective a componentelor amestecului (Fig. 1.1, sectorului I) [59, 87]. Aici amestecarea are loc la nivelul macrovolumelor. La această etapă, suprafaţa de desprindere dintre diferite tipuri de componente ale amestecului este mică şi de aceea amestecarea prin difuziune, este neînsemnată. Şi mai slab este pronunţat procesul de segregare, deoarece în interiorul macrovolumelor deplasate particulele de material rămân nemişcate una faţă de alta, iar distribuirea acestora în câmpul de forţe în corespundere cu masele lor practic nu are loc. Cea mai mare influenţă asupra vitezei procesului de amestecare la această etapă o are caracterul deplasării şuvoaielor de particule în malaxor.

După ce componentele sunt distribuite, în mare parte, prin tot volumul amestecului, influenţa amestecării convective asupra calităţii amestecului se micşorează, deoarece la această etapă procesul redistribuirii particulelor prin amestec are loc la nivelul microvolumelor (Fig. 1.1, sectorului II). Amestecarea prin difuziune devine predominantă, dar totodată începe să se intensifice influenţa procesului de segregare a particulelor. La un moment dat de timp, care depinde de construcţia malaxorului şi proprietăţile fizico-mecanice ale amestecului, segregarea şi amestecarea prin difuziune pot să se echilibreze. Din acest moment, nu este rezonabil de continuat malaxarea, deoarece calitatea

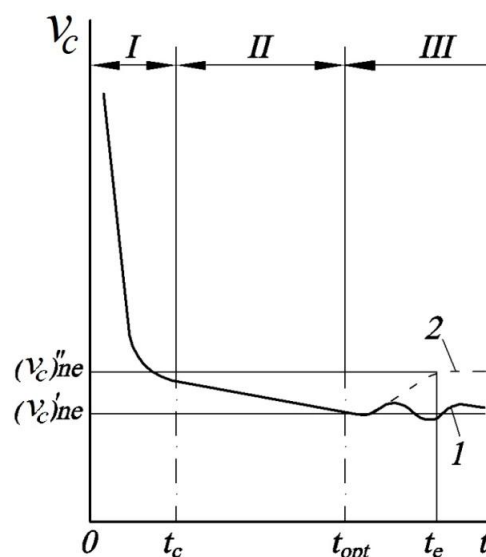


Fig. 1.1. Dependenţa coeficientului neomogenităţii amestecului  $v_c$  de durata amestecării [87].

amestecului devine constantă (sectorul III al curbei). În unele cazuri echilibrul dintre segregare și amestecarea prin difuziune apare puțin mai târziu decât momentul în care calitatea amestecului a devenit maximă [54]. Acestui caz îi corespunde curba punctată 2 din figura 1.1.

Viteza redistribuirii prin amestec a anumitor particule (în zonele II și III) depinde atât de caracterul mișcării șuvoaielor de material în malaxor, cât și de proprietățile particulelor: mărimea acestora, starea suprafeței, greutatea, greutatea specifică și forțele de adeziune [87, 90]. Din această cauză, viteza amestecării prin difuziune la diferite amestecuri este diferită.

### **1.1. Analiza procesului de amestecare și a construcției organelor de lucru ale malaxoarelor cu palete și acțiune intermitentă**

În ramura construcției, care cuprinde industria de producere a materialelor de construcție și a elementelor prefabricate, construcția clădirilor industriale, civile, edificiilor, obiectelor de infrastructură etc., se utilizează o varietate largă de malaxoare care se deosebesc prin construcția și modul de funcționare în dependență de condiții procesului tehnologic. Factorii care determină construcția malaxorului sunt: productivitatea, starea fizică a mediului de lucru, proprietățile fizico-mecanice ale materialelor componente, calitatea amestecului etc. În lucrare de față sunt analizate doar malaxoarele pentru prepararea amestecurilor de mortar și de beton.

Acestea pot fi clasificate [36, 37, 40, 52, 65, 67, 76, 79, 90, 104-106, 127] funcție de continuitatea procesului de amestecare și de metoda de amestecare a componentelor. După continuitatea procesului de amestecare malaxoarele pot fi cu acțiune intermitentă și continuă.

În malaxoarele cu acțiune continuă introducerea componentelor, amestecarea lor și descărcarea amestecului se petrec concomitent și încontinuu. Acest fapt contribuie la obținerea unei productivități înalte și a unui consum specific mic de energie. Afară de aceasta, toate elementele malaxorului și motorul lucrează într-un regim foarte favorabil, datorită acestui fapt are loc reducerea consumului de energie cu până la 40 % [111]. Conform [74, 85] datorită lucrului în regim continuu se reduce eroarea dozării și ca rezultat se micșorează dispersia indicilor fizico – mecanici ai articolelor fabricate. Procesul tehnologic de preparare a amestecurilor în malaxoarele cu acționare continuă poate fi complet automatizat. Toate aceste avantaje contribuie la reducerea prețului de cost al amestecurilor și majorarea calității acestora [77, 85].

Dezavantajele principale ale malaxoarelor cu acțiune continuă constau în dificultatea schimbării rețetei amestecului preparat, reglării timpului de amestecare și dozării cu precizie a componentelor amestecului. De aceea, acestea sunt utilizate preponderent în cazurile când sunt necesare cantități mari de amestec de beton sau de mortar de aceeași marcă [37, 65, 67, 68, 105, 109].

În malaxoarele cu acțiune intermitentă toate operațiile procesului tehnologic de producere a amestecurilor se petrec succesiv. Productivitatea acestor malaxoare este mai scăzută în comparație cu cea a malaxoarelor cu acțiune continuă, dar în același timp la ele lipsesc dificultățile ce țin de modificarea rețetei amestecului și duratei de amestecare. Malaxoarele cu acțiune intermitentă sunt mai universale și de aceea sunt utilizate mai pe larg la lucrările de construcție. Având în vedere că motorul acestor malaxoare poate funcționa neîntrerupt, la o organizare bună a procesului se obține avantajul funcționării continue, însă în regim intermitent.

După metoda de amestecare a componentelor malaxoarele pot fi cu amestecare prin cădere liberă (gravitaționale), cu amestecare forțată și cu amestecare combinată.

Malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă [36, 37, 40, 52, 65, 67, 76, 79, 90, 104-106] includ o tobă rotativă cu palete fixate pe pereții interiori (Fig. 1.2). La rotirea tobei, componentele se ridică la o înălțime oarecare datorită paletelor și acționării forțelor de frecare dintre amestec și tobă, apoi cad în jos sub acțiunea forțelor de gravitație și se produce amestecarea componentelor.

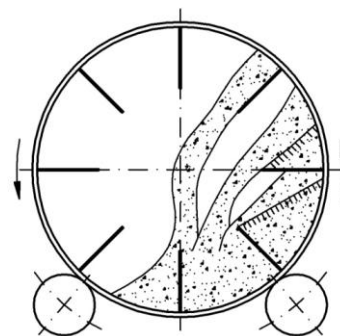


Fig. 1.2. Schema procesului de amestecare prin cădere liberă [37].

Totodată, amestecul este deplasat în direcție axială de către paletele care formează un unghi cu axa tobei și datorită sectoarelor conice ale acestora. Pentru ca componentele amestecului să poată circula mai bine în procesul rotirii tobei, volumul geometric al acestora trebuie să fie de 2,5...3 ori mai mare decât volumul amestecului [52, 108].

Malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă sunt utilizate mai des la prepararea amestecurilor de beton, pentru ce și au primit denumirea de betoniere [37, p. 387]. Ele posedă un șir de avantaje, cum ar fi: indicii P/V și M/V mai mică; consum mai mic de energie datorită rezistențelor de malaxare mai mici și lipsei blocării particulelor; construcție simplă și deci sunt mai simple în exploatare. Cu ajutorul lor se pot prepara amestecuri cu dimensiunea particulelor până la 180 mm [36, 37, 65, 67].

După forma tobei și modul de descărcare a amestecului, malaxoarele gravitaționale cu acționare intermitentă cu palete pot fi: basculante în formă de pară; nebasculante reversibile; basculante dublutronconice de mare capacitate [37];. Malaxoarele cu toba în formă de pară au capacități între 80...250 l. Acestea sunt folosite atât la construcții individuale, cât și la șantierele de construcții atunci când sunt necesare cantități mici de amestec de beton sau de mortar. Malaxoarele nebasculante reversibile se construiesc pentru capacități ale tobei între 250 și 3000

1. Acestea au montate în interiorul tamburului două tipuri de palete: obișnuite, destinate doar pentru amestecare și care sunt prezente în porțiunea de alimentare și cea centrală a tobei și elicoidale, montate la capătul de descărcare. Descărcarea amestecului are loc prin inversarea sensului de rotire a tobei, datorită cărui fapt se obține o construcție mai simplă a malaxorului în ansamblu. Majoritatea malaxoarelor reversibile sunt prevăzute cu cupă de alimentare și cu roți cu pneuri, ceea ce permite automatizarea și sporirea mobilității acestora. Malaxoarele basculante dublutronconice au capacități între 450 și 4500 l și sunt utilizate de regulă la fabricile de beton.

În continuare sunt analizată construcția paletelor unor malaxoare cu amestecare prin cădere liberă produse în prezent. Malaxorul din figura 1.3, *a* [<http://www.str-t.ru>] este echipat cu patru palete executate din tablă de oțel. Observăm că paletele sunt fără goluri și sunt destul de late. Din această cauză, la rotirea tobei este ridicată concomitent practic toată masa de amestec, ceea ce conduce la creșterea consumului de energie la ridicarea componentelor amestecului. Totodată paletele foarte late formează niște șuvoaie masive de material, amestecarea reciprocă a cărora este dificilă, mai ales din cauza că ele cad în spațiile înguste dintre paletele.

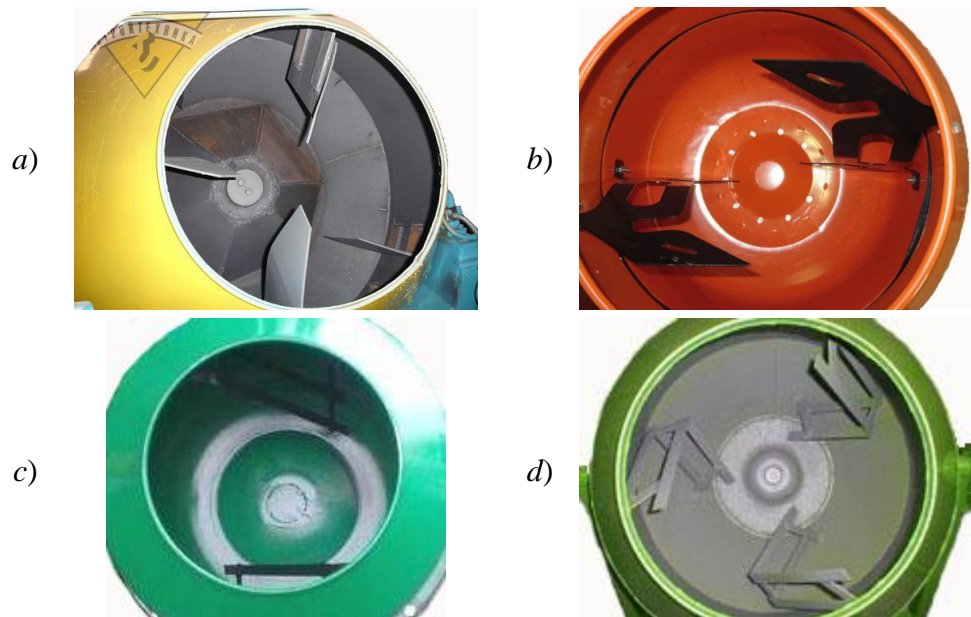


Fig.1.3. Diferite construcții ale paletelor malaxoarelor cu amestecare prin cădere liberă.

Malaxorul din figura 1.3, *b* [<http://gid-str.ru>] este echipat cu două palete, care au o formă mai complicată în comparație cu paletele malaxorului precedent. Acestea sunt executate cu goluri în interior și deci au o suprafață mult mai mică. Golurile permit trecerea unei cantități de amestec în procesul ridicării, de aceea cantitatea de material ridicat este mai mică, prin urmare este mai mic și consumul de energie la ridicarea componentelor. Totodată, materialul trecând prin golurile paletei se divizează în mai multe șuvoaie mai mici, interpătrunderea ulterioară a cărora este mai eficientă. Neajunsul acestor palete constă în imposibilitatea trecerii normale



printre goluri, în procesul amestecării, a agregatelor cu dimensiunile mai mari decât o treime din lățimea golurilor, ceea ce va contribui la segregarea intensivă a componentelor amestecului.

Malaxoarele din figura 1.3, *c* [<http://postroy-sam.com>] și 1.3, *d* [<http://рбг-гамбит.рф>] au construcția paletelor mai simplă și mai optimă, în comparație cu paletele precedente. Paleta este alcătuită din bare în formă de platbande cu distanța destul de mare dintre ele. Prin spațiile dintre platbande pot trece ușor componentele mășcate ale betonului. Totodată platbandele divizează toată masa de material din fața lor în șuvoaie, interpătrunderea ulterioară a cărora este mai eficientă. Paletele malaxorului din figura 1.3, *d* au profilul longitudinal în formă de săgeată orientată în direcția inversă direcției de rotire a tobei, ceea ce contribuie la intensificarea migrației componentelor amestecului în direcția axială a tobei. Numărul mai mare de palete în comparație cu malaxorul din figura 1.3, *c* contribuie la intensificarea procesului de amestecare.

Productivitatea de exploatare  $P_e$ , în  $m^3/h$  pentru malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă și acționare periodică se determină cu relația [37]:

$$P_e = \frac{3600qk_rk_t}{1000T}, \quad (1.1)$$

unde:  $q$  este capacitatea malaxorului,  $m^3$ ;

$k_r$  – coeficientul de reducere a betonului ( $k_r = 0,67 \dots 0,7$ );

$k_t$  – coeficientul de utilizare a malaxorului în timp;

$T$  – durata ciclului de lucru pentru prepararea unei șarje de amestec, s.

Durata ciclului  $T$  se determină cu relația:

$$T = t_i + t_m + t_d + t_r, \quad (1.2)$$

unde:  $t_i$  este durata încărcării componentelor amestecului, s;

$t_m$  – durata amestecării componentelor, s;

$t_d$  – durata descărcării amestecului, s;

$t_r$  – durata revenirii tobei la poziția inițială.

Durata malaxării variază în dependență de raportul A/C între 60 și 150 secunde.

Puterea motorului  $N_1$  în kW al malaxoarelor cu amestecare prin cădere liberă trebuie să asigure atât ridicarea materialului, cât și învingerea rezistențelor care apar la reazemele de sprijin (role sau pivot central). Conform [108] puterea necesară ridicării amestecului se determină cu relația:

$$N_1 = 2,2G_m R n \cdot 10^{-3}, \quad (1.3)$$

unde:  $G_m$  este forța de greutate a componentelor amestecului din interiorul tobei, N;

$R$  – raza interioară a tobei, m;

$n$  – turația tobei, rot/s.

Puterea necesară pentru învingerea rezistențelor în reazemele de sprijin, pentru tobele sprijinite pe role, se determină cu relația [108]:

$$N_2 = \frac{(G_m + G_t)(R_b + r)k_f \omega}{r \cos \gamma \cdot 10^3}, \quad (1.4)$$

unde:  $N_2$  este puterea necesară pentru învingerea forțelor de frecare dintre bandaj și role, kW;

$G_t$  – forța de greutate a tobei, N;

$R_b$  – raza bandajului, m;

$r$  – raza rolei de sprijin, m;

$k_f$  – coeficientului de frecare la rostogolire,  $k_f = 0,001$  m;

$\omega$  – viteza unghiulară a tobei, rad/s;

$\gamma$  – unghiul de instalare al rolelor.

Pentru malaxoarele, tobele cărora sunt sprijinite pe un pivot central, se determină puterea necesară pentru învingerea forței de frecare dintre pivot și lagăr cu relația [108]:

$$N'_2 = (G_m + G_t)\mu r_p \omega \cdot 10^{-3}, \quad (1.5)$$

unde:  $N'_2$  este puterea necesară pentru învingerea forței de frecare dintre pivot și lagăr, kW;

$r_p$  – raza pivotului tobei, m;

$\mu$  – coeficient de frecare dintre pivot și lagăr.

Astfel, puterea totală a motorului va fi:

$$N_m = (N_1 + N_2)/\eta, \quad (1.6)$$

unde:  $\eta$  este randamentul transmisiei malaxorului.

În pofida avantajelor pe care le posedă, domeniul de utilizare al malaxoarelor gravitaționale este destul de îngust din cauza imposibilității malaxării omogene a amestecurilor vârtoase, duratei mari de amestecare precum și dificultății distribuirii uniforme a pigmentilor, fibrelor și aditivilor în tot volumul amestecului [36, 37, 43, 114].

În prezent aditivii sunt utilizați pe larg în componente amestecurilor [12, 38, 47, 53, 116], deoarece aceștia permit majorarea plasticității betonului, micșorarea densității pentru betoanele ușoare, întârzierea sau accelerarea prizei ș. a. Utilizarea aditivilor dă posibilitate de a reduce consumul de lianți cu circa 15 %.

Neajunsurile malaxoarelor gravitaționale sunt înlăturate în malaxoarele cu amestecare forțată [36, 37, 43, 52, 65, 92, 106] care sunt alcătuite dintr-o cuvă, în interiorul căreia se rotesc unul sau doi arbori pe care sunt fixate rigid palete prin intermediul unor brațe. La rotirea arborilor, paletetele amestecă componentele executând o întrepătrundere bună a acestora, asigurând astfel o omogenitate înaltă a betoanelor vârtoase, cu agregate mici, mortarelor, amestecurilor asfaltice ș. a.

Totodată, rezistența la amestecare în malaxoarele de acest tip este mult mai mare, iar construcția lor este mai complicată în comparație cu cea a malaxoarelor cu amestecare prin cădere liberă. De asemenea, în malaxoarele cu amestecare forțată are loc blocarea particulelor între capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a tobei. Toate aceste neajunsuri conduc la majorarea consumului specific de energie, a uzării organelor de lucru și a cheltuielilor de exploatare [35]. De aceea puterea și masa specifică ale malaxoarelor cu amestecare forțată sunt mai mari [36, 37]. Conform sursei [108] malaxoarele cu amestecare forțată sunt utilizate pentru prepararea amestecurilor cu dimensiunea agregatelor nu mai mare de 70 mm.

Conform [78] toate construcțiile cunoscute ale malaxoarelor cu amestecare forțată pot fi împărțite în două grupe: cu tobă semicilindrică cu unul sau doi arbori orizontali (Anexa 1, *a-c*); cu cuvă cilindrică cu unul sau mai mulți arbori verticali (Anexa 1, *d-l*). Unul din dezavantajele malaxoarelor primului grup este dificultatea etanșării rulmenților arborilor cu palete.

În calitate de organe de amestecare în malaxoarele cu ax orizontal pot fi utilizate palete elicoidale (Fig. 1.4, a), palete plane dreptunghiulare sau trapezoidale amplasate uniform pe arbore sau pe linii elicoidale (Fig. 1.4, b). În malaxoarele cu paletele elicoidale, în procesul amestecării, la o semirotăție a arborelui paleta din stânga deplasează practic tot amestecul din tobă spre dreapta, iar la următoarea semirotăție, paleta din dreapta deplasează practic tot amestecul spre stânga. Astfel se asigură o migrare intensivă a componentelor în direcție axială, dar și în direcții radiale. Neajunsul acestor palete constă în aceea că la o rotație a arborelui se formează două șuvoaie masive de amestec, interpenetrarea cărora nu este eficientă. Ca rezultat crește durata amestecării

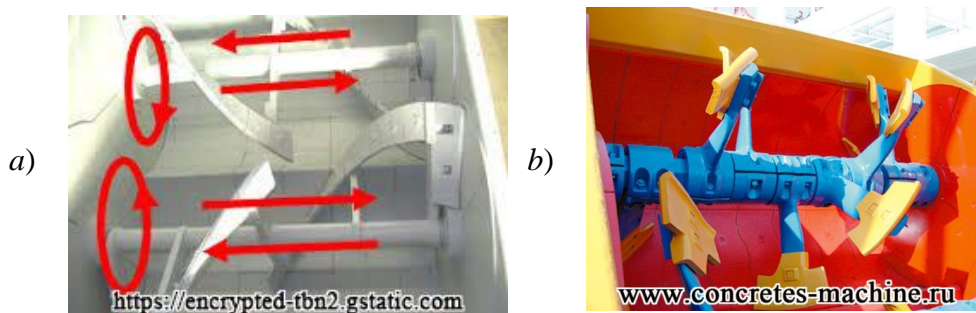


Fig. 1.4. Malaxoare cu ax orizontal cu palete elicoidale – a) și cu palete plane amplasate pe linii elicoidale – b).

De aceea în malaxorul din figura 1.6, c pe arbore sunt instalate mai multe palete plane pe linii elicoidale și înclinate față de axa malaxorului în așa mod încât să formeze o paletă elicoidală întreruptă. La fel ca și în malaxoarele cu palete elicoidale, aici are loc migrarea intensivă a componentelor amestecului în lungul tobei de la stânga la dreapta și invers, însă totodată se

formează mai multe șuvoaie de amestec interpătrunderea ulterioară a cărora este mai eficientă. Brațele paletelor de asemenea contribuie la divizarea amestecului în șuvoaie. Deci durata amestecării în aceste malaxoare este mai mică în comparație cu malaxoarele cu palete elicoidale datorită divizării amestecului într-un număr mai mare de șuvoaie.

Malaxoarele cu amestecare forțată cu un arbore orizontal se fabrică pentru capacități cuprinse între 65 și 1800 l. Amestecul preparat se descarcă prin rotirea tobei împrejurul arborelui sau printr-un orificiu cu închizător executat în unul din pereții laterali ai tobei [78]. Malaxoarele cu doi arbori orizontali se construiesc pentru capacități cuprinse între 165 și 4500 l [37, 78] și asigură o amestecare mai intensivă a componentelor în comparație cu cele cu un singur arbore. Descărcarea are loc printr-un orificiu cu închizător la fundul tobei.

La unele malaxoare, suprafețele interioare ale tobei sunt blindate cu plăci de protecție din oțel rezistent la uzură sau din polimer-cauciuc [67, 102, 113]. Căptușeala din polimer-cauciuc reduce considerabil nivelul presiunii sonore în timpul lucrului malaxorului. Paletele plane de asemenea se execută din oțel rezistent la uzură, iar paletele elicoidale sunt confecționate din oțel obișnuit, dar suprafața de lucru a acestora este căptușită cu plăci rezistente la uzură. Paletele pot fi confecționate din oțel obișnuit iar capetele acestora să fie acoperite prin sudură cu un strat de metal rezistent la uzură [105]. În [128] majorarea rezistenței la uzare a paletelor malaxoarelor planetare se realizează prin optimizarea geometriei organelor de amestecare.

În malaxoarele cu ax vertical (Anexa 1, *d-l*), în procesul amestecării componentele efectuează mișcări de rotație sub acțiunea paletelor sau a cuvei sau a ambelor concomitent. După calitatea amestecului preparat, aceste malaxoare sunt cele mai eficiente, dar totodată au raporturile M/V și P/V maxime [78]. Malaxoarele cu arbori verticali sunt mai răspândite decât cele cu arbori orizontali. Acestea au un șir de tipodimensiuni mai larg și se produc într-un număr mai mare. După construcție, malaxoarele cu ax vertical pot fi împărțite în malaxoare cu arbori amplasați excentric și concentric față de axa tobei. Cele cu arborii amplasați excentric se împart în malaxoare în echicurent cu toabă fixă (Anexa 1, *d*) și cu toabă rotitoare (Anexa 1, *e*) și în contracurent cu toabă fixă (Anexa 1, *f*) și cu toabă rotitoare (Anexa 1, *g*).

În malaxoarele în echicurent cu toabă fixă, amestecarea are loc datorită rotirii în același sens a doi arbori cu palete și a unei traverse cu răzuitoare. Răzuitoarele asigură curățirea suprafeței cilindrice a tobei de amestecul lipit. Malaxoarele în echicurent cu toabă rotitoare au toba montată liber pe un pivot, aceasta fiind rotită prin fricțiune de către amestecul acționat de un arbore rotitor cu palete.

Pot fi întâlnite și malaxoare în echicurent la care toba este antrenată de la motor iar arborele cu palete este fix [37]. Compania „Collomix” produce așa tip de malaxoare seria

POX-S (Fig. 1.5). Construcția organului de amestecare asigură atât amestecarea componentelor, cât și răzuirea suprafețelor interioare ale tobei. Acest malaxor este destinat pentru prepararea amestecurilor vârtoase și plastice. Datorită rotirii numai a tobei este mai simplă construcția malaxorului și mai mică masa lui. Toba este executată din plastic și se înlocuiește după ce se uzează. Malaxoarele în echicurent se construiesc pentru capacități cuprinse între 150 și 1000 l.

Malaxoarele în contracurent cu tobă fixă pot avea volumul tobei între 100 și 2000 l [78]. În aceste malaxoare, rotirea rapidă a arborilor cu palete împrejurul axelor proprii este combinată cu mișcarea lentă, în direcție opusă a traversei pe care sunt montate răzuitoare. La malaxoarele cu volumul mai mare de 660 l traversa și fiecare arbore cu palete sunt acționați separat de câte un motor electric.

Malaxoarele în contracurent cu tobă rotitoare se produc cu volumul tobei între 100 și 5300 l. În aceste malaxoare toba rotitoare deplasează amestecul din interior spre arborii cu palete care se rotesc în direcție inversă. Aici răzuitoarele sunt fixate pe o traversă nerotitoare. Collomix produce malaxoare de acest tip seria AOX-S (Fig. 1.6) dotat cu două organe de amestecare diferite interschimbabile. Organul de amestecare AOX-DLX (Fig. 1.6) este destinat pentru prepararea amestecurilor vârtoase, iar AOX-KR – pentru amestecuri moi. Mecanismul de acționare împreună cu organul de amestecare este montat pe o traversă rabatabilă care se coboară după ce în tobă s-au turnat componentele amestecului.

Cu scopul de a evita careva accidente de muncă, motorul malaxorului se pornește automat după ce traversa ajunge în poziția inferioară, iar când traversa este ridicată, motorul automat se oprește. Toba malaxorului servește și ca vas pentru transportarea amestecului utilizându-se un cărucior special cu ajutorul căruia ea se apucă, se transportă și se basculează în locul necesar.



Fig. 1.5. Malaxor în echicurent seria POX-S cu tobă rotitoare și organ de amestecare fix.



Fig. 1.6. Malaxor în contracurent seria AOX-S cu tobă rotitoare.

Malaxoarele cu arborii amplasați concentric față de axa tobei pot fi divizate în planetare (Anexa 1, *i* și *j*), turbomalaxoare (Anexa 1, *k*) și turboplanetare (Anexa 1, *l*). Toba malaxoarelor planetare este fixă. Ele se deosebesc prin aceea că pe arborele central vertical este montat un suport-transmisie pe care sunt montate una sau două stele cu palete și răzuitoare care curăță suprafața cilindrică a tobei. La rotirea suportului, mișcarea de rotație se transmite prin intermediul unui sistem de angrenaje de roți dințate la stelele cu palete, astfel se realizează o mișcare compusă a paletelor și o amestecare intensivă a materialelor [37]. Aceeași compania germană produce malaxoare de acest tip seria XM (Fig. 1.7) dotat cu trei tipuri de organe de amestecare diferite. Organele de amestecare se utilizează câte două în diferite combinații. Combinația organelor XM–160 cu XM–195 se utilizează la prepararea amestecurilor vâscoase, iar combinația organelor SR–160 cu XM–160 – la prepararea amestecurilor fluide.



Fig. 1.7. Malaxor planetar seria XM cu două stele cu palete.

În figura 1.8 este prezentat un malaxor planetar de producere italiană. Toba este de tip închis, ceea ce dă posibilitate de a utiliza malaxorul dat în cadrul liniilor automate ermetizate. Suprafețele de lucru ale tobei sunt căptușite cu plăci de uzură. Paletele au dimensiuni destul de mici și servesc mai mult pentru ridicarea componentelor de la fundul tobei. Cel mai mult la amestecarea componentelor contribuie suporturile paletelor. Acestea efectuând mișcări compuse, asigură divizarea materialului din fața lor în șuvoaie, îmbinarea ulterioară a lor și interpătrunderea eficientă a componentelor.

Primele turbomalaxoare au fost produse în anul 1955 și au primit o răspândire largă datorită construcției simple, domeniului larg de utilizare, productivității și calității înalte a amestecului preparat. Acestea se produc cu volumul tobei între 100 și 4400 l. La unele modele mai mari zona centrală a tobei (zona de intensitate minimă de malaxare) este eliminată din procesul de lucru fiind izolată de restul cuvei printr-un cilindru de tablă [37].

Organul de amestecare se compune din mai multe palete de amestecare (3...24 în funcție de capacitatea tobei). Paletele sunt așezate la diferite distanțe de axa rotorului, astfel încât prin rotirea acestuia, ele să măture tot fundul tobei (Fig. 1.9). Paletele sunt așezate sub anumite unghiuri față de razele lor de rotire cu scopul, pe de o parte de a exclude deplasarea circulară totală a componentelor amestecului fără amestecarea lor, iar pe de altă parte de a reduce rezistența la amestecare. Totodată modul lor de așezare asigură deplasarea radială a componentelor și omogenizarea amestecului.

Paletele au o înclinație și în plan vertical, ceea ce la fel conduce la micșorarea rezistenței la malaxare, dar și la migrația mai intensivă a particulelor amestecului în direcție axială. La înaintarea paletii, materialul din fața ei alunecă în sus, iar canalul circular format în urma paletii este împlut de materialul din vecinătate.

În figura 1.9 (în dreapta) observăm rotorul unui turbomalaxor echipat cu palete și cu două organe de amestecare confecționate din bare. În comparație cu paletele, barele au rezistență la înaintare prin amestec mai mică. Totodată barele asigură divizarea amestecului din fața lor în mai multe șuvoaie subțiri, îmbinarea ulterioară a lor și interpătrunderea eficientă a componentelor, datorită cărui fapt se reduce durata amestecării.



Fig. 1.8. Malaxor planetar cu două stele cu palete.



Fig. 1.9. Turbomalaxoare.

Malaxoarele turboplanetare se deosebesc de turbomalaxoare prin aceea că, în afară de paletele de amestecare fixate prin brațe direct de rotor, mai sunt dotate și cu una sau două stele cu palete, care se rotesc față de axa proprie. Această construcție dă posibilitate de a intensifica procesul de amestecare, dar totodată complică construcția malaxoarelor, ceea ce le face mai scumpe și mai dificile în exploatare.



Descărcarea amestecului preparat, la majoritatea malaxoarelor cu ax vertical se efectuează printr-un orificiu cu închizător la fundul tobei.

Conform datelor prezentate în sursa [37], din toate malaxoarele cu amestecare forțată și acțiune periodică cele în echicurent și turbomalaxoarele au raportul M/V minime, ceea ce se datorează construcției mai simple a lor. Malaxoarele în echicurent asigură însă o amestecare calitativă numai pentru unele rețete de betoane vârtoase, iar evacuarea amestecului din toba malaxorului durează foarte mult, ceea ce reduce substanțial productivitatea acestora. Turbomalaxoarele au putere specifică mare, din cauza că organul lor de lucru realizează viteze tangențiale mari, dar totodată acestea asigură o amestecare calitativă a amestecurilor de beton vârtoase și foarte vârtoase cu raportul A/C = 0,35...0,38 în timpi de malaxare 30...50 s.

În malaxoarele cu amestecare combinată se folosesc concomitent mai multe metode de amestecare. Acestea asigură calitate superioară a amestecurilor, dar totodată au construcții mai complicate și de aceea nu au primit o răspândire largă până în prezent [36, 37].

În malaxoarele vibratoare, pe lângă metodele de amestecare clasice, prin cădere liberă sau forțată, mai este utilizată și vibrarea. În procesul amestecării cu vibrație particulele cimentului și ale agregatelor efectuează oscilații forțate cu viteza care depinde de parametrii vibrației și masa particulelor [41, 67, 72, 78, 82]. Vibrația poate fi transmisă particulelor amestecului prin corpul malaxorului sau prin organele de amestecare. Utilizarea vibroactivării amestecurilor ciment-nisip la prepararea betoanelor și mortarelor [48, 78, 83, 86, 116] conduce la micșorarea consumului de liant nemicșorând rezistența la compresiune. A fost demonstrată experimental [98] eficiența utilizării amestecării cu vibrație la prepararea fibrobetoanelor. Utilizarea vibrației și a aerului comprimat [71] la producerea amestecurilor uscate a permis reducerea cheltuielilor de energie de două ori. Conform [38] utilizarea vibrației în procesul amestecării conduce la intensificarea procesului de hidratare a cimentului și creșterea omogenității amestecului preparat. Totodată, rezistența la rupere a betoanelor preparate cu așa metodă crește mai rapid în primele zile de întărire.

Malaxoarele vibratoare au masă și putere specifică cele mai mari, de aceea, din punct de vedere economic utilizarea acestora este convenabilă doar pentru realizarea proceselor tehnologice, care în alte tipuri de malaxoare se realizează mai greu și cu mai multe cheltuieli.

Malaxoarele turbulente [36, 67, 78, 96, 108] sunt recomandate pentru prepararea amestecurilor plastice. Organele de lucru ale acestor malaxoare au viteze de deplasare de 6 – 8 m/s, datorită cărui fapt se obțin mișcări turbulente a componentelor. Mișcările turbulente asigură o omogenitate înaltă a amestecurilor în timp foarte scurt. Malaxoarele turbulente au construcție simplă, durata mică de amestecare și deci productivitate mare, dar totodată ele au consum mare de energie și uzură sporită ale organelor de amestecare.



Puterea motorului malaxoarelor cu amestecare forțată depinde de rezistența la înaintare a paletelor prin amestec, care la rândul ei depinde de proprietățile amestecului (componența granulometrică, umiditatea etc.), dimensiunile și pozițiile de instalare ale paletelor, coeficientul de umplere a tobei și viteza paletelor.

Amestecurile de mortar și de beton reprezintă niște structuri compoziționale cu proprietăți diferite care variază în procesul malaxării. În procesul malaxării componentelor în stare uscată, amestecurile au proprietățile corpurilor necoeziv-solide, iar după adăugarea apei – proprietățile lichidelor vâscoase. Din această cauză, pentru descrierea procesului de deplasare a amestecului este imposibilă utilizarea bazelor hidrodinamicii [108]. Pentru simplificarea problemei se admite că forța de rezistență care apasă asupra paletei la înaintarea ei prin amestec este direct proporțională cu aria proiecției paletei pe planul perpendicular la direcția de deplasare [37]. În așa mod, forța care apasă asupra unei palete la deplasarea ei prin amestec va fi:

$$dP = qbdr, \quad (1.7)$$

Iar momentul total necesar pentru rotirea arborelui cu paleta va fi:

$$M = \int_{r_i}^{r_e} qbdr = qb(r_i^2 - r_e^2)/2, \quad (1.8)$$

unde:  $q$  este tensiunea efectivă necesară pentru deplasarea amestecului, Pa;

$b$  – proiecția lățimii paletei pe planul perpendicular la direcția de deplasare a paletei, m;

$r_i$  și  $r_e$  – raza marginii interioare și respectiv exterioare a paletei, m.

Pentru malaxoarele cu ax orizontal, care au palete de aceleași dimensiuni, puterea motorului  $N_m$ , în kW se determină cu relația [108]:

$$N_m = \frac{qb\omega(r_i^2 - r_e^2)z\varphi}{2\eta \cdot 10^3}, \quad (1.9)$$

unde:  $\omega$  este viteza unghiulară a arborelui, rad/s;

$z$  – numărul de palete care se află concomitent în amestec;

$\varphi$  – coeficientul de umplere a tobei malaxorului;

$\eta$  – randamentul transmisiei malaxorului.

Pentru malaxoarele cu ax vertical, la care paletele au diferite raze și unghiuri de montare, puterea motorului  $N_m$ , în kW se determină cu relația:

$$N_m = \frac{q\omega[h_1(r_{1i}^2 - r_{1e}^2) + h_2(r_{2i}^2 - r_{2e}^2) + \dots + h_n(r_{ni}^2 - r_{ne}^2)]}{2\eta \cdot 10^3}, \quad (1.10)$$

unde:  $h_1, h_2$  și  $h_n$  sunt proiecțiile înălțimilor paletelor respective, m.

La malaxoarele cu ax vertical, paletele sunt cufundate complet în amestec, de aceea aici  $\varphi = 1$ .

În sursa [52, p. 322] găsim următoarea relație de calcul a puterii motorului  $N_m$ , în kW a malaxoarelor cu amestecare forțată:

$$N_m = C \left(\frac{t}{d}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^{0,7} \cdot z \cos \alpha n d^2 \rho^{-0,33} \mu_0^{1,33} g^{0,3} \varphi, \quad (1.11)$$

unde:  $t$  este pasul axial al paletelor, m;

$d$  – diametrul paletei, m;

$b$  – lățimea paletei, m;

$z$  – numărul de palete;

$\alpha$  – unghiul de instalare al paletei față de axa arborelui, grade;

$n$  – turația arborelui malaxorului, rot/min;

$\rho$  – densitatea amestecului, kg/m<sup>3</sup>;

$\mu_0$  – viscozitatea dinamică efectivă a amestecului, N·s/m<sup>2</sup>;

$g$  – accelerația căderii libere, m/s<sup>2</sup>;

$\varphi$  – coeficientul de umplere a tobei malaxorului.

Analiza literaturii [36, 78, 114] a demonstrat că principiul de lucru al malaxoarelor exploatate în diferite țări este identic însă diferă prioritatea utilizării principiului de amestecare. Astfel, în SUA la lucrările de construcție se utilizează mai des malaxoarele gravitaționale. În Europa au obținut o răspândire largă malaxoarele cu amestecare forțată, iar în țările CSI mai mult de jumătate din malaxoarele utilizate la prepararea amestecurilor de construcții sunt gravitaționale.

Analiza construcției organelor de malaxare în formă de paletă ale malaxoarelor gravitaționale moderne a demonstrat că există tendința, cu scopul de a mări numărul de șuvoaie formate în procesul amestecării, de a executa paletele cu goluri sau de a le înlocui cu platbande. Iar în malaxoarele cu amestecare forțată există tendința de a micșora dimensiunile paletelor sau de ale înlocui cu bare plate sau rotunde. Această tendință poate fi explicată prin aceea că paleta deplasează în fața sa o masa mare de material formând niște șuvoaie masive de amestec interpătrunderea cărora este dificilă. Din această cauză crește durata amestecării și consumul de energie. Materialul care se deplasează împreună cu paleta formează nucleul ei de îndesare, analogic cu cel care se formează la organele de lucru ale mașinilor de terasamente [13, 70] în procesul tăierii solului. Cu cât acest nucleu este mai mare, cu atât este mai mare rezistența la săpare.

## 1.2. Metode de intensificare a procesului de amestecare în malaxoarele cu bare

Scopul intensificării procesului de amestecare constă sporirea eficienței malaxoarelor prin micșorarea rezistenței la amestecare și a duratei malaxării necesare pentru omogenizarea amestecului. Realizarea acestui scop va conduce la majorarea productivității malaxoarelor,

micșorarea cheltuielilor specifice de energie și obținerea unui volum de producție mai mare la o unitate de putere a motorului mașinii.

Parametrii constructivi ai malaxoarelor cu bare, care influențează asupra procesului amestecării sunt: diametrul și lungimea tobei; diametrul barei; forma secțiunii transversale a organelor de lucru; unghiul de așchiere al barelor; pasul dintre bare și modul de amplasare a lor pe arbore. Parametrii tehnologici ai procesului de amestecare sunt: coeficientul de umplere a tobei; turația arborelui cu organele de amestecare; umiditatea materialului și dimensiunile particulelor amestecului. Intensificarea procesului de amestecare poate fi realizată prin optimizarea tuturor parametrilor enumerați.

Construcția și funcționarea malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă și amestecare forțată (Fig. 1.10) care au fost elaborate și brevetate până în prezent sunt analogice cu cele ale malaxoarelor cu palete cu ax orizontal, însă primele în loc de palete sunt echipate cu bare și răzuitoare. Barele radiale 4, amplasate în șah pe arborele 2, divizează concomitent toată masa de material din toba 1 în șuvoaie, care îndată se îmbină, apoi șuvoaiele nou formate iarăși se divizează ș.a.m.d. Răzuitoarele 3 fixate la capetele arborelui 2 lângă pereții laterali ai tobei 1 schimbă direcția de migrație a particulelor în lungul malaxorului de la stânga la dreapta și invers. Răzuitoarele mai îndeplinesc și funcția de răzuire a suprafețelor de lucru ale tobei de amestecul alipit.

În malaxoarele care au montate pe barele radiale 4 bare longitudinale 5 și răzuitoare longitudinale 6 (Fig. 1.10, b) procesul de divizare – îmbinare a șuvoaielor și de migrație a particulelor are loc atât în direcții longitudinale ale tobei cât și în cele transversale.

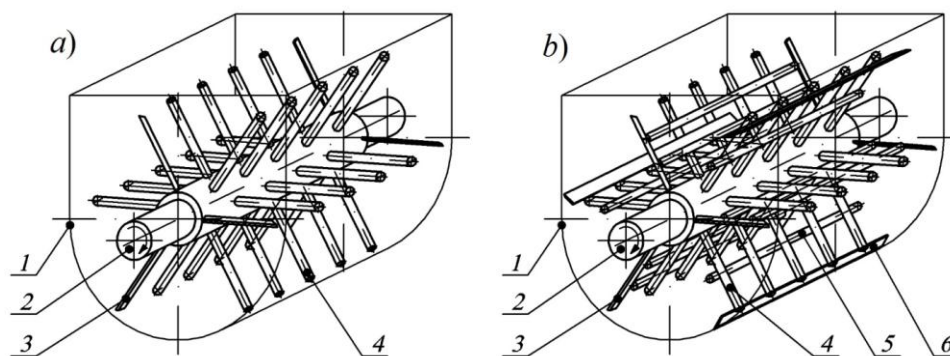


Fig.1.10. Schema malaxorului cu amestecare forțată și acțiune intermitentă cu bare și răzuitoare radiale – a), și cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale – b).

Barele sunt mult mai înguste decât paletele, de aceea pe suprafața arborelui pot fi fixate în mediu de opt ori mai multe bare decât palete. Datorită acestui fapt, în procesul amestecării barele divizează concomitent tot materialul din toba în multiple șuvoaie subțiri care ulterior se îmbină, iar interpenetrarea componentelor este mult mai eficientă decât în malaxoarele cu palete.

Paletetele îndeplinesc mai mult funcția de transportare decât de divizare a componentelor în șuvoaie. Fiind înclinate sub un unghi de  $45^\circ$  față de axa malaxorului, paletetele formează niște șuvoaie masive de material pe care le transportă dintr-o parte în alta a tobei. De aceea malaxoare cu palete au durată de amestecare și consum specific de energie mai mari decât malaxoarele cu bare.

În figura 1.11 [31] este prezentată schema procesului de amestecare care are loc în malaxoarele cu bare cu amestecare forțată și acțiune intermitentă. Observăm că la trecerea primului rând longitudinal de bare, care conține și două răzuitoare pe la capete, materialul este divizat în șuvoaie (secțiunea B-B). Șuvoaiele de material, care se formează între două bare vecine, deviază unul spre, iar în rezultat are loc îmbinarea și amestecarea reciprocă a particulelor acestor șuvoaie. Apoi, deoarece barele sunt fixate pe arbore în ordine de șah, barele rândului al II-lea trec prin centrul șuvoaielor formate anterior, fiind divizate în 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 șuvoaielor 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 efect contribuie la distribuirea uniformă a tuturor componentelor în tot volumul amestecului și la omogenizarea lui.

În procesul amestecării asupra lagărelor arborelui nu acționează forțe axiale, deoarece fiecare bară divizează șuvoiul de material în două părți egale iar componentele axiale ale forței de înaintare a barei se anihilează reciproc (Fig. 1.12).

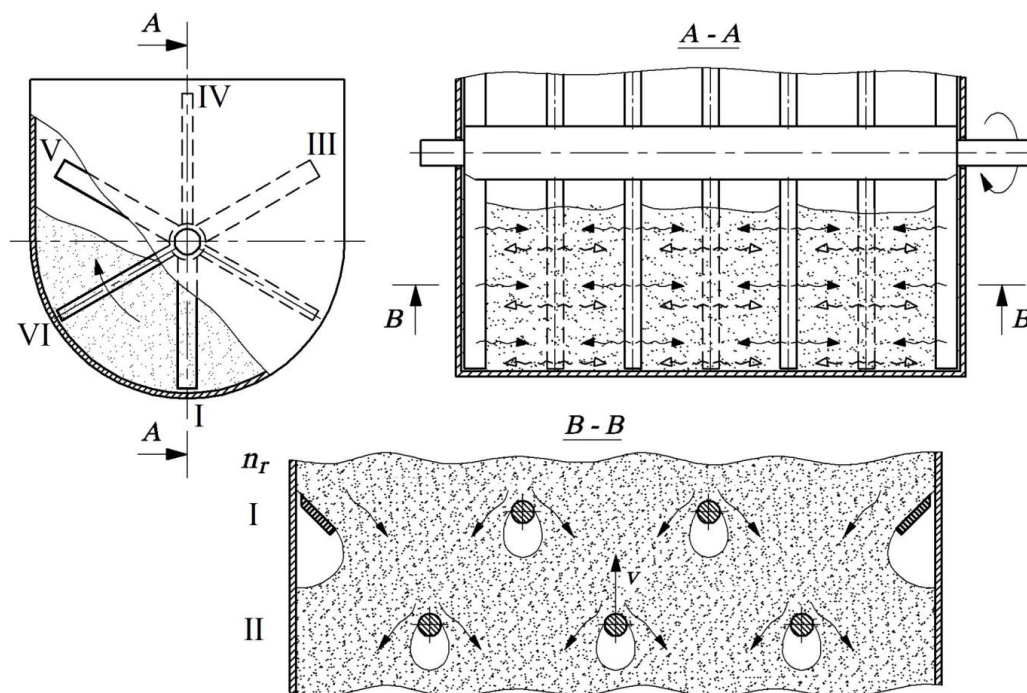


Fig. 1.11. Schema procesului divizării – îmbinării șuvoaielor și migrării particulelor în malaxorul cu bare:  $n_r$  – numărul rândului longitudinal de bare care a trecut prin material.

Cercetările efectuate de către conf. univ., dr. S. Andrievschi au demonstrat [1] că pentru micșorarea rezistenței la amestecare este oportun de utilizat malaxoare cu șase rânduri longitudinale de bare și raportul dintre diametrul și lungimea tobei  $L/D = 1 \dots 1,5$ .

V. Lungu, conf. univ., dr., a cercetat influența formei secțiunii transversale a barelor asupra rezistenței la înaintare a lor prin mediul de lucru. Cercetările au demonstrat că cele mai mici rezistențe la înaintare au barele cu secțiunea în formă de triunghi și de picătură (54,6N), la deplasarea cu ascuțișul înainte (52,86 N) [35]. În comparație cu rezistența barelor cu secțiunea rotundă (67,92 N) însă, diferența nu este semnificativă și de aceea pentru utilizare sunt adoptate bare standarde din oțel 3, cu secțiunea rotundă, care nu necesită prelucrări mecanice adăugătoare.

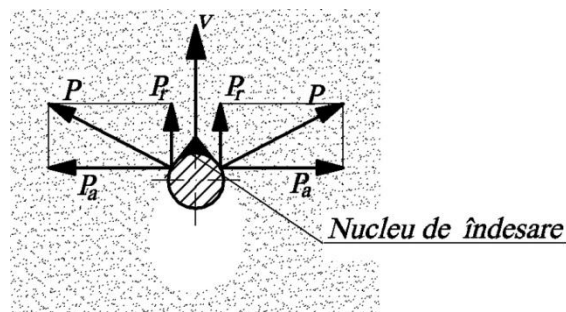


Fig.1.12. Schema acțiunii forțelor asupra barei în procesul de lucru:  $P_r$  – forța periferică;  $P_a$  – forța axială;  $v$  – viteza periferică.

La Departamentul Drumuri, Materiale Mașini pentru Construcții al Universității Tehnice a Moldovei au fost patentate o serie de malaxore cu bare [14-22] cu amestecare forțată și acțiune intermitentă, care conțin soluții constructive ce permit intensificarea procesului de amestecare.

În anul 1997 a fost brevetat primul malaxor cu bare [21] cu amestecare forțată și acțiune ciclică. Organul de amestecare al acestuia este alcătuit doar din bare radiale (Fig. 1.13, a).

Puțin mai târziu, a fost brevetat malaxorul [22] echipat cu bare curbilini și orientate cu partea concavă în direcția rotirii arborelui (Fig. 1.13, b) Bara curbilinie are unghiul de așchiere  $\delta$  mai mic de  $90^\circ$  [1, p. 68]. Ideea utilizării barelor curbilini a apărut datorită faptului că la micșorarea unghiului de așchiere al organelor de lucru ale mașinilor de terasamente are loc micșorarea rezistenței la tăiere a solului [45]. A fost demonstrat experimental că rezistența deplasării circulare prin material a barei curbilini cu  $\delta < 90^\circ$  este mai mică decât rezistența deplasării barelor drepte cu  $\delta = 90^\circ$ .

Unghiul de așchiere este constant de-a lungul barei, datorită faptului că forma profilului longitudinal al barei se obține utilizând ecuația spiralei logaritmice [61]. Cercetările efectuate de către conf. univ., dr. S. Andrievschi au demonstrat că la bara cu  $\delta = 90^\circ$ , valoarea maximă a rezistenței apare concomitent pe toată lungimea barei când ea se găsește în material la un unghi de rotire a ei egal cu  $60 - 70^\circ$  de la nivelul orizontal. Micșorarea rezistențelor la înaintare a barelor cu unghiul de așchiere  $\delta$  mai mic de  $90^\circ$  se datorează faptului că valoarea maximă a rezistenței apare consecutiv pe diferite porțiuni ale barei. Fiecare porțiune de bară are unghiul

său de rotire de la suprafața materialului până când se obține rezistența maximă. Deoarece valorile maxime ale rezistenței la diferite porțiuni ale barei apar în timpi diferiți ele nu se sumează. Prin urmare valoarea maximă totală a barei este mai mică decât la bara cu  $\delta = 90^\circ$ .

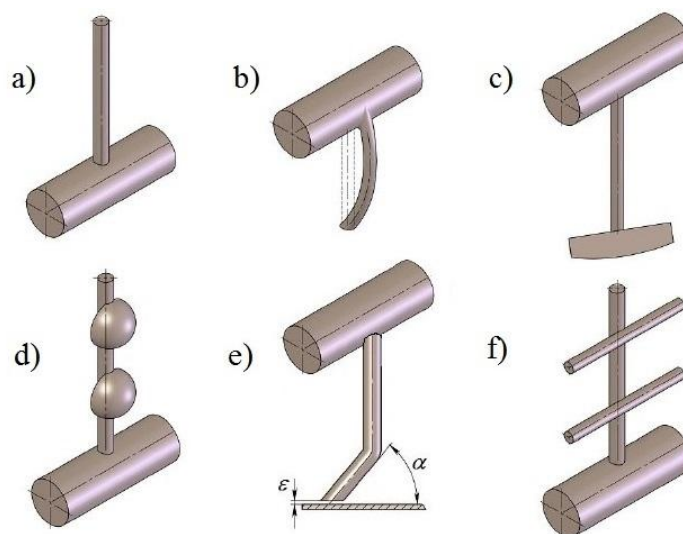


Fig. 1.13. Diferite organe de lucru în formă de bară fixate pe arbore [35].

Următoarea construcție brevetată a fost a malaxorului [14] care exclude alipirea componentelor în procesul malaxării de pereții interiori ai tobei și facilitează descărcarea amestecului. Organul de lucru al acestui malaxor este alcătuit din bare radiale drepte, răzuitoare radiale amplasate la capetele arborelui destinate pentru răzuirea pereților laterali ai tobei și răzuitoare amplasate la capetele barelor radiale (Fig. 1.13, c) destinate pentru răzuirea suprafeței cilindrice a tobei. Răzuitoarele la capetele barelor sunt amplasate în așa mod și în așa număr ca să fie curățită toată suprafața cilindrică a tobei.

Mai târziu a fost brevetat malaxorul cu amestecare forțată și cu vibrare [15]. Toba malaxorului dat este pusă în stare oscilantă cu ajutorul unui excitator de vibrații, arborele căruia se rotește în direcția acelor de ceasornic. Sub acțiunea oscilațiilor, toba împreună cu particulele amestecului efectuează oscilații forțate, iar masa de material se rotește în direcție opusă direcției de rotire a arborelui excitatorului de vibrații. Totodată, arborele cu organele de amestecare se rotește tot în direcția acelor de ceasornic. Un avantaj al acestui malaxor constă în majorarea mobilității amestecului datorită micșorării densității lui în procesul amestecării, ceea ce contribuie la micșorarea rezistenței la amestecare. Un alt avantaj constă în lipsa blocării particulelor datorită faptului că distanța dintre capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a tobei este mai mare decât dimensiunile celor mai mari particule.

În anul 2004 a fost brevetat malaxorul [16] pentru activarea substanței spumante, care se folosește la producerea betonului celular. Malaxorul dat este alcătuit din șase rânduri

longitudinale de bare radiale amplasate în ordine de șah pe suprafața arborelui, iar la capătul fiecărei bare sunt fixate palete (Fig. 1.14). Paletetele, intrând în soluția de substanță spumantă, atrag în urma sa aerul și soluția provocând vârtejuri, ceea ce contribuie la dispersarea aerului în soluția de substanță spumantă. Totodată, datorită proceselor de divizare în șuvoaie, îmbinării lor ulterioare și migrației componentelor amestecului spuma preparată este bine omogenizată, ceea ce contribuie la fixarea mai bună a ei.

Un alt malaxor cu bare brevetat [17] asigură majorarea zonei de acțiune a amestecului de către organele de amestecare. Acest lucru este posibil datorită fixării pe barele radiale, în sensul deplasării și în șah, a unor emisfere și pătrimi de sferă (Fig. 1.16, d). Emisferele au un diametru mai mare decât diametrul barelor radiale și sunt fixate pe acestea cu partea plană, iar pasul lor trebuie să fie mai mare decât diametrul propriu. Pătrimile de sferă sunt fixate pe capetele acelor bare, la care distanța de la emisfera extremă până la capătul barei este egală cu pasul radial al emisferelor. Acest malaxor asigură divizarea amestecului în șuvoaie și migrația componentelor atât în planuri longitudinale ale tobei cât și în cele transversale

Următorul malaxor brevetat [18] dă posibilitate de a majora zonele de curățire a suprafețelor de lucru ale tobei. Organul de lucru al acestui malaxor este echipat cu răzuitoare radiale, bare radiale drepte și bare radiale îndoite la capete (Fig. 1.13, e). În fiecare rând transversal de bare, câte două bare au capetele îndoite în plan axial, în direcții opuse, astfel ca capetele îndoite ale barelor să curețe toată suprafața cilindrică a tobei. Unghiul  $\alpha$  de îndoire a barei față de axa malaxorului este aproximativ  $45^\circ$ . Suprafața frontală a capătului barei îndoite este perpendiculară pe axa barei, iar luful dintre capătul barei și suprafața tobei este 3-4 mm.

Mai târziu a fost brevetat un malaxor [19], care la fel ca malaxorul [17] asigură majorarea zonei de acțiune a amestecului, dar cu o construcție mai simplă a organelor de amestecare. Organul de lucru al acestui malaxor este alcătuit din răzuitoare radiale fixate la capetele arborelui, șase rânduri longitudinale de bare radiale pe care sunt fixate, în sensul rotirii și în ordine de șah, bare și răzuitoare longitudinale (Fig. 1.13, f). Diametrul barelor longitudinale este egal cu diametrul celor radiale. Răzuitoarele longitudinale sunt fixate pe capetele acelor bare

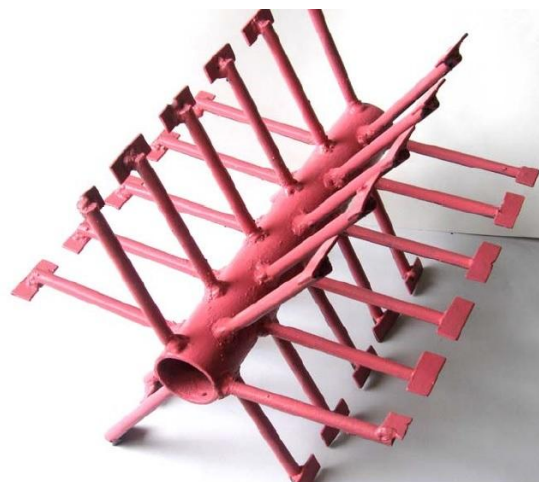


Fig. 1.14. Organul de lucru al malaxorului pentru activarea spumei [1].



radiale la care distanța de la bara longitudinală extremă până la capătul barei radiale este egală cu pasul radial al barelor longitudinale.

În anul 2009 a fost brevetat malaxorul cu doi arbori orizontali, pe care sunt amplasate în ordine de șah bare și răzuitoare radiale [20]. Procesul de amestecare în malaxorul cu bare cu doi arbori orizontali este analogic cu cel al malaxoarelor cu bare cu un singur arbore orizontal. Avantajele acestui malaxor sunt: majorarea mobilității amestecului datorită intersecției zonelor de acționare a barelor arborelui din stânga cu zonele de acționare a barele arborelui din dreapta; are loc distrugerea mai eficientă a glomerulelor în zona de intersecție a zonelor de acțiune a barelor celor doi arbori. Dezavantajul acestui malaxor constă în lipsa răzuitoarelor pentru răzuirea suprafețelor cilindrice ale tobei.

### **1.3. Blocarea particulelor amestecului între organele de amestecare și pereții interiori ai tobei**

În malaxoarele cu amestecare forțată, în procesul funcționării, între capetele organelor de amestecare și suprafețele de lucru ale tobei periodic nimeresc particule de agregat în formă de pană. Ca rezultat apar forțe de rezistență suplimentare și anume, forțe de frecare dintre particule și tobă. Acest proces se numește blocare și conduce la creșterea consumului de energie în procesul malaxării. Frecvența apariției blocării depinde de dimensiunea particulelor amestecului și de mărimea luftului dintre capătul organului de amestecare și suprafața tobei malaxorului. În procesul exploatării, din cauza uzării organelor de amestecare luftul se mărește și totodată crește intensitatea blocării.

În malaxoarele cu palete asupra procesului blocării influențează și unghiul de înclinare a paletelor față de axa malaxorului. Conform [91], probabilitatea minimă de blocare a particulelor amestecului între capătul paletei și toba malaxorului este atunci când paletele sunt instalate față de axa tobei sub un unghi de 45°.

Din cauza blocării pot fi deteriorate organele de amestecare sau stopat arborele malaxorului. Pentru a evita aceste consecințe, piesele malaxorului se confecționează cu așa rezistență ca particulele care se blochează să fie strivite fără deteriorarea organelor de amestecare sau a elementelor transmisiei. Pentru ca particulele de agregat să fie strivite, malaxoarele sunt echipate cu motoare cu puterea mult mai mare decât cea necesară pentru învingerea rezistențelor la amestecare. Totodată, strivirea particulelor de agregate conduce la schimbarea compoziției granulometrice a amestecului, ceea ce nu poate fi admis în unele condiții tehnologice.



În malaxoarele cu ax vertical problema blocării este înlăturată prin echiparea brațelor paletelor (Fig. 1.15) cu amortizoare (arcuri, bare de torsiune), care permit ridicarea organului de amestecare și trecerea lui peste particula blocată [37, 75]. Această soluție poate fi utilizată anume la malaxoarele cu ax vertical deoarece amortizoarele pot fi amplasate în afara tobei, ceea ce conduce la excluderea îmbâcsirii lor cu beton și ieșirea din funcție. Echiparea brațelor paletelor cu amortizoare asigură excluderea modificării compoziției granulometrice a amestecului, reducerea cheltuielilor de energie la amestecare și a uzării suprafețelor de lucru ale tobei și a paletelor.



Fig. 1.15. Turbomalaxor produs în Germania.

Cercetarea procesului blocării în malaxoarele cu bare [1] a demonstrat că la rotirea arborelui cu organe de amestecare, blocarea particulelor poate apărea în următoarele locuri (Fig. 1.16):

- a) între bare și peretele lateral al tobei;
- b) între capetele barelor și suprafața cilindrică a tobei;
- c) între trei bare megieșe;
- d) între particulele blocate între bare și suprafața cilindrică a tobei;
- e) între materialul blocat între bare și peretele lateral;

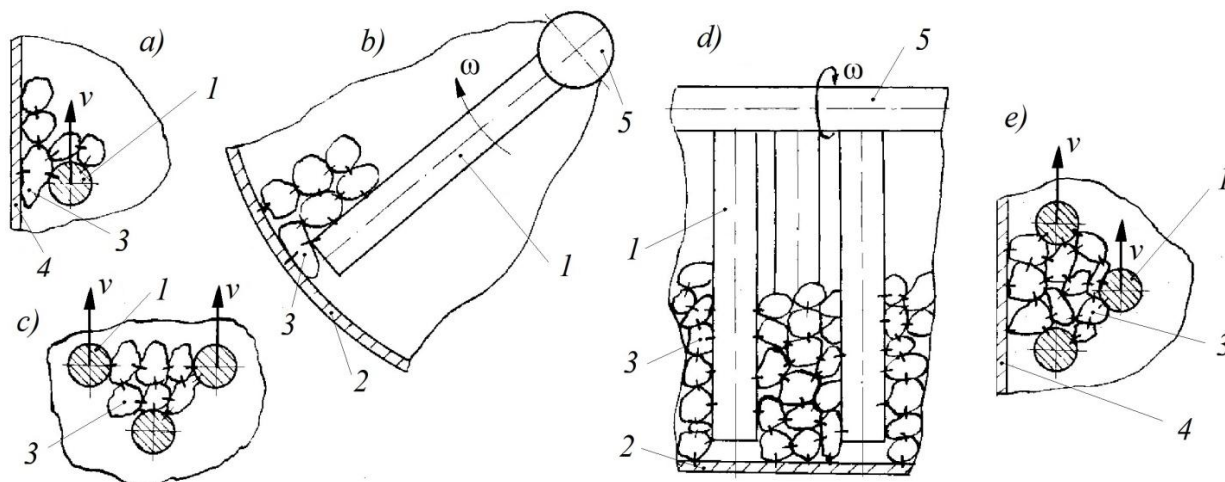


Fig. 1.16. Scheme de blocare a particulelor și barelor în procesul amestecării: 1 – organ de lucru; 2 – tobă; 3 – particulă; 4 – perete lateral; 5 – arbore [1].

Blocarea de tipul *a* apare în cazul când luftul dintre bară și suprafața interioară a peretelui lateral este mai mic decât dimensiunea particulelor. În malaxoarele echipate cu răzuitoare radiale forța de rezistență care apare din cauza blocării de tipul *a* este nesemnificativă când luftul dintre răzuitoare și peretele lateral al tobei este mai mic 1,5 mm. Mărimea acestui luft depinde nu doar de precizia instalării răzuitoarelor, dar și de perpendicularitatea pereților laterali față de axa tobei.

Blocarea de tipul *b* apare atunci când luftul dintre capătul barei și suprafața cilindrică a tobei este mai mic decât dimensiunea particulelor. În malaxoarele echipate cu răzuitoare longitudinale la capetele barelor radiale forța de rezistență care apare din cauza blocării de tipul *b*, la fel ca în cazul răzuitoarelor radiale, este nesemnificativă când luftul dintre răzuitoare și suprafața cilindrică a tobei este mai mic 1,5 mm. Pe lângă precizia montării răzuitoarelor longitudinale, luftul dintre acestea și suprafața cilindrică a tobei mai depinde și de coaxialitatea dintre arbore și toba malaxorului.

Blocarea de tipul *c* depinde de distanța dintre rândurile transversale de bare și de distanța dintre rândurile longitudinale. Pentru a exclude acest tip de blocare trebuie ca pasul longitudinal și radial al barelor să fie de trei ori mai mare decât dimensiunea celei mai mari particule.

Blocarea de tipul *d* apare în cazul când are loc concomitent blocarea de tipul *b* și *c*. Dacă forțele de frecare dintre material și suprafața cilindrică a tobei sunt mai mari decât forța de acționare, atunci are loc strivirea particulelor blocate, dacă forțele de frecare sunt mai mici, atunci toată masa de material se deplasează împreună cu barele fără ca să aibă loc amestecarea.

În procesul blocării de tipul *e* particulele sunt stopate între bare și peretele lateral. Acest tip de blocare este asemănător cu blocarea de tipul *d*.

De asemenea, în procesul cercetării [1] a fost evidențiat fenomenul blocării totale care constă în deplasarea întregii mase de material împreună cu organele de amestecare. Blocarea totală este cauzată de apariția concomitentă a mai multor tipuri de blocări descrise mai sus. Ea depinde de dimensiunea zonelor de acționare ale barelor, care rândul ei depinde de coeficientul de frecare al particulelor. Cu cât coeficientul de frecare al particulelor este mai mare, cu atât crește zona de acțiune a barelor asupra amestecului și totodată probabilitatea apariției blocării totale.

#### **1.4. Concluzii la capitolul 1 și stabilirea sarcinii cercetărilor**

Analiza materialelor științifice în domeniu ilustrează că:

1.4.1. Procesul de amestecare este unul complex și divers, iar cerințele impuse față de malaxoare sunt foarte înalte, deoarece ele trebuie să asigure amestecarea agregatelor, cimentului, apei și eventual a adaosurilor în așa mod ca să se obțină un amestec omogen.

- 1.4.2. În malaxoarele cu acționare intermitentă operațiile de introducere a componentelor, amestecarea lor și descărcarea amestecului preparat se petrec succesiv în mod ciclic. Ele au o productivitate mai scăzută în comparație cu malaxoarele cu acționare continuă, dar sunt mai universale deoarece permit modificarea rețetei amestecului și a duratei de amestecare pentru orice șarjă de amestec.
- 1.4.3. Malaxoarele gravitaționale au putere și masă specifică mai mici, consum mai mic de energie și construcție mai simplă. La aceste malaxoare lipsește blocarea particulelor. În același timp, malaxoarele gravitaționale nu pot fi folosite la prepararea amestecurilor vârtoase din cauza duratei mari de amestecare, dificultății distribuirii uniforme a pigmentilor, fibrelor și aditivilor în tot volumul amestecului.
- 1.4.4. Malaxoarele cu amestecare forțată în comparație cu malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă, asigură o omogenizare bună a amestecurilor vârtoase, cu agregate mici, mortarelor, amestecurilor asfaltice etc. și distribuirea uniformă a adaosurilor. Acestea însă au rezistențe la amestecare, putere și masă specifică, uzura organelor de lucru și cheltuieli în exploatare mai mari. Rezistențele mari la amestecare se datorează lopătării materialelor de către palete și blocării agregatelor între capetele paletelor și corpul tobei.
- 1.4.5. În malaxoarele cu ax vertical are loc o amestecare mai intensivă a componentelor și în timpi mai scurți în comparație cu malaxoarele cu ax orizontal. Este exclusă pătrunderea pastei de ciment în rulmenții arborelui cu palete și este posibilă excluderea blocării particulelor prin echiparea brațelor paletelor cu amortizoare. Dar totodată, malaxoarele cu ax vertical au masă și putere specifică maxime, construcție mai complicată și sunt mai scumpe în exploatare.
- 1.4.6. Analiza construcției organelor de malaxare în formă de palete ale malaxoarelor moderne a demonstrat că există tendința de a micșora dimensiunile paletelor sau de a le executa cu goluri, iar în unele cazuri acestea sunt înlocuite cu bare plane sau rotunde. Aceasta se datorează faptului că paleta formează în fața sa un nucleu de îndesare mare, din care cauză crește rezistența la amestecare. Totodată, paleta formează niște șuvoaie masive de amestec interpătrunderea cărora este dificilă, datorită cărui fapt crește considerabil durata amestecării necesară pentru obținerea unui amestec omogen.
- 1.4.7. Malaxoarele cu bare se bazează pe un principiu nou de amestecare care se obține datorită amplasării barelor într-un mod optim pe suprafața arborelui malaxorului. În procesul rotirii arborelui, toate barele care se găsesc în material asigură divizarea întregii mase de amestec în șuvoaie care apoi se îmbină în viteză și repetarea acestor procese la trecerea fiecărui rând de bare. Datorită divizării materialului în șuvoaie și devierii acestora, are loc migrația particulelor în diferite direcții atât în lungul tobei cât și în planuri transversale

1.4.8. Blocarea particulelor de material în procesul malaxării conduce la sporirea uzării organelor de amestecare, creșterea consumului de energie, schimbarea compoziției granulometrice a amestecului și creșterea consumului de metal necesar pentru confecționarea malaxoarelor. Procesul blocării particulelor în malaxoarele cu ax orizontal, atât cele cu palete cât și cele cu bare, reprezintă a problemă actuală.

Scopul lucrării constă în optimizarea parametrilor funcționali și constructivi ai malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă, care asigură o omogenitate înaltă a amestecurilor și productivitate înaltă cu un consum minim de energie.

Obiectivele:

1. Elaborarea și extinderea bazelor teoretice ale procesului de amestecare în malaxoare cu bare și acțiune intermitentă;
2. Obținerea modelelor matematice care descriu adecvat procesul de amestecare în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă, utilizând teoria modernă de planificare a experimentului;
3. Determinarea parametrilor constructivi optimali ai malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă, care asigură micșorarea rezistenței la amestecare;
4. Determinarea parametrilor tehnologici optimali ai procesului de amestecare, care asigură majorarea productivității și calității amestecului obținut în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă cu cheltuieli specifice minime de energie;
5. Elaborarea și cercetarea malaxoarelor noi și a organelor de amestecare optimale din punct de vedere constructiv;
6. Aplicarea rezultatelor obținute în practica proiectării, confecționării și exploatării malaxoarelor cu bare și acționare intermitentă.

## 2. STUDIUL TEORETIC AL PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE CU BARE ȘI ACȚIUNE INTERMITENTĂ

### 2.1. Procesul de divizare și îmbinare a șuvoaielor

Pentru cercetarea teoretică a procesului de amestecare admitem că dimensiunile particulelor și densitatea lor sunt egale la fiecare component, toate barele sunt rotunde ideal și confecționate din același material, divizarea șuvoaielor de particule se produce în mod grafic în proporția care este prescrisă, șuvoaiile se intersectează sub un unghi constant.

Structura șuvoaielor formate în procesul amestecării în malaxoarele cu bare este diferită în timp. La început se formează șuvoaie cu o structură simplă, iar la continuarea procesului crește atât numărul șuvoaielor formate cât și complexitatea structurii lor. Având în vedere varietatea fenomenelor care au loc în procesul amestecării în malaxoarele cu bare este necesară analiza amănunțită a tuturor laturilor acestuia.

Fiecare șuvoi format are o structură unică care nu se întâlnește la alte șuvoaie, iar după ce se formează, acestea există până la următoarea divizare, îmbinare sau deviere de la răzuitor, adică o durată infimă de timp. Fiecare divizare, îmbinare sau schimbare de direcție a șuvoaielor conduce la apariția unor șuvoaie noi, care la rândul lor iarăși se divizează sau își schimbă direcția formându-se alte șuvoaie etc.

Pentru descrierea procesului de divizare-îmbinare cantitativă este introdusă noțiunea „Șuvoi complex”, iar pentru descrierea procesului de divizare-îmbinare calitativă – noțiunea „Șuvoi unic” [33]. Un șuvoi complex format în procesul amestecării reprezintă totalitatea șuvoaielor unice formate după o divizare, în stânga sau în dreapta barei, sau după o deviere de la răzuitor. 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.

În figura 2.1 sunt prezentate schemele procesului de formare a șuvoaielor complexe în planuri longitudinale după trecerea prin material a șase rânduri longitudinale de bare (echivalent cu o rotație a arborelui) în malaxoarele care se deosebesc prin numărul minimal și maximal de bare radiale în rândurile longitudinale. Pe desen sunt prezentate suprafețele desfășurate ale arborilor cu locurile de fixare a barelor și răzuitoarelor. Liniile verticale reprezintă pereții laterali ai tobei, iar săgețile reprezintă șuvoaiile complexe (o săgeată reprezintă un șuvoi).

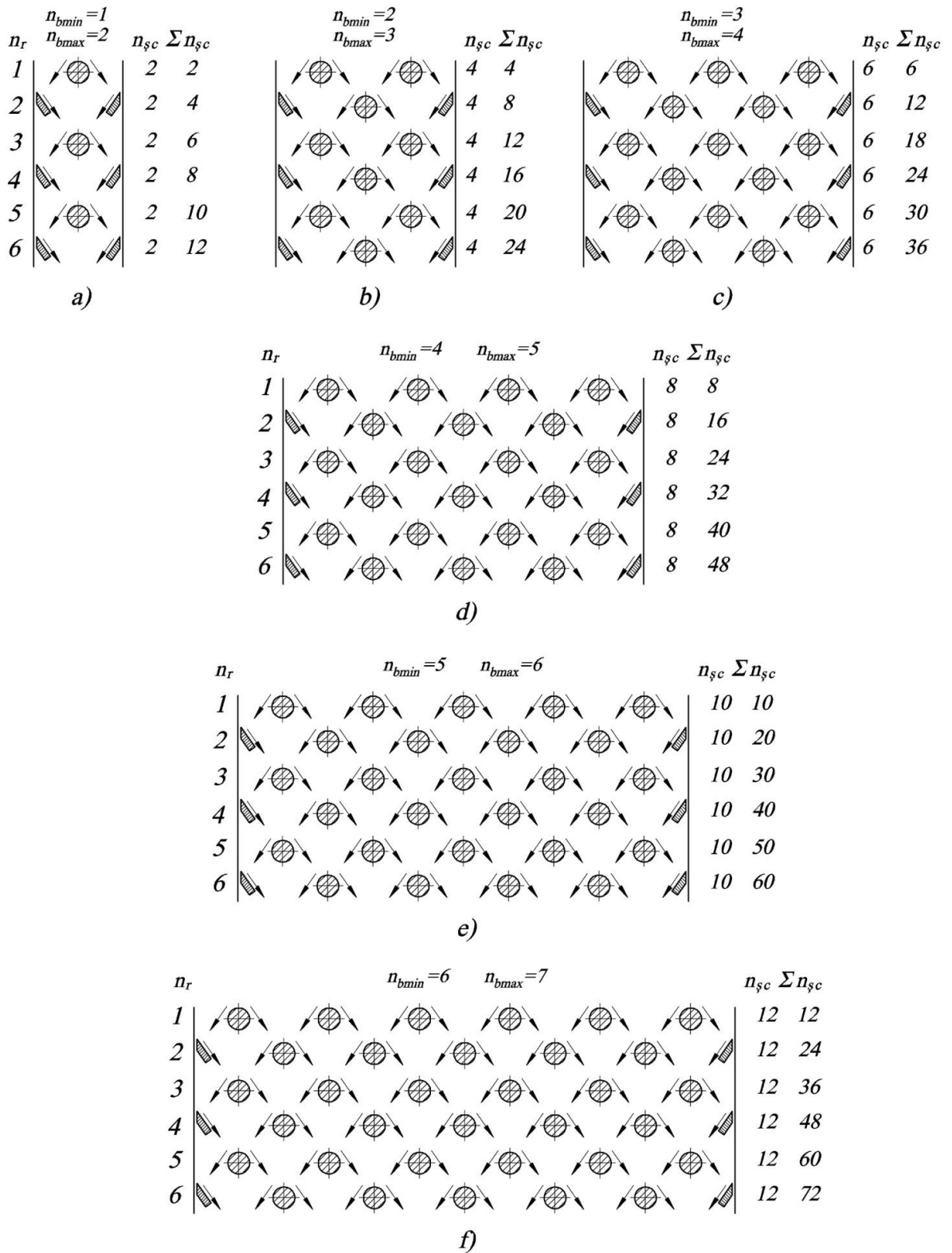


Fig. 2.1. Schema procesului de formare a șuvoaielor complexe în planuri longitudinale:  $n_{bmin}$  și  $n_{bmax}$  – numărul minimal și respectiv maximal de bare în rândurile longitudinale (un răzuitor este echivalent cu o bară);  $n_r$  – numărul rândului longitudinal de bare;  $n_{sc}$  – numărul șuvoaielor complexe care se formează după fiecare rând de bare;  $\Sigma n_{sc}$  – numărul șuvoaielor complexe cumulate în procesul amestecării

Răzuitoarele radiale asigură devierea (schimbarea direcției de deplasare) șuvoaielor de material, ceea ce contribuie la migrația particulelor de la peretele lateral de stânga spre cel de dreapta și invers. Totodată, răzuitoarele asigură răzuirea amestecului alipit de pe pereții laterali ai tobei.

Observăm în figura 2.1, *a-f* că numărul șuvoaielor complexe  $n_{\text{șc}}$  care se formează după fiecare rând longitudinal de bare aparte este de două ori mai mare decât numărul minimal de bare în rândurile longitudinale. Deci, pentru determinarea lui  $n_{\text{șc}}$  putem scrie relația:

$$n_{\text{șc}} = 2n_{\text{bmin}}, \quad (2.1)$$

unde:  $n_{\text{bmin}}$  este numărul minimal de bare în rândurile longitudinale.

Tot în figura 2.1, *a-f* observăm că șirul de numere ale șuvoaielor complexe cumulate în procesul amestecării  $\sum n_{\text{șc}}$  la fiecare malaxor reprezintă o progresie aritmetică cu rația  $r$  egală cu  $2n_{\text{bmin}}$ . De exemplu în cel mai simplu malaxor, care are câte o bară în rândurile longitudinale impare  $n_{\text{bmin}} = 1$  (Fig. 2.1, *a*) și câte două răzuitoare în rândurile pare  $n_{\text{bmax}} = 2$  (se admite că un răzuitor este echivalent cu o bară), în procesul amestecării se formează șirul 2, 4, 6, 8, 10, ... al numerelor șuvoaielor cumulate cu rația  $r$  egală cu doi și valoarea primului membru  $a_1$  egală tot cu doi.

Deci, pentru calcularea numărului șuvoaielor cumulate în procesul amestecării  $\sum n_{\text{șc}}$  după trecerea prin amestec a  $n_r$  rânduri longitudinale de bare poate fi folosită relația pentru determinarea membrilor progresiei aritmetice:

$$a_n = a_1 + d(n_r - 1) = \sum n_{\text{șc}}, \quad (2.2)$$

unde:  $a_1$  este primul membru al progresiei aritmetice,  $a_1 = 2n_{\text{bmin}}$ ;

$d$  – rația progresiei aritmetice,  $r = 2n_{\text{bmin}}$ ;

$n_r$  – numărul de ordine al progresiei egal cu numărul de rânduri longitudinale de bare care au trecut prin material.

Înlocuim  $a_1$  și  $d$  în relația (2.2) cu  $2n_{\text{bmin}}$  și obținem:

$$\sum n_{\text{șc}} = 2n_{\text{bmin}}n_r. \quad (2.3)$$

În malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale (Anexa 2) procesul formării șuvoaielor complexe are loc atât în planuri longitudinale cât și în planuri transversale. În planurile transversale particulele se deplasează de la suprafața cilindrică a tobei spre arbore datorită devierii lor de către răzuitoarele longitudinale, iar de la arbore spre suprafața cilindrică a tobei – datorită devierii particulelor de către arbore.

Procesul formării șuvoaielor complexe în planuri transversale este asemănător cu cel din planurile longitudinale. Numărul total de șuvoaie formate în procesul amestecării în malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale constituie suma șuvoaielor formate în ambele planuri.

Numărul total de șuvoaie complexe formate în diferite malaxoare cu bare după trecerea a 18 rânduri longitudinale și radiale de bare este prezentat în tabelul 2.1. Observăm că dacă numărul minimal de bare longitudinale în rândurile radiale coincide cu numărul minimal de bare radiale în rândurile longitudinale, numărul de șuvoaie complexe este de două ori mai mare decât în malaxorul fără bare longitudinale.

Tabelul 2.1. Numărul total de șuvoaie complexe care se formează în procesul amestecării în diferite malaxoare cu bare după trecerea a 18 rânduri longitudinale și radiale de bare

Numărul minimal de bare		în rândurile longitudinale						
		$n_{bmin} = 1$	$n_{bmin} = 2$	$n_{bmin} = 3$	$n_{bmin} = 4$	$n_{bmin} = 5$	$n_{bmin} = 6$	$n_{bmin} = 7$
în rândurile radiale	$n_{bmin} = 1$	72	108	144	180	216	252	288
	$n_{bmin} = 2$	108	144	180	216	252	288	324
	$n_{bmin} = 3$	144	180	216	252	288	324	360
	$n_{bmin} = 4$	180	216	252	288	324	360	396
	$n_{bmin} = 5$	216	252	288	324	360	396	432
	$n_{bmin} = 6$	252	288	324	360	396	432	468
	$n_{bmin} = 7$	288	324	360	396	432	468	504

În figura 2.2 este prezentată schema procesului de formare a șuvoaielor unice în planuri longitudinale în malaxoare cu diferit număr minimal de bare în rândurile longitudinale. În desen sunt indicate numerele șuvoaielor unice  $n_{\text{șu}}$  și șuvoaielor unice cumulate  $\sum n_{\text{șu}}$  care se formează în procesul amestecării după trecerea fiecărui rând longitudinal de bare prin material. Prin săgeți sunt reprezentate șuvoaiile complexe, iar lângă fiecare săgeată este indicat numărul șuvoaielor unice care se conțin în șuvoiul complex respectiv.

Observăm că la toate malaxoarele, după primul rând de bare, șuvoaiile complexe formate conțin câte un singur șuvoi unic. De aceea, ca și numărul șuvoaielor complexe, numărul șuvoaielor unice după primul rând de bare este egal cu  $2n_{bmin}$ . La continuarea procesului de amestecare însă, numărul șuvoaielor unice din componența fiecărui șuvoi complex se dublează după trecerea fiecărui rând longitudinal de bare. Aceasta se întâmplă deoarece, după fiecare



divizare de către bară sau deviere de la răzuitor, din fiecare șuvoi unic existent se obțin alte două șuvoaie unice noi.

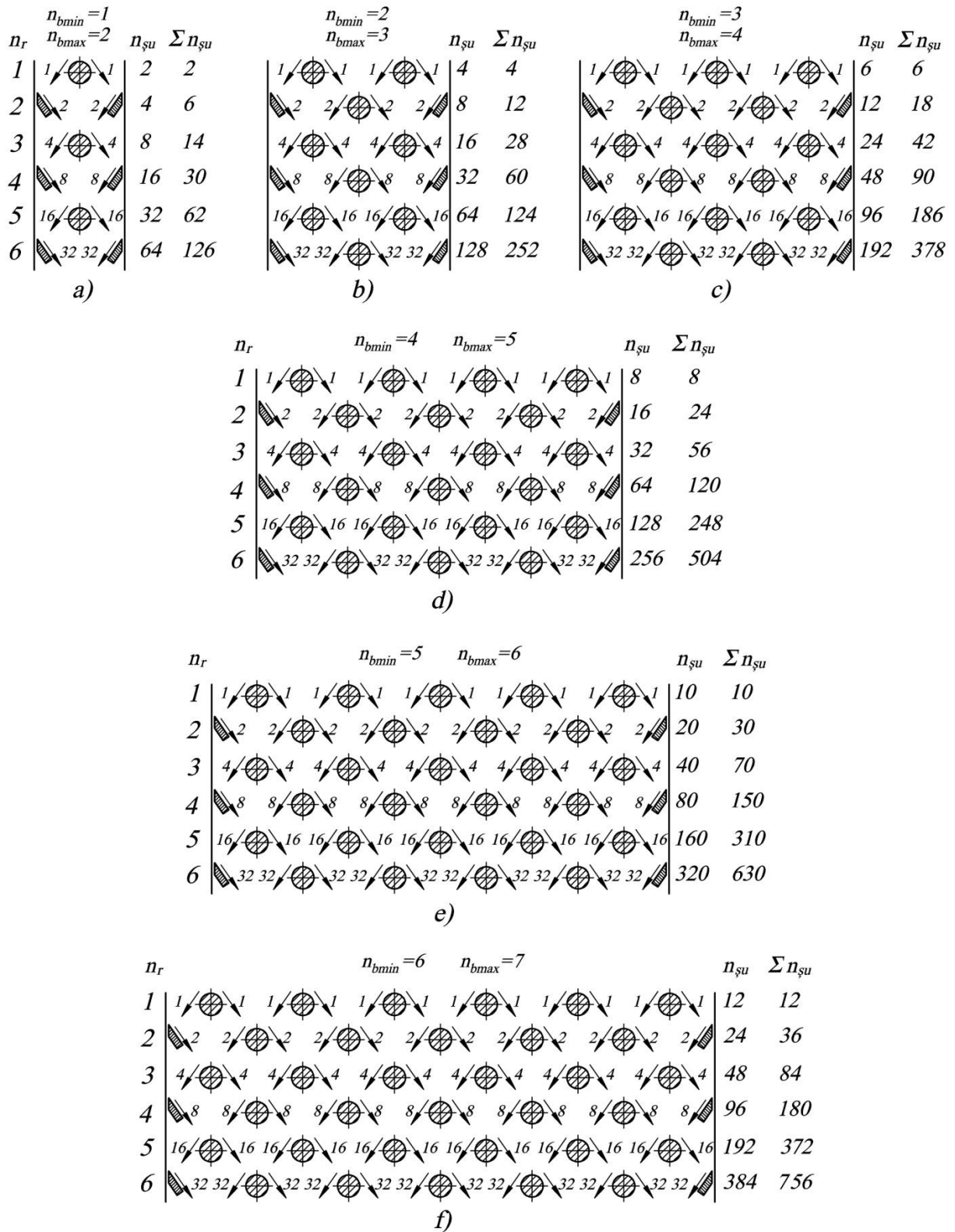


Fig. 2.2. Schema procesului de formare a șuvoaielor unice în planuri longitudinale:  $n_{bmin}$ ,  $n_{bmax}$  și  $n_r$  – vezi figura 2.1;  $n_{\text{șu}}$  – numărul șuvoaielor unice care se formează după fiecare rând de bare;  $\Sigma n_{\text{șu}}$  – numărul șuvoaielor unice cumulate în procesul amestecării

În continuare vom analiza structura şuvoaielor complexe pentru malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$  (Fig. 2.3). La trecerea primului rând longitudinal care conţine o bară şuvoiului unitar cu un conţinut de material egal cu o unitate (de volum sau de masă) este divizat în două şuvoaie egale cantitativ: stâng  $0,5s$  şi drept  $0,5d$ . Ultima literă din codul structurii şuvoiului indică direcţia lui de deplasare:  $s$  – în stânga şi  $d$  – în dreapta.

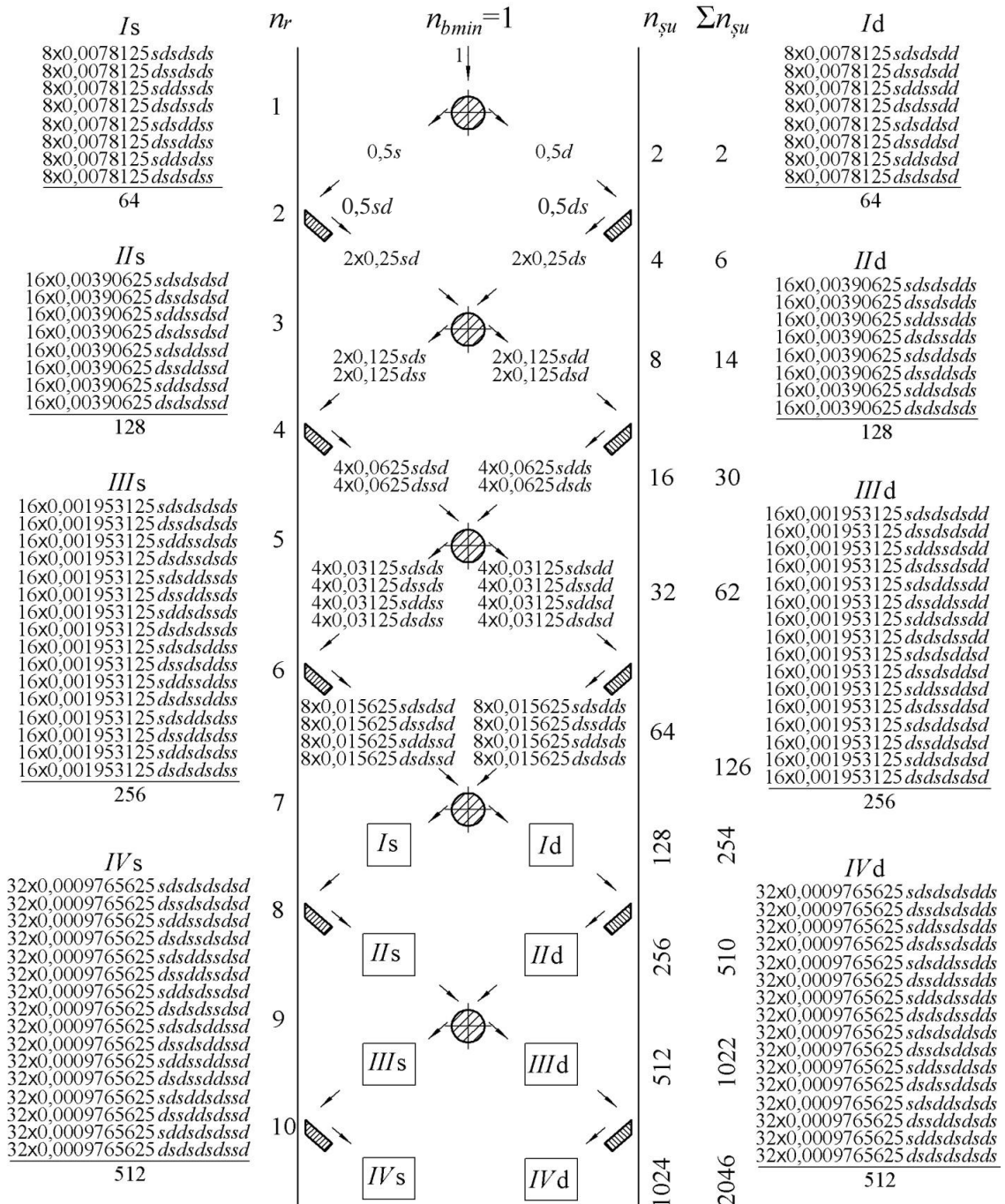


Fig. 2.3. Schema procesului de formare a şuvoaielor unice în malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$ .

Aceste şuvoaie trec spre rândul al doilea alcătuit din două răzuitoare care le schimbă direcţiile în aşa mod că ele devin altele din punctul de vedere al situaţiei particulelor în spaţiu,

deci își schimbă structura și se obțin șuvoaiele  $0,5sd$  și  $0,5ds$ . Aceste șuvoaie în toate calculele de determinare a numărului de șuvoaie formate în malaxoarele cu bare se socoteau ca întregi, fiind indicate prin  $0,5sd$  și  $0,5ds$ , dar având o structură nouă.

Se poate admite că șuvoiul  $0,5sd$  este compus din două șuvoaie unice cu conținutul fiecăruia  $0,25sd$  (Fig. 2.4, a), iar șuvoiul  $0,5ds$  – din două șuvoaie cu conținutul fiecăruia  $0,25ds$ . Această admitere poate fi argumentată în modul următor. Dacă în locul răzuitorului din stânga sau din dreapta al rândului al doilea de bare din figura 2.3 ar fi fost o bară (Fig. 2.4, b), iar peretele lateral de stânga (de dreapta) ar fi fost situat față de această bară la o distanță egală cu pasul dintre barele rândurilor longitudinale, atunci șuvoiul  $0,5s$  s-ar fi divizat în două șuvoaie:  $0,25ss$  și  $0,25sd$ , iar șuvoiul  $0,5d$  – în șuvoaiele  $0,25dd$  și  $0,25ds$ . În cazul dat (Fig. 2.3, 2.4, a) însă, șuvoiul  $0,5s$  este deviat în întregime de către răzuitorul din stânga spre dreapta și se obțin, datorită interpătrunderii particulelor, două șuvoaie cu o cantitate de  $0,25$  fiecare și structură diferită. Șuvoiul din dreapta  $0,5ds$  este supus aceluiași fenomen.

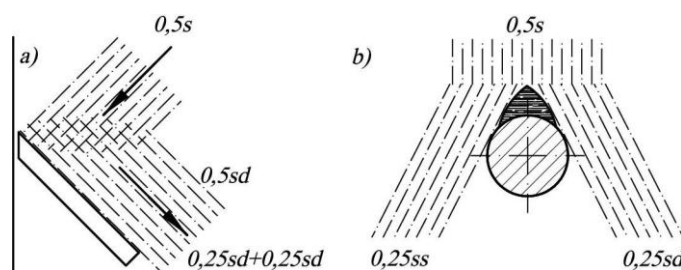


Fig. 2.4. Procesul devierii șuvoiului  $0,5s$  de la răzuitor (a) și divizării de către bară (b).

Deci, vom considera că după devierea șuvoiului  $0,5s$  de la răzuitorul din stânga se formează două șuvoaie, fiecare având conținutul de  $0,25sd$ , iar după devierea șuvoiului  $0,5d$  de la răzuitorul din dreapta se formează două șuvoaie, fiecare cu conținutul  $0,25ds$ . Această circumstanță a condus la aceea că pentru toate tipurile de malaxoare cu bare din figura 2.2 șirul de numere ale șuvoaielor unice care se formează după trecerea fiecărui rând longitudinal de bare prin material reprezintă o progresie geometrică.

Mai departe, la bara rândului al treilea fiecare șuvoi unic se divizează în părți egale în șuvoaie de stânga și de dreapta formându-se următoarele opt șuvoaie noi:  $2 \times 0,125sds$ ,  $2 \times 0,125dss$ ,  $2 \times 0,125sdd$ ,  $2 \times 0,125dsd$ . Fiecare din aceste șuvoaie are o cantitate de două ori mai mică decât a celor precedente din care s-au format, însă suma cantității lor este egală cu unu, ca și după or și ce rând de bare care trece prin material.

Distribuția materialului în lungul malaxorului este totdeauna uniformă. Procesele de schimbare a direcției de deplasare, de divizare și îmbinare se repetă și putem observa că cu cât este mai mare numărul de rânduri de bare care au trecut prin material cu atât mai complicată

devine structura șuvoaielor complexe, ceea ce atestă faptul că în malaxoarele cu bare are loc o amestecare intensivă a componentelor amestecului. După trecerea, spre exemplu rândului al 10-lea longitudinal de bare prin amestec, se obțin 1024 șuvoaie unice cu conținutul de material fiecăruia egal cu  $9,77 \cdot 10^{-4}$  părți de la unitate.

În Anexa 3 este prezentat tabelul numerelor șuvoaielor unice care se formează în procesul amestecării, după fiecare rând longitudinal de bare și suma totală a lor, în diferite malaxoare.

Observăm în figura 2.2, *a-f* că șirul de numere ale șuvoaielor unice  $n_{\text{șu}}$  care se formează după fiecare rând longitudinal de bare reprezintă o progresie geometrică cu rația  $q$  egală cu 2 și valoarea primului membru  $b_1$  egală cu  $2n_{bmin}$ , pentru orice malaxor. De exemplu, în malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$  (Fig. 2.2, *a*, Fig. 2.3) se formează șirul 2, 4, 8, 16, 32, ..., pentru malaxorul cu  $n_{bmin} = 2$  – șirul 4, 8, 16, 32, 64, ... etc.

În așa mod, pentru calculul numărului de șuvoaie unice  $n_{\text{șu}}$  formate la trecerea prin material a  $n_r$  de rânduri longitudinale de bare poate fi folosită relația pentru determinarea membrilor progresiei geometrice:

$$b_n = b_1 q^{n-1} = n_{\text{șu}}, \quad (2.4)$$

unde:  $b_n$  este membrul  $n$  al progresiei geometrice iar  $n = n_r$ ;

$b_1$  – primul membru al progresiei  $b_1 = 2n_{bmin}$ ;

$q$  – rația progresiei,  $q = 2$ .

De exemplu, pentru malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$ , după trecerea prin amestec a 10 rânduri longitudinale de bare, conform relației (2.4) se formează  $n_{\text{șu}} = 2 \cdot 2^{10-1} = 1024$  șuvoaie unice. Rezultatul obținut coincide cu cel din figura 2.3.

Pentru calculul numărului șuvoaielor unice cumulate  $\sum n_{\text{șu}}$  obținute după trecerea prin material a  $n_r$  rânduri longitudinale de bare poate fi folosită relația pentru determinarea sumei membrilor progresiei geometrice:

$$S_n = b_1 \frac{q^n - 1}{q - 1} = \sum n_{\text{șu}}, \quad (2.5)$$

unde:  $S_n$  este suma membrilor progresiei geometrice;

$\sum n_{\text{șu}}$  – numărul șuvoaielor unice cumulate.

Pentru exemplul de mai sus, după trecerea prin amestec a 10 rânduri longitudinale de bare, în malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$ , conform relației (2.5) se vor forma în total  $\sum n_{\text{șu}} = 2(2^{10} - 1)/(2 - 1) = 2046$  șuvoaie unice. Rezultatul obținut coincide cu cel din figura 2.3.

În continuare vom cerceta procesul de formare a șuvoaielor unice în malaxorul cu  $n_{bmin} = 2$  (Fig. 2.5). La trecerea primului rând longitudinal, care conține două bare, șuvoaietele

egale cu 0,5 de la șuvoiul unitar, sunt divizate în câte două șuvoaie unice egale cantitativ: de stânga 0,25s și de dreapta 0,25d.

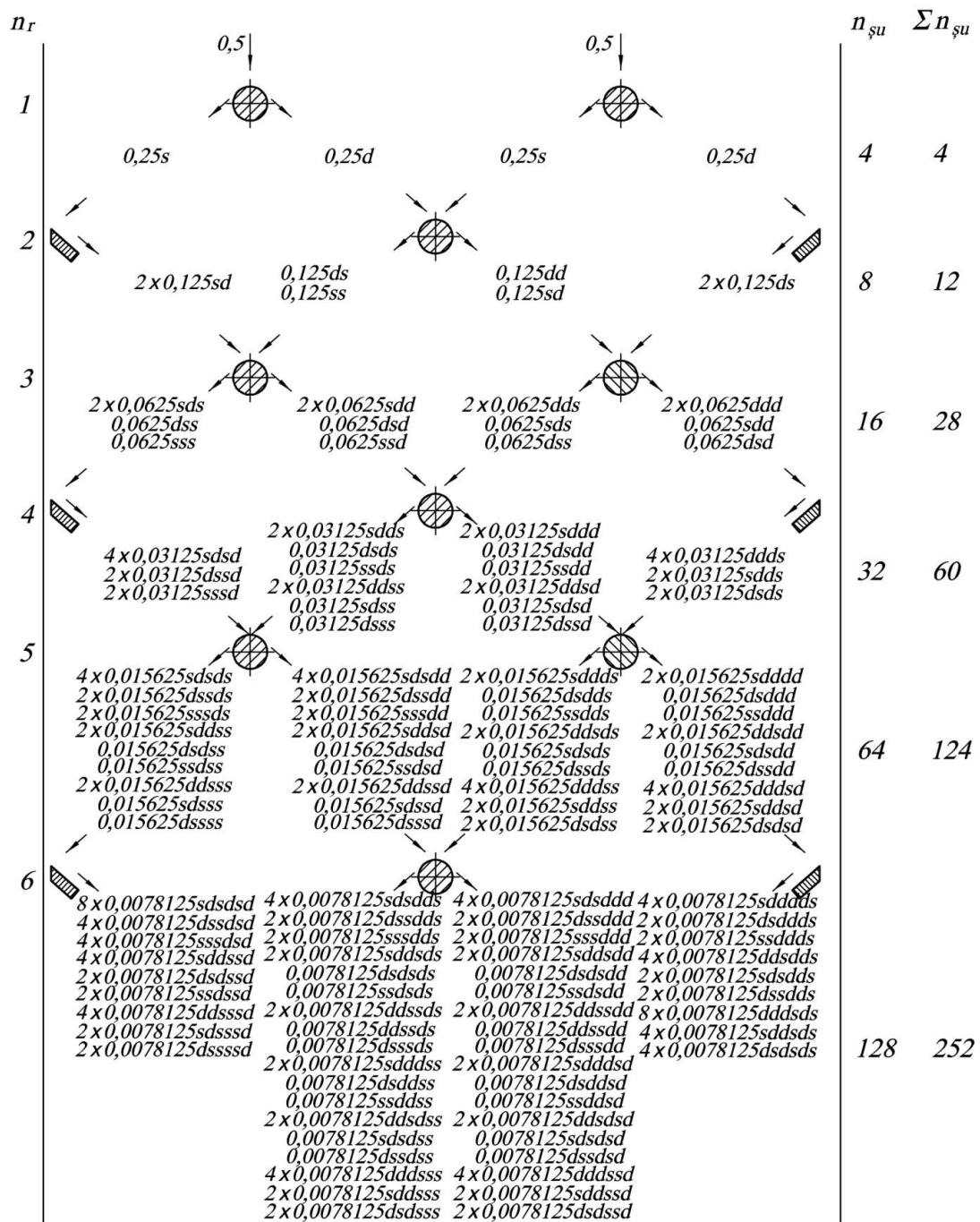


Fig. 2.5. Schema procesului de formare a șuvoaielor unice în malaxorul cu  $n_{bmin} = 2$ .

Apoi, aceste șuvoaie trec spre rândul al doilea format din două răzuitoare și o bară. Aici șuvoiul din capătul stâng al malaxorului 0,25s și șuvoiul din capătul drept 0,25d deviază de la răzuitoarele rândului 2, schimbându-și direcțiile de deplasare. În urma devierii, particulele își schimbă aranjamentul lor în spațiul șuvoiului, deci își schimbă structura și se obțin câte două șuvoaie noi: în partea stângă a tobei  $2 \times 0,125sd$ ; în partea dreaptă –  $2 \times 0,125ds$ . Șuvoaiele

0,25d și 0,25s din centrul malaxorului se deplasează unul spre altul (Fig. 2.5), se îmbină, apoi după trecerea rândului al 2-lea, se divizează și se formează patru șuvoaie noi: 0,125ds; 0,125dd; 0,125ss; și 0,125sd.

După trecerea rândului al 3-lea alcătuit din două bare, numărul de șuvoaie unice format după rândul al 2-lea se dublează (fiecare șuvoi unic se divizează în două). Astfel, șuvoaiele din stânga malaxorului  $2 \times 0,125sd$ , 0,125ds și 0,125ss se îmbină, apoi se divizează de către bara din stânga a rândului al 3-lea și se obțin 8 șuvoaie noi:  $2 \times 0,0625sds$ ; 0,0625dss; 0,0625sss;  $2 \times 0,0625sdd$ ; 0,0625dsd și 0,0625ssd. Tot așa procese au loc și în partea dreaptă a tobei.

Observăm că toate șuvoaiele unice formate după orice rând de bare conțin cantități egale de material, iar suma cantităților tuturor șuvoaielor este egală cu cantitatea șuvoiului unitar, adică cu unu. De exemplu, după rândul al 3-lea de bare se formează 16 șuvoaie unice, fiecare conținând 0,0625 părți de la șuvoiul unitar, iar suma lor este egală cu unu. Procesul formării șuvoaielor unice în malaxoarele cu  $n_{bmin} > 2$ , este asemănător.

În malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale numărul total de șuvoaie unice (tabelul 2.2) formate în procesul amestecării constituie suma șuvoaielor formate în planurile longitudinale și transversale.

Tabelul 2.2. Numărul total de șuvoaie unice cumulate care se formează în procesul amestecării în diferite malaxoare după trecerea prin material a 18 rânduri longitudinale și radiale de bare

Numărul minimal de bare		în rândurile longitudinale						
		$n_{bmin} = 1$	$n_{bmin} = 2$	$n_{bmin} = 3$	$n_{bmin} = 4$	$n_{bmin} = 5$	$n_{bmin} = 6$	$n_{bmin} = 7$
în rândurile radiale	$n_{bmin} = 1$	1048572	1572858	2097144	2621430	3145716	3670002	4194288
	$n_{bmin} = 2$	1572858	2097144	2621430	3145716	3670002	4194288	4718574
	$n_{bmin} = 3$	2097144	2621430	3145716	3670002	4194288	4718574	5242860
	$n_{bmin} = 4$	2621430	3145716	3670002	4194288	4718574	5242860	5767146
	$n_{bmin} = 5$	3145716	3670002	4194288	4718574	5242860	5767146	6291432
	$n_{bmin} = 6$	3670002	4194288	4718574	5242860	5767146	6291432	6815718
	$n_{bmin} = 7$	4194288	4718574	5242860	5767146	6291432	6815718	7340004

În Anexa 4 este prezentat procesul fărâșării șuvoaielor unice în malaxorul cu  $n_{bmin} = 4$ . După trecerea rândului al 18-lea de bare se formează 8 șuvoaie complexe care conțin câte 131.072 șuvoaie unice fiecare. Numărul total al șuvoaielor unice formate după al 18-lea rând constituie 1.148.576, iar numărul șuvoaielor unice cumulate – 2.097.144.

În Anexa 5 este prezentată schema procesului de amestecare a componentelor amestecului situate separat în zone transversale, cu diferite cantități inițiale, în malaxorul cu  $n_{bmin} = 5$ . Pe

desen sunt arătate cantitățile de material a fiecărui component care se conține în fiecare șuvoi complex. Observăm că la finele procesului de amestecare, când se obține distribuția uniformă a fiecărui component în lungul tobei malaxorului și amestecarea reciprocă a lor, în orice microvolum de amestec raportul cantităților de particule a fiecărui component este acel care a fost dat inițial prin dozaj.

Toate schemele procesului de amestecare prezentate sunt aplicabile atât pentru malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă, cât și pentru cele cu amestecare forțată. În cazul malaxoarelor gravitaționale barele sunt fixe, iar componentele amestecului cad în jos peste bare. În cazul malaxoarelor cu amestecare forțată amestecul nu se deplasează în direcție verticală, iar barele trec prin amestec.

## 2.2. Procesul migrației 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 amestecului [11].

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 o deplasare a 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. 2.6, *a-e*), iar la o rotație a arborelui malaxorului echipat cu 6 rânduri longitudinale de bare –  $12n_{bmin}$  migrații elementare.

Observăm că în malaxorul cu  $n_{bmin} = 1$  (Fig. 2.6, *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. După trecerea unui singur rând de bare se formează în total tot două migrații elementare ale particulelor iar suma lor este echivalentă cu o migrație deplină. Aceleași procese au loc și în malaxoarele cu  $n_{bmin} > 1$ .

De exemplu, la malaxorul cu  $n_{bmin} = 2$  (Fig. 2.6, *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. După trecerea unui singur rând de bare însă, se formează în total tot patru migrații elementare iar suma lor este echivalentă cu o migrație deplină. Deci, putem face concluzia că în orice malaxor după trecerea fiecărui rând de bare prin amestec se formează un număr de migrații elementare suma cărora este echivalentă cu o migrație deplină, iar la o rotație a arborelui malaxorului cu 6 rânduri de bare se formează în total 6 migrații depline.

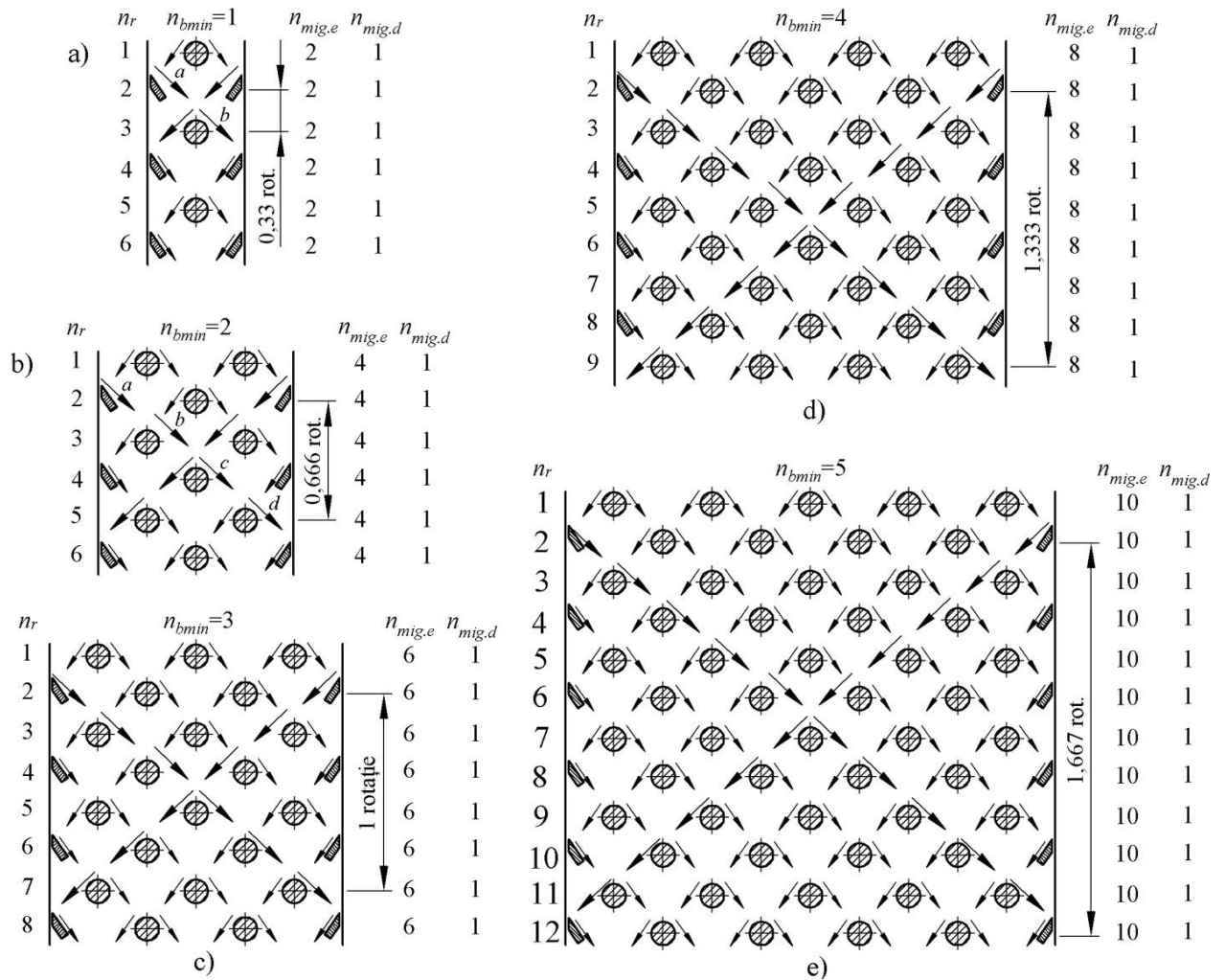


Fig. 2.6. Schema procesului de migrație a componentelor amestecului în malaxoarele cu bare.

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. 2.6, 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. 2.6, 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 utilizăm relația:

$$n = 0,333n_{bmin} \quad (2.6)$$

Procesul de migrație în planuri transversale este analogic cu cel din planurile longitudinale. Numărul total de migrații constituie suma migrațiilor efectuate de particule în ambele planuri.



### 2.3. Studiul probabilistic al procesului de amestecare

Savantul britanic Francis Galton în anul 1873 a construit un dispozitiv pentru demonstrarea teoremei limită centrale și în particular că distribuția binomială se apropie de cea normală Gauss la un număr mare de bile (Fig. 2.7). Acesta reprezintă un paralelipiped cu peretele din față transparent. În peretele din spate, perpendicular pe suprafața lui sunt situate în șah cepuri (bare scurte). În partea de sus prin pâlnia centrală se introduc bile. În cazul ideal bila lovindu-se de cep poate să se deplaseze cu aceeași probabilitate ( $P = 0,5$ ) la dreapta sau la stânga. Partea inferioară a tablei este divizată cu pereți despărțitori (numărul cărora este egal cu numărul cepurilor ultimului rând). Bilele, ajungând la fundul paralelipipedului formează coloane, care sunt cu atât mai înalte cu cât sunt mai aproape de centrul paralelipipedului.

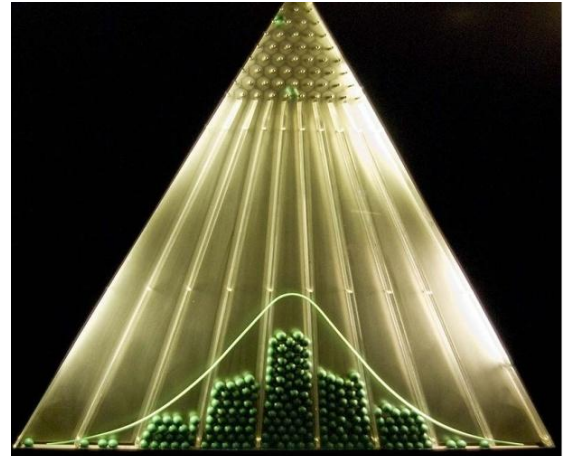


Fig. 2.7. Tabla lui Francis Galton.

La aruncarea unui număr destul de mare de bile înfățișarea exterioară a coloanelor se apropie de curba distribuției normale Gauss, care se scrie în modul următor [28, 94]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.7)$$

unde:  $f(x)$  este funcția densității probabilității;

$x$  – lățimea tablei (pentru cazul dat), mm;

$\mu$  – valoarea medie a variabilei aleatoare, mm;

$\sigma$  – abaterea medie pătratică, mm.

Dacă indicăm prin  $n$  numărul total de ciocniri ale bilei cu cepurile, cu  $k$  numărul de treceri ale bilei spre dreapta (în așa mod ea se va găsi în coloana  $k$ ) în acest caz numărul de căi pe care ea poate ajunge până la coloana  $k$  se determină cu relația:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (2.8)$$

unde:  $\binom{n}{k}$  este coeficientul binomial.

Probabilitatea de a nimeri în coloana  $k$  este:

$$\binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, \quad (2.9)$$

unde  $p$  este probabilitatea trecerii bilei la dreapta, care poate fi admisă  $p = 0,5$ .

Dacă introducem valoarea lui  $p$ , atunci relație (2.9) primește următoarea formă:

$$\binom{n}{k} 0,5^n . \quad (2.10)$$

Dacă bila va face zero deplasări la dreapta, atunci ea va nimeri în coloana  $k = 0$ , dacă va face o singură deplasare la dreapta – atunci în coloana  $k = 1$  etc. Valoarea lui  $k$  poate varia în intervalul  $0 \leq k \leq n + 1$ . La rândul ei, valoarea lui  $n$  este egală cu numărul de rânduri longitudinale de bare ale dispozitivului.

Aceasta este funcția probabilității distribuției binomiale, care în corespundere cu teorema centrală limită la un număr mare al lui  $n$  descrie distribuția normală Gauss.

P. Levi [118] a propus, iar H. Cramer [117] a demonstrat teorema că dacă suma a două mărimi aleatorii independente neconstante este distribuită normal, atunci și fiecare din termenii sumei are distribuție normală.

Dacă vom prelungi tabla lui Galton prin instalarea pereților de dreapta și de stânga, iar în locul barelor care coincid cu pereții laterali se vor instala răzuitoare (deviatoare) sub un unghi de 45 grade vom obține un malaxor gravitațional cu organe de amestecare în formă de bare, în care putem observa un fenomen nou și anume: distribuția centrală normală se însumează cu distribuțiile laterale normale secționare, care se formează datorită devierii particulelor de către răzuitoarele din stânga spre dreapta și de răzuitoarele din dreapta spre stânga. Ca rezultat al acestor însumări pe parcursul procesului de amestecare, la sfârșitul procesului se obține o distribuție uniformă a componentelor și un amestec omogen.

Pentru a demonstra fenomenul dat analizăm procesul de distribuire a probabilităților deplasării unei bile în malaxoarele cu bare gravitaționale, luând ca exemplu malaxorul cu  $n_{bmin} = 4$  și cazul când bilele se introduc în centrul malaxorului (Fig. 2.8). În condiții ideale probabilitatea trecerii bilei în stânga sau în dreapta barei este egală cu 0,5. La deviator însă, probabilitatea deplasării bilei în direcția înclinării deviatorului este egală cu unu. Aceasta conduce la majorarea densității probabilității în zonele laterale ale malaxorului.

Observăm că, lovindu-se de bara din mijloc a primului rând de bare, bila se poate deplasa în stânga sau în dreapta cu probabilitatea egală cu 0,5 în ambele direcții. La al 2-lea rând de bare bila are patru căi posibile de deplasare, toate având aceeași probabilitate egală cu 0,25. Până aici se obține o distribuție uniformă a probabilităților deplasării particulelor.

La al 3-lea rând de bare densitatea probabilităților în zonele laterale începe să se micșoreze. Probabilitatea nimeririi bilei în stânga sau în dreapta barei extreme de stânga sau de dreapta a rândului 3 este egală cu 0,125, iar în stânga sau în dreapta barei centrale – cu 0,25.

După al 4-lea rând de bare distribuția probabilităților se apropie de cea normală, iar după al 5-lea rând începe procesul de însumare a distribuției centrale normale cu distribuțiile laterale normale secționate, care se formează datorită devierii particulelor de către deviatoarele din stânga spre dreapta și de către deviatoarele din dreapta spre stânga. În rezultatul însumării distribuției normale centrale cu distribuțiile normale secționate laterale se obține distribuția uniformă a componentelor amestecului în tot volumul.

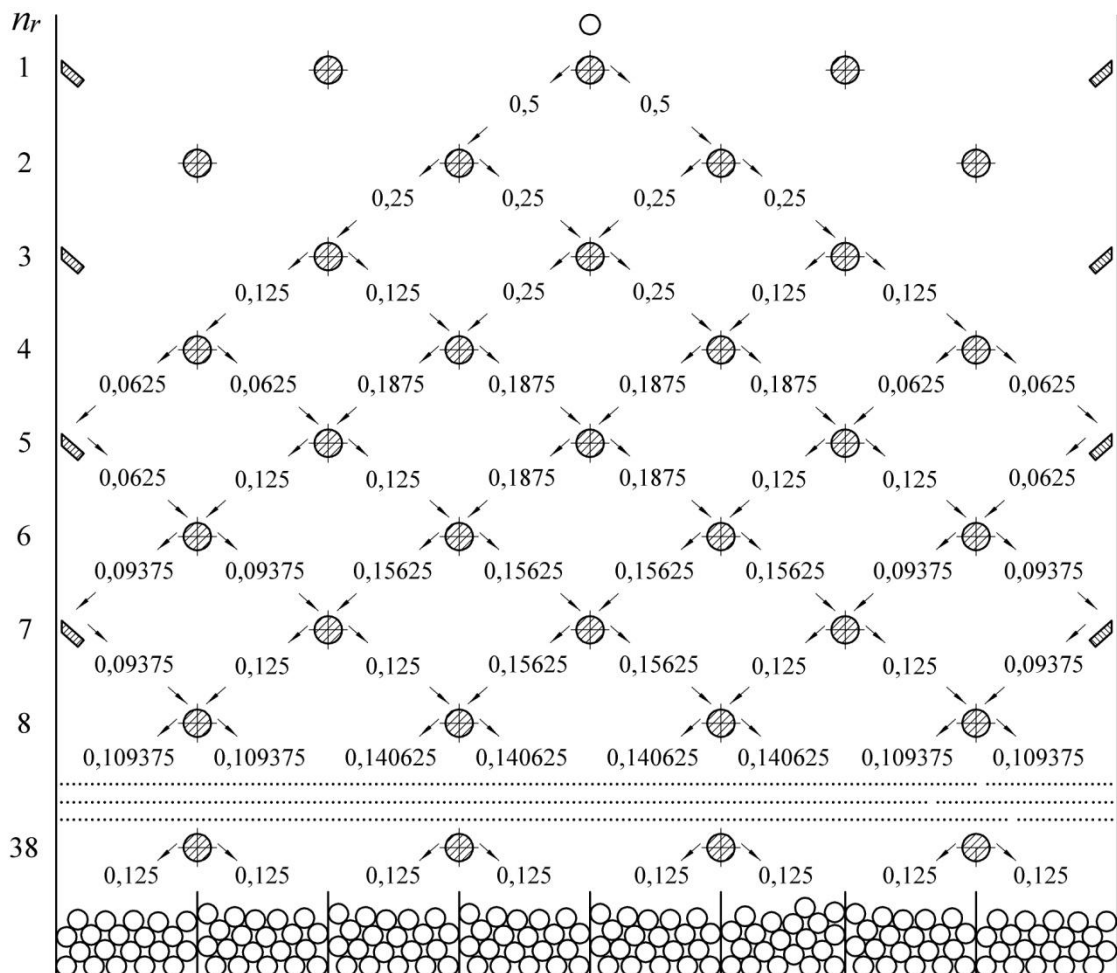


Fig. 2.8. Schema procesului de distribuire a probabilităților deplasării particulelor în formă de bilă în malaxorul cu  $n_{bmin} = 4$ .

În cazul analizat distribuția uniformă a probabilităților are loc, cu precizia de șase cifre după virgulă, după trecerea bilei printre 38 rânduri longitudinale de bare (Fig. 2.8). Aceasta înseamnă că la aruncarea unui număr mare de bile în centrul malaxorului gravitațional cu 38 de rânduri longitudinale de bare și  $n_{bmin} = 4$ , la finele procesului se va obține distribuția lor uniformă.

Procesul distribuirii probabilităților deplasării unei bile este identic cu procesul distribuirii componentelor amestecului în malaxoarele cu bare, atât a celor cu amestecare prin cădere liberă,

cât și a celor cu amestecare forțată. Valorile probabilităților deplasării bilei (Fig. 2.8) reprezintă cantitățile de amestec în părți de la unitate a întregii mase de material.

Astfel am dovedit faptul că în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare se produce un proces de amestecare determinist, ușor de pronosticat.

Observăm (Fig. 2.9) că procesul de transformare a distribuției normale a probabilităților deplasării bilei în uniformă, la început se petrece mai rapid, apoi intensitatea procesului scade încet, până se obține distribuția uniformă. Procesul de distribuire a probabilităților deplasării bilelor în malaxorul cu  $n_{bmin} = 4$  integral este prezentat în Anexa 6.

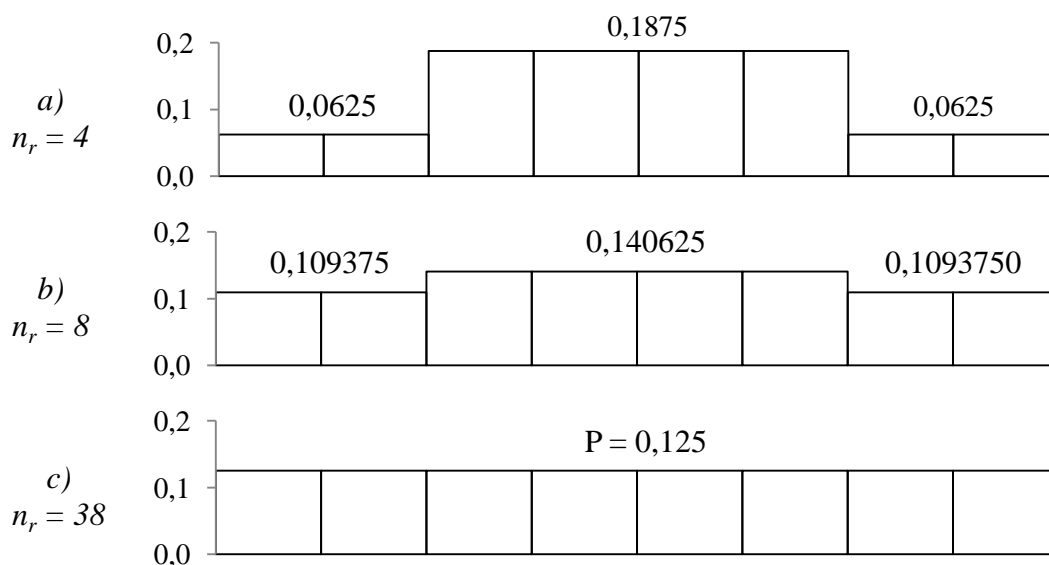


Fig. 2.9. Distribuția probabilităților deplasării bilelor: a) după patru rânduri de bare; b) după 8 rânduri; c) după 38.

Procesul distribuirii probabilităților deplasării particulelor a fost cercetat experimental de către conf. univ., dr. S. Andrievschi [1, p. 44], utilizând un dispozitiv de modelare a procesului de amestecare în malaxoarele cu bare (Fig. 2.10). Acesta este alcătuit dintr-o placă înclinată 1 pe care sunt fixate buncărul 2, bare 3 situate în șah și perpendicular față de placă, închizătoare 4, o placă de sticlă organică 5, pereți 6, un limitator 7 fixat în partea de jos a plăcii 1. Dispozitivul se reazemă prin axul 8 pe rama 9, iar prin șurubul 10 - pe suportul 11 îmbinat prin axul 12 cu rama 9. În calitate de material a fost utilizat nisip de râu cu dimensiunea particulei  $a \leq 1,25$  mm.

Experiențele efectuate [1] au demonstrat că la introducerea materialului în centrul malaxorului (Fig. 2.10), după parcurgerea primelor patru rânduri de bare, distribuția materialului a devenit normală, iar distribuția uniformă a fost obținută după parcurgerea în total a 25 rânduri longitudinale de bare (materialul a fost oprit prin instalarea limitatorului 7 lângă rândul analizat).

Dispozitivul de modelare a procesului de amestecare are  $n_{bmin} = 4$ , ca și malaxorul din figura 2.8. Mai sus însă, s-a demonstrat că teoretic, cu precizia de 6 cifre după virgulă, distribuția uniformă a particulelor pentru malaxorul dat se obține după a 38-lea rând longitudinal de bare. Dar dacă vom adopta precizia de 4 cifre după virgulă, atunci distribuția uniformă a particulelor pentru cazul dat se va obține după 26 rânduri de bare, ceea ce este foarte aproape de rezultatul experimental. Putem presupune că dacă am efectua experimentul dat cu o precizie mai înaltă, atunci pentru obținerea distribuției uniforme a materialului ar fi necesare nu 25 ci 38 rânduri de bare.

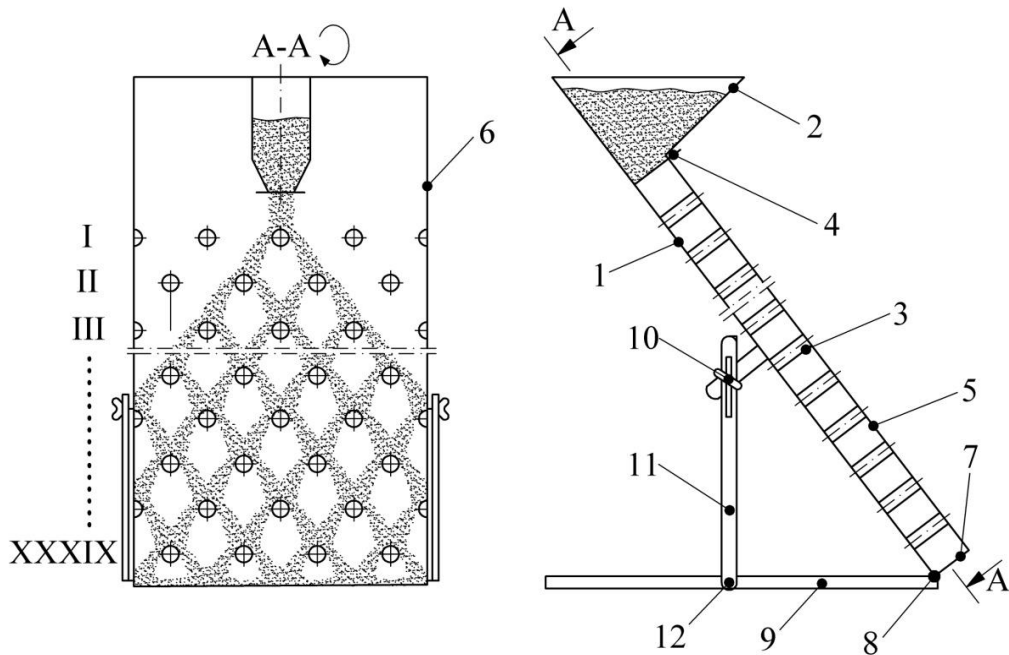


Fig. 2.10. Schema instalației de modelare a procesului de amestecare în malaxoarele cu bare [1].

Tot experimental a fost demonstrat că parcurgerea materialului prin toată instalația (Fig. 2.10), care conține 39 de rânduri de bare distribuția uniformă nu se schimbă. Acest fapt poate fi lămurit prin aceea că teoretic distribuția uniformă ideală a materialului nu poate fi obținută. Procesul de transformare a distribuției normale în distribuție uniformă este infinit, atunci când nu ne limităm la un anumit număr de cifre după virgulă. Cu cât mai multe rânduri de bare analizăm, cu atât mai multe cifre după virgulă apar, iar diferența cantităților de material din centrul malaxorului și periferiile lui scade la infinit.

Procesul de distribuire uniformă a probabilităților deplasării componentelor amestecului în malaxoarele cu bare are loc și în cazurile când acestea sunt turnate și în alte zone decât în centrul malaxorului (Anexele 7-9). Dar, cu cât mai departe de centrul malaxorului sunt turnate, cu atât mai multe rânduri de bare sunt necesare pentru obținerea distribuției uniforme a componentelor.

Asupra procesului de uniformizare a distribuției componentelor influențează lățimea malaxorului, adică numărul minimal de bare în rândurile longitudinale  $n_{bmin}$ . Cu cât  $n_{bmin}$  este

mai mare, cu atât mai multe treceri ale barelor prin material (în cazul malaxoarelor cu amestecare forțată) sunt necesare pentru obținerea distribuției uniforme a amestecului.

Dacă în malaxoarele cu bare se introduc concomitent mai multe componente ale amestecului în diferite zone transversale (Anexa 5), atunci, în pofida faptului că acestea vor cădea peste bare împreună și în același timp, la finele procesului de amestecare, toate componentele se vor distribui uniform de-a lungul malaxorului și vor fi amestecate între ele omogen. Acest fenomen are loc atât în malaxoarele gravitaționale, cât și în cele cu amestecare forțată.

#### **2.4. Limita divizării șuvoiului de material**

În figura 2.11 este prezentat procesul de divizare-îmbinare a șuvoaielor în malaxorul cu gravitație ai cărui pereți laterali sunt îndepărtați spre infinit de la centru. Malaxorul dat este asemănător cu tabla lui Francis Galton. Dacă grosimea inițială a șuvoiului este egală cu o unitate, atunci pe parcursul divizării în părți egale la rândurile următoare și îmbinării șuvoaielor divizate observăm că la rândul al 10-lea de bare șuvoiul periferic va avea 0,000977 părți de la unu. Dacă grosimea șuvoiului inițial central este, de exemplu 10 mm, iar dimensiunea particulelor este 2 mm, atunci după rândul al treilea de bare grosimea șuvoiului extrem din stânga și celui extrem din dreapta va fi de 1,25 mm. Deci, divizarea materialului în șuvoaie în aceste locuri nu mai are loc, deoarece șuvoiul nu poate fi mai subțire de 2 mm. La rândul al 4-lea și mai departe particulele de material vor trece în stânga sau în dreapta barei conform legii probabilităților fără divizarea lui în șuvoaie.

Prin urmare, limita divizării în malaxoarele cu bare reprezintă în sine grosimea minimă posibilă a șuvoiului de material, care depinde de dimensiunea particulelor. După obținerea acestei grosimi șuvoiul nu se mai divizează, deoarece el este compus dintr-un rând de particule, care mai departe își schimbă direcția de migrație conform legilor probabilităților.

Lămurind acest proces din punct de vedere probabilistic putem concluda că distribuția materialului este normală și conține un număr mare de distribuții normale. Dacă în centrul distribuției amestecarea este omogenă, apoi mergând de la centru spre stânga sau spre dreapta amestecul este mai puțin omogen. Aceasta se observă dacă analizăm aparte distribuția șuvoiului inițial de stânga și aparte a celui inițial de dreapta (Fig. 2.12).

Fie că șuvoiul din stânga cu conținutul egal cu 0,5 reprezintă primul component, iar șuvoiul din dreapta cu conținutul egal tot cu 0,5 – componentul al doilea. Indicăm primul component cu  $s$  (ceea ce înseamnă deplasare la stânga), iar al doilea cu  $d$  (deplasare la dreapta).

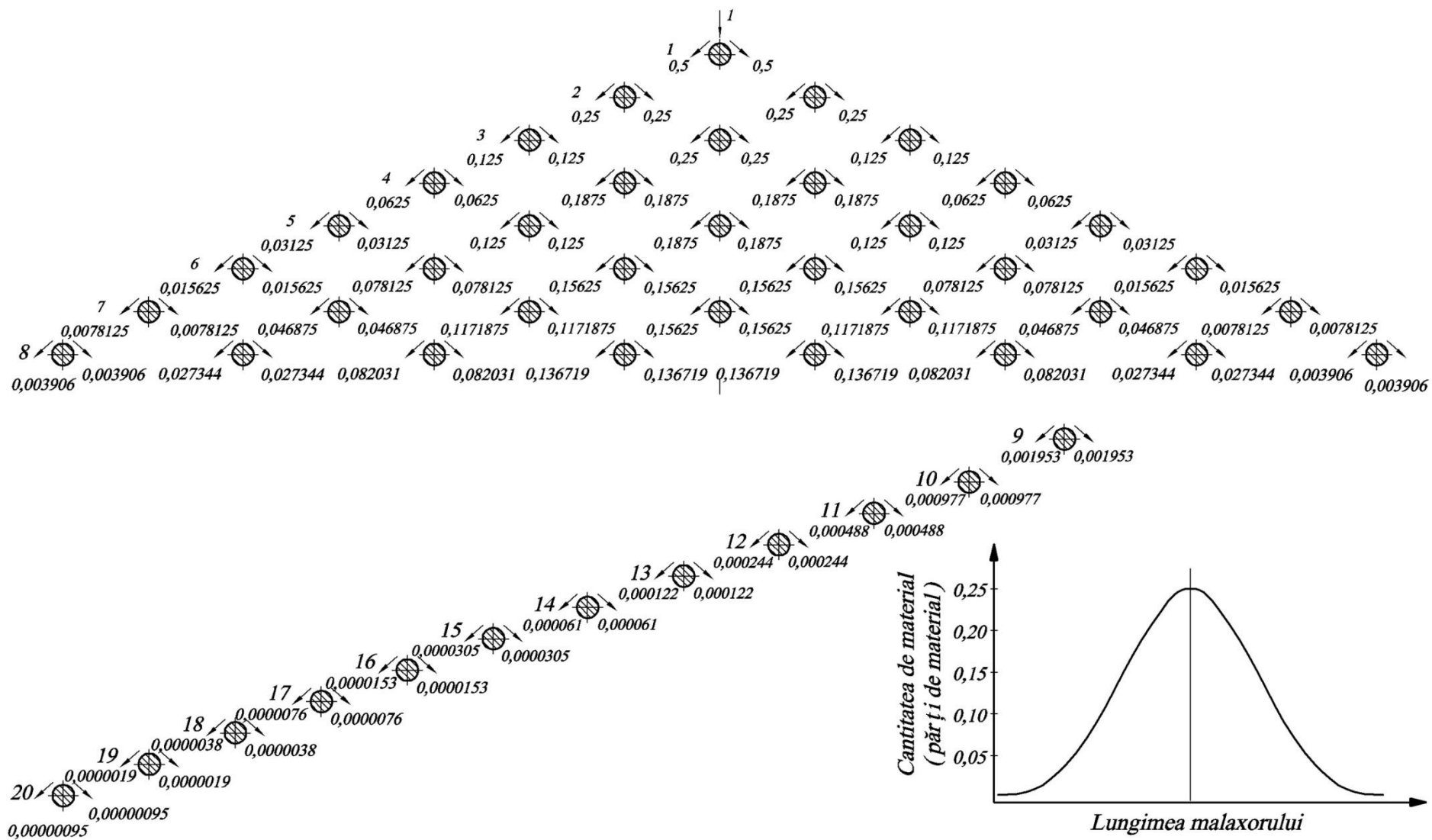


Fig. 2.11. Schema divizării – îmbinării şuvoiului unitar în malaxorul fără pereţi laterali (după rândul al 8-lea sunt prezentate numai barele din stânga ale rândurilor).





Observăm după al 6-lea rând de bare că în centru se obține un șuvoi complex care conține 20 șuvoaie unice diferite, iar șuvoaiile periferice din stânga și din dreapta sunt formate numai dintr-un component: 0,015625ssssss din stânga și 0,015625dddddd din dreapta. La continuarea procesului de divizare-îmbinare în centrul distribuției amestecarea va continua, iar la periferie nu.

Dacă materialul va fi compus din particule extrem de mici, limita divizării va apare la trecerea peste un număr mai mare de rânduri de bare. După obținerea limitei de divizare procesul amestecării are loc datorită divizării-îmbinării șuvoaielor formate anterior, structura șuvoaielor complexe se modifică numai datorită permutărilor particulelor.

După prima bară se formează două șuvoaie fiecare conținând câte 0,5 părți de la cantitatea șuvoiului inițial. La trecerea rândului al doilea de bare se formează patru șuvoaie unice. Șuvoaiile interioare se îmbină formând un șuvoi complex. La rândul al treilea de bare se formează opt șuvoaie unice, patru din care reprezintă rezultatul divizării în două a șuvoiului complex central compus din două șuvoaie unice (fiecare șuvoi unic se împarte în două). Observăm că șirul de numere ale șuvoaielor unice care se formează după fiecare rând de bare reprezintă o progresie geometrică cu rația egală cu doi. Numărul de șuvoaie unice formate după fiecare rând de bare se determină cu relația (2.4), iar numărul total – cu relația (2.5).

## 2.5. Concluzii la capitolul 2

- 2.5.1. Un șuvoi complex format în procesul amestecării reprezintă totalitatea șuvoaielor unice formate după o divizare în stânga sau în dreapta barei, sau după o devierea de la un răzuitor. 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 cu rația egală cu doi, deci se schimbă calitatea și structura șuvoaielor complexe.
- 2.5.2. Un șuvoi unic format în procesul amestecării reprezintă o parte componentă a șuvoiului unitar 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. La trecerea fiecărui rând de bare numărul șuvoaielor unice existente se dublează, iar cantitatea de material a unui șuvoi se micșorează tot de două ori.
- 2.5.3. Fiecare șuvoi aparte format în procesul amestecării are o structură unică, care nu se întâlnește la alte șuvoaie, iar după ce se formează, acestea există până la următoarea divizare sau deviere de la răzuitor, adică o durată infimă de timp. Fiecare divizare și

schimbare de direcție conduce la apariția unor șuvoaie unice noi, care la rândul lor iarăși se divizează sau își schimbă direcția ș.a.m.d.

- 2.5.4. Procesul migrației în malaxoarele cu bare și respectiv de distribuție uniformă a particulelor depinde de numărul minimal de bare în rândurile longitudinale  $n_{bmin}$ . Cu cât  $n_{bmin}$  este mai mare cu atât este mai mare durata efectuării unei migrații depline a unei particule, de aceea nu este oportun de utilizat tobe cu lungimea prea mare în raport cu diametrul.
- 2.5.5. În malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale procesul formării șuvoaielor unice și complexe precum și migrației particulelor are loc atât în planuri longitudinale, cât și în cele transversale. Numărul total de șuvoaie și de migrații constituie suma șuvoaielor și migrațiilor formate în ambele planuri.
- 2.5.6. În procesul amestecării în malaxoarele cu bare are loc apariția distribuției normale a particulelor în centrul tobei, normale secționate la capetele tobei, însumarea distribuției normale centrale cu distribuțiile normale secționate și obținerea distribuției uniforme în tot volumul. Adică se produce un proces determinist, ușor de pronosticat.
- 2.5.7. Procesul transformării distribuției normale în distribuție uniformă nu are sfârșit atunci când nu este limitat numărul de cifre după virgulă a valorilor cantităților de material. Cu cât mai multe rânduri de bare sunt analizate, cu atât mai multe cifre după virgulă apar, iar diferența cantităților de material din centrul malaxorului și periferiile lui scade la infinit.
- 2.5.8. Limita divizării materialului în șuvoaie, în malaxoarele cu bare apare atunci când grosimea șuvoiului unic devine minimă, adică egală cu dimensiunea particulelor celui mai mărunț component. După obținerea limitei de divizare procesul amestecării are loc datorită divizării-îmbinării șuvoaielor formate anterior, iar structura șuvoaielor complexe se modifică numai datorită permutărilor particulelor. Însă, după apariția limitei divizării celui mai mărunț component, procesul amestecării trebuie oprit doar după distribuirea uniformă a tuturor componentelor amestecului în lungul tobei malaxorului.

### **3. OPTIMIZAREA CONSTRUCTIVĂ A MALAXOARELOR CU BARE**

#### **3.1. Metodica cercetării și aparatura utilizată**

##### **3.1.1. Aplicarea teoriei planificării experimentului multifactorial**

Determinarea valorilor optime ale factorilor care influențează asupra procesului de preparare a amestecurilor și obținerea unei omogenități înalte a lor poate fi realizată prin două metode. Prima metodă presupune cercetarea adâncă a mecanismului procesului de amestecare, în bază rezultatelor cercetărilor să fie elaborate bazele teoretice care să permită rezolvarea tuturor problemelor extremale. Metoda a doua se bazează pe determinarea empirică a condițiilor optime când mecanismul procesului de amestecare și fenomenele lui nu sunt pe deplin cunoscute.

Procesul amestecării în malaxoarele cu bare, din punct de vedere al rezistenței la înaintare a organelor de amestecare prin material reprezintă un proces tehnologic stocastic complex, de aceea pentru rezolvarea problemelor puse cu ajutorul primei metode va fi nevoie de o perioadă îndelungată de timp. Prin urmare, cel mai rezonabil la rezolvarea problemelor tehnologice de acest tip este utilizarea metodei a doua, în special datorită teoriei planificării experimentului, care dă posibilitate de a determina caracterul influenței a mai multor factori concomitent asupra procesului de amestecare. Utilizând metodele probabilistico-statistice de planificare a experimentului se poate atinge cea mai mare eficiență la rezolvarea problemelor [45, 58, 96, 103].

Această modalitate de abordare a problemei dă posibilitate de a stabili strategia optimă de cercetare când procesul nu este cunoscut pe deplin și de a rezolva problema tehnologică cantitativ efectuând un număr minim de experiențe. Eficiența utilizării metodei de planificare a experimentului crește odată cu complexitatea sistemului care se studiază. Cercetătorul obține un model matematic care este bun pentru optimizarea procesului studiat.

Dar, ținând cont de toți factorii potențiali posibili, din punct de vedere experimental descrierea suprafeței de răspuns este anevoioasă. Din acest motiv, cu scopul optimizării procesului tehnologic de preparare a amestecurilor a fost adoptat următorul algoritm de efectuare a cercetărilor: analiza informației apriorice și eliminarea factorilor ne semnificativi, modelarea matematică, optimizarea sau determinarea extremului condiționat, interpretarea modelelor, analiza tehnologică a rezultatelor, verificarea experimentală a rezultatelor, folosirea rezultatelor în tehnologie (construirea nomogramelor, proiectarea și exploatarea malaxoarelor).

În prima fază a cercetărilor se colectează informația despre procesul de bază din publicații și arhive ale fabricilor. Informația obținută în prima fază dă posibilitate de a stabili factorii semnificativi, criteriile de optimizare și intervalele de variere a factorilor. Utilizând experimentul psihologic [89, 93, 96] se poate aprecia gradul de influență asupra parametrului studiat a tuturor factorilor semnificativi.

Cercetărilor din domeniul industriei materialelor de construcție li se propune să clasifice  $n$  factori potențial posibili în ordinea influenței lor asupra procesului de amestecare, caracteristicilor fizico-mecanice ale articolelor produse etc. Părerile tehnologilor privind influența factorilor pot să nu coincidă atunci când numărul de factori este mare. Din această cauză este necesară prelucrarea obiectivă a materialelor informației psihologice. Problema dată se rezolvă utilizând metodele de corelație a rangurilor [44, 89, 96].

În a doua fază se omit factorii, care n-au influență semnificativă asupra procesului de amestecare și care se determină în rezultatul efectuării experiențelor. Omiterea factorilor poate fi realizată prin trei metode: cu planuri saturate (dacă poate fi admis în prealabil că sunt prezente doar efecte cu variație liniară); cu planuri suprasaturate (dă posibilitate de a elimina atât efectele liniare cât și interacțiunile care formează o pereche, cu condiția că poate fi admis faptul că efectele ne semnificative sunt cu mult mai multe decât cele semnificative); eliminarea succesivă (cu condiția că eroarea experienței este foarte mică în comparație cu efectul care se obține la trecerea factorilor semnificativi de la un nivel la altul).

La eliminarea efectelor liniare se pot utiliza planuri saturate în care toate gradele de libertate se folosesc pentru aprecierea coeficienților de regresie. În calitate de așa planuri pot servi replicile fracționare, planurile saturate Placchet și Berman și planurile latine.

În formă analitică, funcția de răspuns poate fi reprezentată prin polinomul [58]:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k, \quad (3.1)$$

unde:  $\hat{Y}$  este parametrul de ieșire;

$x_1, x_2, \dots, x_k$  – variabilele independente;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  – coeficienți de regresie.

Calculul coeficienților ecuației de regresie și aprecierea statistică a rezultatelor se face cu ajutorul analizei de regresie, care se bazează pe următoarele condiții teoretice:

- a) în fiecare zonă a spațiului factorial, rezultatele experiențelor sunt mărimi aleatorii independente cu distribuție normală iar procesul de modificare a lui  $Y_i$  trebuie să fie staționar în timp;
- b) în toate punctele spațiului factorial dispersiile valorilor  $Y_i$  sunt omogene;
- c) eroarea apărută la determinarea valorilor  $Y_i$  este mult mai mică în comparație cu erorile

apărute la determinarea variabilelor independente  $x_1, x_2, \dots, x_k$ ;

d) variabilele  $x_1, x_2, \dots, x_k$  trebuie să fie independente liniar.

Determinarea coeficienților de regresie se face utilizând metoda celor mai mici pătrate. În conformitate cu metoda dată suma pătratelor devierilor valorilor experimentale  $\bar{Y}_l$  de la cele prezise de ecuația de regresie  $\hat{Y}_l$  trebuie să tindă spre minimum:

$$SS = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_l - \hat{Y}_l)^2 = \min \quad (3.2)$$

Luând în considerație (3.1) putem scrie:

$$SS = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_l - b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k)^2 = \min, \quad (3.3)$$

unde:  $x_0$  este variabila fictivă.

După diferențierea expresiei (3.3) pentru fiecare coeficient de regresie aparte, după egalarea rezultatelor cu zero și introducerea urătoarelor notații:

$$\sum_{i=1}^N x_i \bar{Y}_l = (iY); \quad \sum_{i=1}^N x_i x_j = (ij) = (ji); \quad \sum_{i=1}^N x_i^2 = (ii). \quad (3.4)$$

primim un sistem de ecuații normale, pe care le scriem în formă de matrice

$$(X^*X)B = X^*Y, \quad (3.5)$$

unde:  $X$  este matricea mărimilor variabile independente;

$B$  – matricea – coloană a coeficienților de regresie;

$Y$  – matricea – vector a rezultatelor măsurătorilor;

$X^*$  – matricea transpusă.

Înmulțind ambele părți ale expresiei (3.5) din stânga cu matricea inversată  $(X^*X)^{-1}$  obținem:

$$(X^*X)^{-1}(X^*X)B = (X^*X)^{-1}X^*Y \quad (3.6)$$

Deoarece:

$$(X^*X)^{-1}(X^*X) = 1$$

rezultă că:

$$B = (X^*X)^{-1}X^*Y \quad (3.7)$$

Ecuația (3.7) poate fi folosită la determinarea estimărilor coeficienților de regresie.

Ținând seama de particularitățile experimentului factorial, pentru analiza de regresie primim următoarele relații [58]:

a) pentru estimările coeficienților de regresie:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ij}X_i}{N}; \quad (3.8)$$

b) pentru estimările erorilor coeficienților de regresie:

$$\sigma^2\{b_i\} = \frac{\sigma^2\{Y\}}{N}; \quad (3.9)$$

c) pentru suma remanentă a pătratelor:

$$S_R = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - N \sum_{i=0}^K b_i^2; \quad f_R = N - k - 1. \quad (3.10)$$

unde:  $k$  este numărul coeficienților de regresie semnificativi în ecuația obținută.

Datorită faptului că matricea (3.7) este ortogonală, covariațiile  $cov\{b_{ij}\}$  sunt egale cu zero. Din această cauză toți coeficienții de regresie se determină independent unul de altul. Datorită acestui fapt, dacă un coeficient oarecare va fi ne semnificativ, acesta poate fi omis fără a recalcula ecuația de regresie.

Determinarea nivelului de semnificație a coeficienților de regresie  $b_i$  se face cu ajutorul criteriului  $t$  Student [58]:

$$t = \frac{b_i \sqrt{N}}{S\{Y\}} = \frac{b_i}{S\{b_i\}} \quad (3.11)$$

Valoarea criteriului  $t$  obținută cu relația (3.11) se compară cu valorile tabelare ale lui pentru numărul de grade de libertate pentru care a fost determinată eroarea experimentului și pentru nivelul de semnificație egal cu 0,05. În cazul când  $t_{calc} < t_{tab}$  efectul factorului respectiv se consideră egal cu zero iar factorul este omis din cercetările ulterioare.

În a treia fază se determină zona optimului folosind metoda de ascensiune rapidă conform căreia, utilizând ecuația de regresie se efectuează deplasarea în direcția gradientului aproximării liniare până când modelul liniar devine neadecvat.

Dacă nu este găsită zona optimului se mai efectuează o serie de experimente și se determină o altă direcție de ascensiune rapidă. Procesul de ascensiune pas cu pas se face până când se găsește „zona aproximativ staționară”, în care domină coeficienții de regresie care caracterizează efectele de interacțiune. Deplasarea în direcția gradientului pe suprafața de răspuns dă posibilitate de a efectua ascensiunea cât mai rapid. Dar, pe lângă concepția formalizată (planificarea, calculul coeficienților de regresie, mișcarea în direcția gradientului), mai sunt necesare și soluții intuitive și anume: alegerea nivelului de bază și intervalelor de variație a variabilelor, adoptarea soluțiilor după fiecare serie de experiențe și după ascensiunea rapidă.

Zona optimului se cercetează detaliat cu ajutorul planurilor de gradul doi. În rezultatul utilizării acestor planuri se obține o ecuație de regresie care se scrie în felul următor:

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.12)$$

unde:  $\bar{Y}$  este parametrul de ieșire;

$b_{ij}$  – coeficientul ce caracterizează efectul interacțiunii unei perechi de factori;

$b_{ii}$  – coeficientul ce caracterizează efectul pătratic al factorului.

Analiza de regresie a planurilor de ordinul doi dovedește faptul că matricea coeficienților ecuațiilor normale (3.5) nu este diagonală, deoarece nu toate covariațiile  $cov\{b_{ij}\}$  sunt egale cu zero. Din această cauză, estimările coeficienților de regresie trebuie să fie determinate folosind relația (3.7), iar în cazul eliminării efectelor ne semnificative corelate, apare necesitatea de a efectua analiza de regresie consecutivă în următorul mod [45]: mai întâi se elimină cel mai mic efect ne semnificativ și se vor calcula din nou estimările coeficienților de regresie, pentru care  $cov\{b_{ij}\} \neq 0$  și se apreciază nivelul de semnificație statistică a lor; apoi se elimină următorul cel mai mic efect ne semnificativ și se face analiza de regresie la fel ca în primul caz. Analiza de regresie consecutivă se repetă până când sunt eliminate toate efectele ne semnificative.

În ultima fază a cercetărilor se face analiza și interpretarea modelelor matematice obținute prin descrierea zonei aproximativ staționare. Se obține forma canonică a ecuației și se determină tipul suprafeței, iar după cercetarea acesteia se determină valoarea extremală a parametrului de ieșire sau extremumul condiționat.

Modelele polinomiale de tipul (3.12) obținute în rezultatul utilizării metodelor matematice de planificare a experimentului [1] pot servi ca relații de interpolare. În practica de producție însă, pentru a alege regimurile procesului tehnologic, cu scopul obținerii valorilor parametrului de ieșire dinainte date este foarte util de a folosi nomogramele construite pe baza modelelor matematice.

Rezultatele cercetării ecuației de regresie se interpretează în termeni tehnologici și se analizează din punct de vedere al tehnologiei. Se efectuează controlul experimental al rezultatelor și se ia decizia despre utilizarea lor în producție. Trebuie de menționat că metodele matematice de cercetare nu înlocuiesc metodele fizice, chimice și alte metode de cunoaștere tradiționale în tehnologia construcțiilor de mașini și a materialelor de construcție, ci le completează și le dezvoltă asigurând un nivel calitativ nou al cunoștințelor tehnologice.

### **3.1.2. Analiza modelului matematic obținut**

După ce se obține modelul de gradul doi, care descrie adecvat procesul studiat se determina coordonatele zonei optimumului. Conform sursei [5], pentru determinarea coordonatelor punctului extrem se iau derivatele parțiale în raport cu fiecare factor, derivatele obținute fiind egalate cu zero. Rezolvând sistemul de ecuații obținut se determină coordonatele punctului extrem. Existența maximumului sau minimumului în punctul extrem depinde de

semnul derivatelor parțiale de ordinul doi: dacă aceste derivate sunt mai mari ca zero atunci în punctul extrem avem minimum, dacă ele sunt mai mici ca zero, atunci – maximum. Apoi se studiază însușirile suprafeței de răspuns în împrejurimile zonei optimumului. Pentru aceasta se utilizează transformarea canonică, care include următoarele două etape.

Prima etapă constă în transferul începutului coordonatelor în punctul extrem al suprafeței de răspuns. Dacă determinantul principal al acestui sistem este egal cu zero, atunci suprafața nu are centru. În acest caz se poate de transferat centrul de coordonate în punctul cu valoarea cea mai bună a parametrului de optimizare sau nu se transfera deloc. Dacă suprafața are centru, atunci în acest centru se transferă începutul coordonatelor, iar în rezultatul acestei operații în ecuația suprafeței dispar membrii care conțin gradul întâi al factorilor și se schimbă membrul liber ( $B_0$ ). Coeficienții de pe lângă factorii la puterea a doua și de pe lângă interacțiuni sunt invariante față de transfer.

La etapa a doua se efectuează rotirea axelor de coordonate în centrul nou până la coinciderea cu axele principale  $X_i$  ale ecuației de gradul doi. Această transformare conduce la obținerea ecuației de următorul tip (dispar membrii cu produsele duble):

$$\hat{Y} - \hat{Y}_s = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{kk}X_k^2, \quad (3.13)$$

unde:  $\hat{Y}_s$  este valoarea lui  $Y$  în centrul suprafeței  $S$ ;

$\hat{Y}$  – valoarea parametrului de ieșire;

$B_{kk}$  – coeficienții transformați ai ecuației canonice;

$X_k$  – valorile variabilelor codificate în sistemul nou de coordonate;

Forma canonică a modelului este destul de comodă pentru analiză și optimizare, deoarece toate variabilele  $X_i$  intră în ea la pătrat [5]. Deci, schimbarea valorilor  $\hat{Y} - \hat{Y}_s$  depinde nu de direcția de deplasare pe axa  $X_i$  de la punctul central, ci de semnul coeficientului  $B_i$ . Într-adevăr, ieșirea  $\hat{Y} - \hat{Y}_s$  va crește totdeauna dacă  $B_i > 0$  și se va micșora dacă  $B_i < 0$  independent de schimbarea lui  $X_i$  în lungul axelor de la centru.

După ce se determină centrul suprafeței trebuie de stabilit dacă centrul este punctul optim sau nu. În acest scop se utilizează clasificarea suprafețelor de gradul doi funcție de formele lor canonice. În practică este comod de utilizat următoarele rezultate ale clasificării [5]:

- Toți coeficienții ecuației canonice au același semn. În acest caz, în centru este maximumul când  $B_{ii} < 0$  și minimumul când  $B_{ii} > 0$ . Izoliniile suprafeței de răspuns vor fi elipse.
- Coeficienții au semne diferite. Centrul reprezintă un „minimax”. Liniile de contur ale suprafeței de răspuns (izoliniile) reprezintă hiperbole.
- Dacă coeficienții  $B_{11}$  și  $B_{22}$  au același semn și sunt egali între ei, atunci izoliniile reprezintă o familie de circumferințe.



- Dacă  $B_{11}$  și  $B_{22}$  au unul și același semn și  $B_{11}$  este mai mare sau mai mic decât  $B_{22}$ , atunci suprafața de răspuns reprezintă o familie de elipse.
- Dacă  $B_{11}$  și  $B_{22}$  au semne diferite și sunt egali între ei, atunci suprafața funcției de răspuns reprezintă o familie de hiperbole echidistante.
- Dacă  $B_{11}$  și  $B_{22}$  au diferite semne și  $B_{11}$  este mai mare sau mai mic decât  $B_{22}$ , atunci suprafața reprezintă o familie de hiperbole obișnuite (neechidistante).

Se determină unghiul la care trebuie rotite axele coordonatelor pentru ca ecuația să nu conțină membri cu produsul  $x_1x_2$ . Din geometria analitică [5] este cunoscut că dacă este dată o ecuație de gradul doi  $Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$ , atunci unghiul la care trebuie rotite axele de coordonate pentru ca ecuația să nu conțină membri cu produsul  $xy$  se determină cu relația:

$$tg2\varphi = \frac{B}{A - C}, \quad (3.14)$$

Pentru ecuația de regresie de gradul doi, această relație va avea forma

$$tg2\varphi = \frac{B_{12}}{B_{11} - B_{22}} \quad (3.15)$$

Relațiile pentru transformarea coordonatelor la rotirea axelor au forma:

$$x'_1 = x_1 \cos\varphi + x_2 \sin\varphi, \quad (3.16)$$

$$x'_2 = -x_1 \sin\varphi + x_2 \cos\varphi. \quad (3.17)$$

### 3.1.3. Metode particulare și instalații experimentale

Pentru cercetarea experimentală a influenței diferitor parametri asupra rezistenței la amestecare a malaxorului a fost elaborată instalația prezentată în figura 3.1. Instalația reprezintă un malaxor de laborator construit în așa mod ca să fie posibilă montarea ușoară a diferitor organe de amestecare 2 pe arborele 3. La toba malaxorului prin cablul de oțel 5, cu șurubul 4, este unit dinamometrul 6, care măsoară tensiunea în cablul 5. Arborele malaxorului este acționat cu ajutorul manivelei 7. Toba 1 se reazemă pe arborele 3 prin intermediul lagărelor de alunecare 8, iar arborele 3 – pe rama malaxorului prin intermediul rulmenților 9.

Parametrii dinamometrului 6 de tipul DPU-0,02-2 sunt: valoarea unei diviziuni 2N; limitele scării 2...200 N; eroarea relativă 1%. Toba malaxorului are lungimea și diametrul egale cu 300 mm, volumul constituie 25 l.

În procesul înaintării organelor de amestecare materialul este îngrămădit în partea dreaptă a tobei (Fig. 3.1, b) și capătă o suprafață înclinată față de linia orizontului, sub un unghi egal cu

unghiul de taluz natural în mișcare al materialului cercetat. Forța de gravitație a masei de material acționează din centrul de greutate a lui, care se află, în plan transversal, mai la dreapta față de axa de rotire a tobei și formează astfel un moment de rotire îndreptat în direcție inversă direcției de rotire a organului de amestecare. Acest moment se determină cu relația:

$$T = Gl, \quad (3.18)$$

unde:  $G$  este forța de gravitație a materialului, N;

$l$  – distanța de la centrul de greutate al materialului până la axa de rotire a tobei, m.

Când manivela nu este acționată, toba se rotește sub acțiunea forței de greutate a materialului până când nu se echilibrează (Fig. 3.1, a), iar cablul este liber. Când manivela este acționată mai întâi se rotește toba până când nu are loc întinderea cablului (fig. 3.1, b), apoi începe înaintarea organului de lucru prin material cu acționarea dinamometrului prin intermediul cablului.

La rotirea manivelei, mai întâi sunt învinse forțele în rulmenții de reazem ai arborelui, apoi când cablul este deja întins sunt învinse rezistențele în lagărele de alunecare în care se reazemă toba și totodată este învinsă forța de rezistență a materialului. Instalația de experimentare însă, este construită în așa mod că dinamometrul înregistrează doar forța de rezistență a materialului.

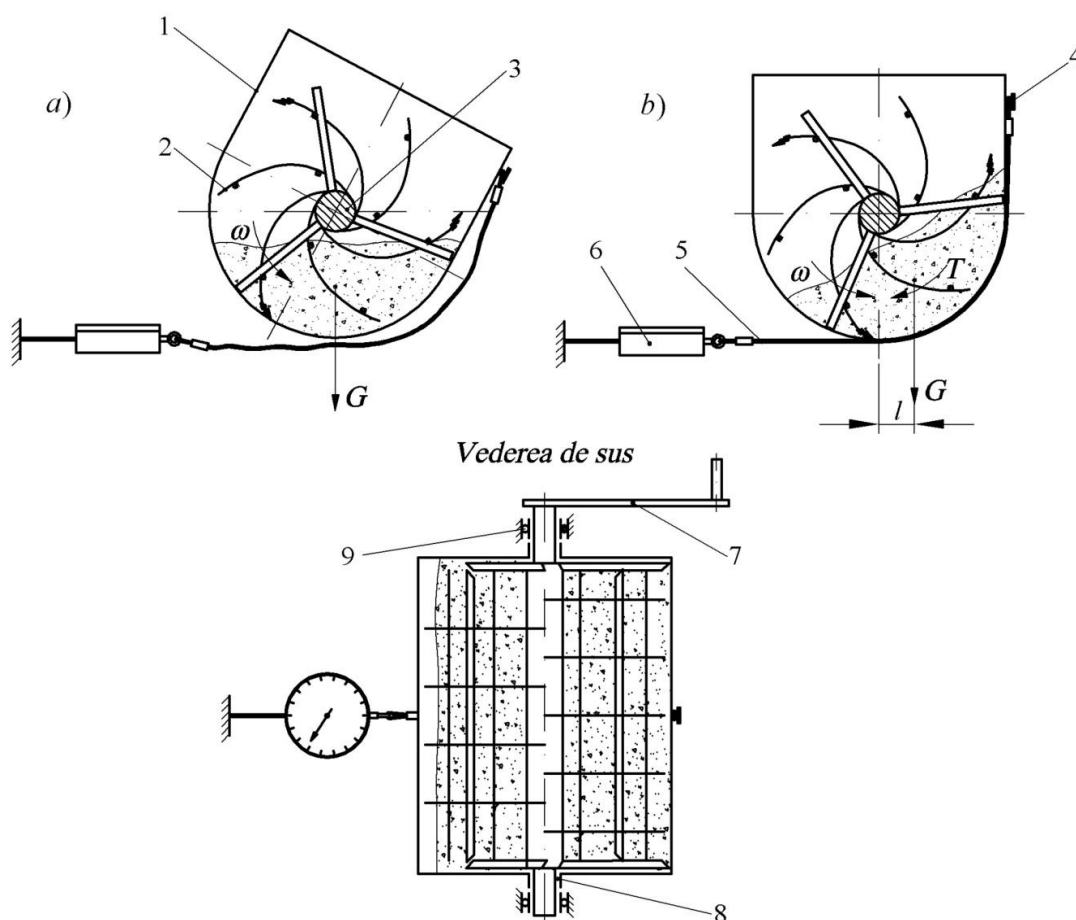


Fig. 3.1. Schema instalației de măsurare a rezistenței la amestecare a organului de lucru:

a) poziția malaxorului în stare liberă; b) poziția malaxorului în procesul de lucru.

Pentru cercetarea interacțiunii barelor în procesul înaintării lor prin material a fost construit un dispozitiv (Fig. 3.2) asemănător celui din figura 3.1. Acesta include arborele 8, care se reazemă prin intermediul unor rulmenți pe rama instalației, jgheabul 6, care se reazemă pe arbore prin intermediul unor lagăre de alunecare, barele 7 fixate pe arbore, manivela 5 pentru rotirea arborelui, rola 3, peste care trece cablul 4, palanul 2 cu raportul  $u_p = 4$  și dinamometrul 1.

Palanul 2 servește pentru micșorarea forței, care acționează asupra dinamometrului de patru ori, majorând astfel tot de 4 ori forța maximă care poate fi înregistrată cu ajutorul dinamometrului.

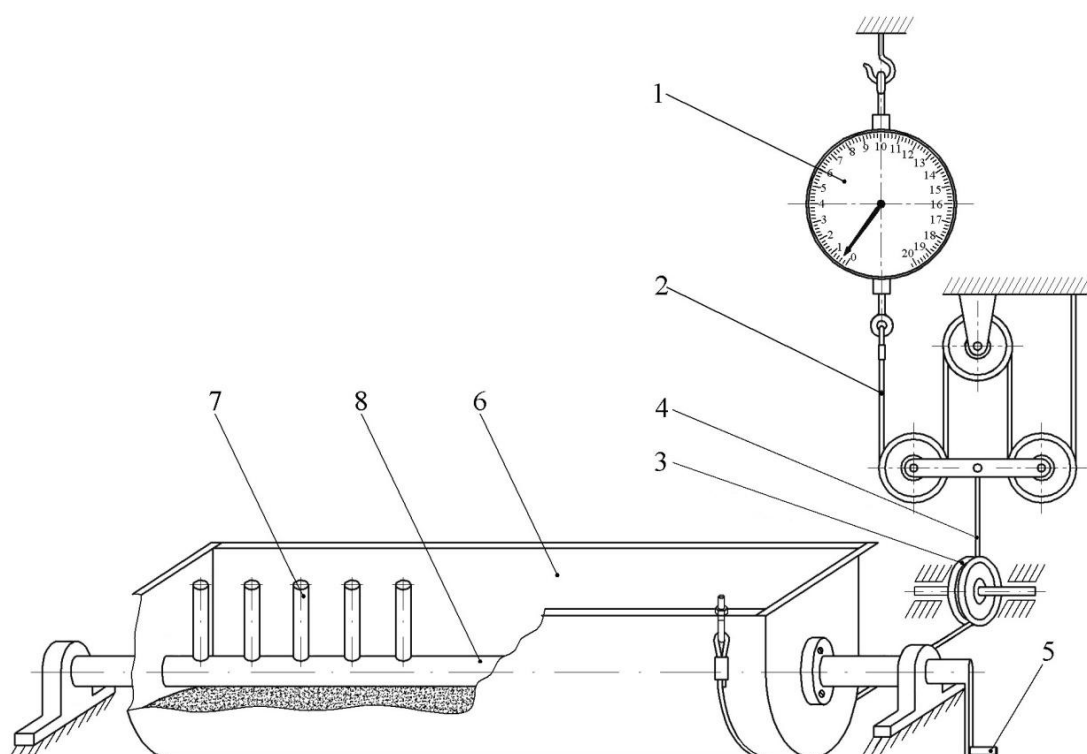


Fig. 3.2. Schema dispozitivului de măsurare a rezistenței la înaintare a barelor prin material.

Rola 3 servește pentru schimbarea direcției de deplasare a cablului 4, pentru a micșora gabaritele instalației în plan orizontal. Funcționarea instalației este asemănătoare cu cea din figura 3.1. Jgheabul instalației are diametrul  $D = 300$  mm, iar lungimea  $L = 1500$  mm. Avantajul acestei instalații constă în posibilitatea cercetării rezistenței la înaintare a barelor funcție de pasul lor, valoarea căruia poate varia într-un diapazon destul de mare.

### 3.2. Rezistența la amestecare a malaxorului cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale

Rezistența la amestecare a malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare depinde în mare măsură de dimensiunile particulelor și de distanța de la capătul organului de lucru până la

suprafața interioară a corpului malaxorului. Pentru toate materialele rezistența minimă se observă când distanța de la capătul barei până la suprafața interioară a tobei este mai mică de 0,5 mm [1], însă menținerea unui joc constant este foarte dificilă, deoarece capătul barei sau răzuitorul fixat pe bară se uzează în procesul exploatării malaxoarelor.

Excluderea jocului dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei și deci excluderea blocării organului de amestecare este posibilă în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale, datorită construcției speciale a răzuitoarelor longitudinale cu element elastic [23] (Anexa 10).

În figura 3.3 este prezentată construcția răzuitorului longitudinal cu element elastic. Acesta este alcătuit dintr-o placă 3 fixată pe capătul barei radiale 4 și cuțitul 1, fixat de placa 2 prin intermediul elementului elastic 2 și elementelor de îmbinare 5. În procesul înaintării barei prin amestec, datorită razei descrise de cuțit mai mare decât raza interioară a tobei, elementul elastic se îndoaie în direcția deplasării organului de amestecare și asigură în așa mod alunecarea cuțitului pe suprafața interioară a tobei fără joc radial [32]. Astfel, este evitată blocarea particulelor între cuțitul răzuitorului și corp.

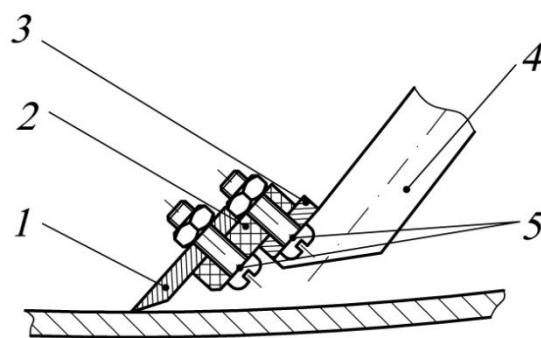


Fig. 3.3. Construcția răzuitorului longitudinal cu element elastic.

Mai întâi a fost cercetată rezistența la înaintare a unei bare cu profil longitudinal curbiliniu înzestrată cu răzuitor cu element elastic. Bara utilizată pentru cercetări a avut unghiul de așchiere  $\delta = 45^\circ$ , iar unghiul de atac al răzuitorului elastic a fost egal cu  $30^\circ$ . Cercetările rezistenței la amestecare au fost efectuate funcție de coeficientul de umplere al tobei și dimensiunea particulelor utilizând instalația prezentată în figura 3.1. Rezultatele experiențelor (media a patru măsurări paralele) sunt prezentate sub formă de tabel – în tabelul 3.1, iar în mod grafic – în figura 3.4. Datele dinamometrului au fost înregistrate pentru suprafața înclinată a materialului față de orizont, care se obține după mai multe treceri ale organului de amestecare prin material.

Observăm că la majorarea coeficientului de umplere a tobei rezistența la înaintare a organului de amestecare crește pentru toate tipurile de materiale cercetate. Aceasta se lămurește prin aceea că datorită creșterii volumului de particule din tobă, cresc forțele de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei și volumul de material acționat de către bară și răzuitor.

În ciuda faptului că particulele rotunde au o densitate mai mică decât nisipul, rezistența la înaintare a barei este mai mare și se datorează acționării de către bară și răzuitor a unui volum

mai mare de material din cauza dimensiunilor mari ale particulelor.

Tabelul 3.1. Rezistența la înaintare, în  $N$  a barei curbilinii cu răzuitor cu element elastic funcție de coeficientul de umplere  $K_u$  și dimensiunea particulelor

Tipul materialului	Dimensiunea particulelor $a$ , în mm	Coeficientul de umplere $K_u$			
		0,1	0,2	0,3	0,4
Particule rotunde*	6...7	1	11	20	110
Particule rotunde	6...7	8	11	33	64
Nisip de râu	$\leq 1,25$	7	12	21	40
Calcar	2,5...5	14	16	51	80
Calcar	5...10	9	21	47	112

\* – rezistența la amestecare a barei cu unghiul de așchiere egal cu  $45^\circ$  fără răzuitor

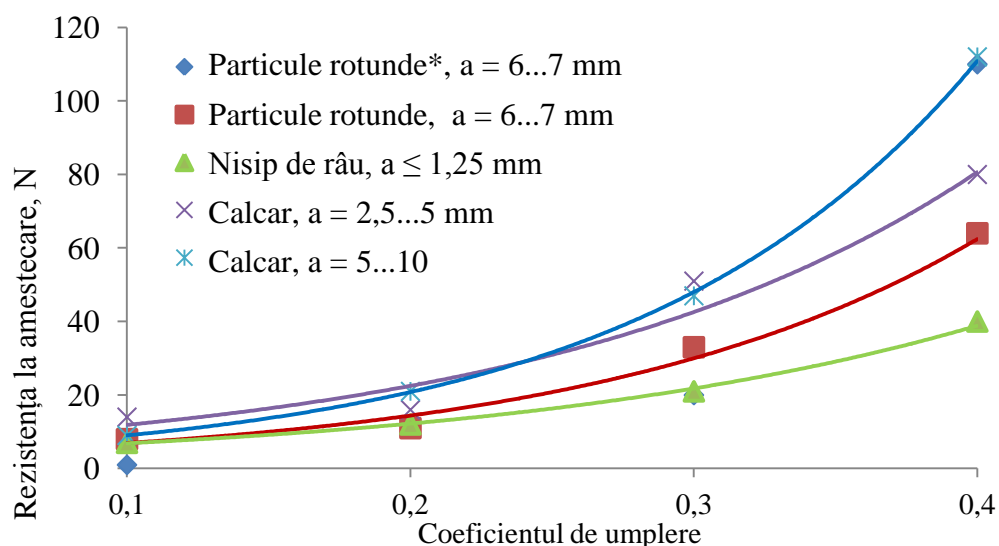


Fig. 3.4. Dependența rezistenței la înaintare a barei curbilinii cu răzuitor cu element elastic funcție de coeficientul de umplere  $K_u$  și dimensiunea particulelor.

La înaintarea barei cu răzuitor prin mediul alcătuit din particule rotunde ( $a = 6...7$  mm), rezistența este mai mare în comparație cu bara fără răzuitor pentru  $K_u = 0,1$  și  $0,3$  cu 7 și respectiv 13 N. Rezistența mai mare la coeficienți de umplere mai mici a barei cu răzuitor, în comparație cu bara fără răzuitor, se datorează forțelor de frecare dintre cuțitul răzuitorului și suprafața cilindrică a tobei, care apar din cauza acționării elementului elastic asupra cuțitului. Totodată, rezistența este mai mare din cauza că răzuitorul acționează un volum mai mare de material decât bara fără răzuitor.

Pentru  $K_u = 0,4$  însă, rezistența barei fără răzuitor este mai mare cu 46 N decât rezistența barei cu răzuitor. Aceasta se datorează faptului că la coeficienți de umplere mai mari, la bara fără

răzuitor se intensifică procesul blocării particulelor de material între capătul barei și suprafața cilindrică a tobei. Particula blocată se deplasează împreună cu bara și apar forțe de frecare suplimentare dintre particula blocată și suprafața cilindrică a tobei. Deci, la coeficienți de umplere mai mari creșterea rezistenței la deplasare a barei prin material datorată blocării este mult mai semnificativă decât creșterea datorată măririi volumului de material acționat.

Apoi a fost cercetată rezistența la înaintare a unui rând longitudinal din șase bare radiale curbilunii cu unghiul de așchiere  $\delta = 45^\circ$  echipat cu un răzuitor longitudinal cu element elastic cu lungimea puțin mai mică decât lungimea interioară a tobei. Acest ansamblu a fost numit grătar. Dependența rezistenței la înaintare a grătarului de coeficientul de umplere a tobei este parabolică. La majorarea coeficientului de umplere rezistența crește, mai întâi lin, apoi brusc. Aceasta se datorează creșterii forțelor de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei și volumul de material acționat de către organul de amestecare.

Și în sfârșit a fost cercetată rezistența la înaintare a organului de lucru al malaxorului alcătuit din șase grătare (trei grătare echipate cu răzuitoare longitudinale cu element elastic, iar altele trei – cu răzuitoare radiale simple). Rezistența organului de lucru cu șase grătare este cu mult mai mică decât rezistența unui grătar. Pentru coeficientul de umplere  $K_u = 0,3$  și piatră spartă ( $a = 5 \dots 10$  mm) rezistența la înaintare a unui grătar este de 300 N, pe când rezistența la deplasare a organului de lucru cu șase grătare prin același material constituie numai 208 N. Deci, rezistența unui grătar este mai mare decât rezistența organului de lucru cu șase grătare de 1,44 ori. Acest fenomen se explică prin aceea că acționarea concomitentă a materialului de către mai multe grătare conduce la interacțiunea lor prin intermediul particulelor, la intersecția zonelor de acțiune a barelor, la afânarea materialului și micșorarea densității aparente.

Măsurările rezistenței la amestecare au fost efectuate conform planului D – optimal [73] pentru doi factori (tabelul 3.2):  $x_1$  – coeficientul de umplere a tobei cu amestec ( $\tilde{x}_1 = 0,3 \pm 0,1$ );  $x_2$  – dimensiunea particulelor ( $\tilde{x}_2 = 3,9 \pm 3,6$  mm). Metodica efectuării cercetărilor și instalația de experimentare (Fig. 3.1) sunt prezentate în § 3.1. Diametrul barelor a fost 10 mm, cu unghiul de așchiere egal cu  $45^\circ$ .

Aprecierea omogenității dispersiilor planului a fost efectuată utilizând criteriul Cochran. Deoarece  $G = 0,258 < G_{teor} = 0,47$  ( $N = 9, f = 2$ ) concludem că dispersiile sunt omogene.

A fost obținută următoarea ecuație de regresie:

$$Y = 228,4 + 34,17x_1 + 50,17x_2 + 17,25x_1x_2 - 1,2x_1^2 - 69,2x_2^2. \quad (3.19)$$

Pentru verificarea semnificației coeficienților de regresie au fost determinate valorile lor critice utilizând relația:

$$b_{cr} = tS\{b_i\}, \quad (3.20)$$

unde:  $b_{cr}$  este valoarea critică a coeficienților de regresie;

$t$  – criteriul Student care se alege din tabel [73] în funcție de numărul de grade de libertate

$f = n - 1$  și nivelul de semnificație  $\alpha = 5\%$ ; aici  $n$  – numărul de experiențe paralele ( $n = 3, f = 2, t = 4,403$ );

$S\{b_i\}$  – devierea medie pătratică a coeficienților de regresie [73].

Tabelul 3.2. Planul D – optimal pentru doi factori și rezultatele experiențelor

Nr. crt	$x_1$	$x_2$	Rezistența, $N$				Dispersia
			$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$\bar{Y}$	
1	+1	+1	265	255	269	263	52
2	+1	-1	120	115	134	123	97
3	-1	-1	88	80	84	84	16
4	-1	+1	152	153	160	155	19
5	+1	0	255	260	265	260	25
6	-1	0	200	196	210	202	52
7	0	+1	203	204	217	208	61
8	0	-1	112	121	121	118	27
9	0	0	215	224	224	221	27

Coeficienții de regresie au următoarele valori critice:  $b_{cr.i} = 9,12$ ;  $b_{cr.ij} = 11,2$ ;  $b_{cr.ii} = 15,48$ ;  $b_{cr.0} = 16,7$ . Observăm că toți coeficienții ecuației sunt semnificativi (mai mari decât valoarea lor critică) afară de coeficientul  $b_{11} = -1,2$ , care a fost eliminat din ecuație. În rezultat s-a obținut următoarea ecuație de regresie

$$Y = 228,4 + 34,17x_1 + 50,17x_2 + 17,25x_1x_2 - 69,2x_2^2 \quad (3.21)$$

Dispersia necoresponderii  $S_{ad}^2$  a fost determinată cu relația:

$$S_{ad}^2 = \frac{SS_{rem}}{f_{ad}} = \frac{292,8}{3} = 97,6, \quad (3.22)$$

unde:  $f_{ad}$  este numărul de grade de libertate la determinarea lui  $SS_{rem}$ .

În cazul dat  $f_{ad} = N - k - 1 = 9 - 5 - 1 = 3$  unde  $N$  este numărul de rânduri ale planului de experimentare, iar  $k$  este numărul coeficienților de regresie semnificativi în ecuația obținută.

Criteriul Fischer a fost determinat cu relația:

$$F_{exp} = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{97,6}{27} = 3,6 < F_{tab} = 19 \quad (f_1 = 3; f_2 = 2; \alpha = 0,05) \quad (3.23)$$

unde:  $\alpha = 0,05$  – nivelul de semnificație (probabilitatea depășirii valorii lui  $F_t$ ).

Deoarece valoarea criteriului Fischer calculată pentru planul de experimentare este mai mică decât valoarea tabelară facem concluzia că polinomul obținut descrie adecvat experimentul.

Analizând ecuația de regresie observăm că coeficienții de pe lângă factorii la puterea întâia sunt pozitivi ceea ce dovedește faptul că la majorarea coeficientului de umplere  $x_1$  și a dimensiunii particulelor  $x_2$  rezistența la amestecare crește. Efectul interacțiunii factorilor este mai mic însă semnificativ. Efectul pătratic al factorului  $x_2$  este foarte mare și are semnul minus.

Nomograma din figura 3.5 ne demonstrează că pentru micșorarea rezistenței la amestecare trebuie de micșorat concomitent ambii factori (săgeata din Fig. 3.5).

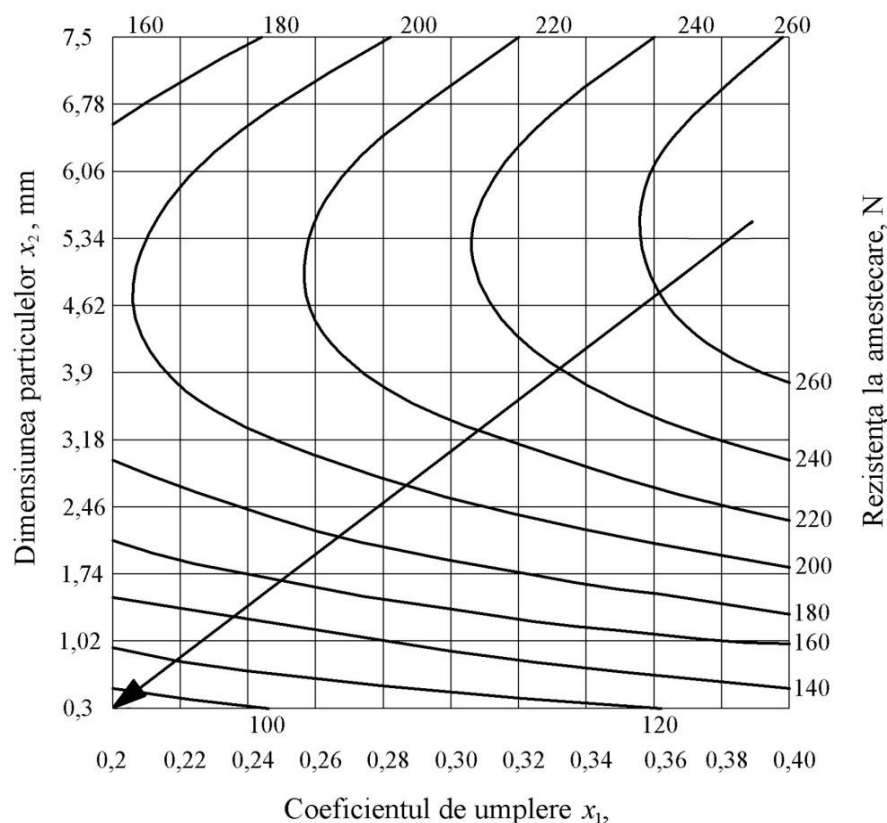


Fig. 3.5. Nomograma pentru determinarea rezistenței la amestecare a malaxorului funcție de coeficientul de umplere  $x_1$  și dimensiunea particulelor  $x_2$ .

Dependența rezistenței la amestecare de fiecare factor aparte este prezentată în figura 3.6, al doilea factor fiind menținut la valoarea zero (codificată). Observăm că la majorarea ambilor factori are loc creșterea rezistenței, dependența  $Y = f(x_1)$  fiind direct proporțională, iar dependența  $Y = f(x_2)$  – curbă. La majorarea lui  $x_2$ , are loc mai întâi creșterea rezistenței la înaintare, apoi când valoarea lui  $x_2$  crește mai sus de 0,4 ( $a > 5,34$  mm) rezistența se micșorează puțin (când  $x_2 = 0,4$ ,  $Y = 237,4$  N iar când  $x_2 = 1$ ,  $Y = 209,4$  N, deci diferența este egală cu 28 N).

O altă soluție constructivă care dă posibilitate de a exclude blocarea particulelor între organele de amestecare și suprafața interioară a tobei constă în utilizarea răzuitoarelor longitudinale și radiale articulate [27] (Anexa 11).



Răzuitorul radial 1 (Fig. 3.7, a) este îmbinat articulat prin intermediul bucșei 3 cu bara radială 4, fixată pe arborele 6 al malaxorului. Răzuitorul împreună cu bucșa este asigurat contra ieșirii cu agrafa 2. În procesul înaintării prin material răzuitorul este rotit și apăsat spre peretele lateral al tobei datorită forței de rezistență a materialului. În așa mod are loc contactarea răzuitorului cu peretele lateral al tobei și excluderea aerului dintre perete și răzuitor. Bara de sprijin 9 fixată în partea din spate a răzuitorului asigură menținerea lui în poziția gata de lucru când acesta iese din material și până la intrarea următoare.

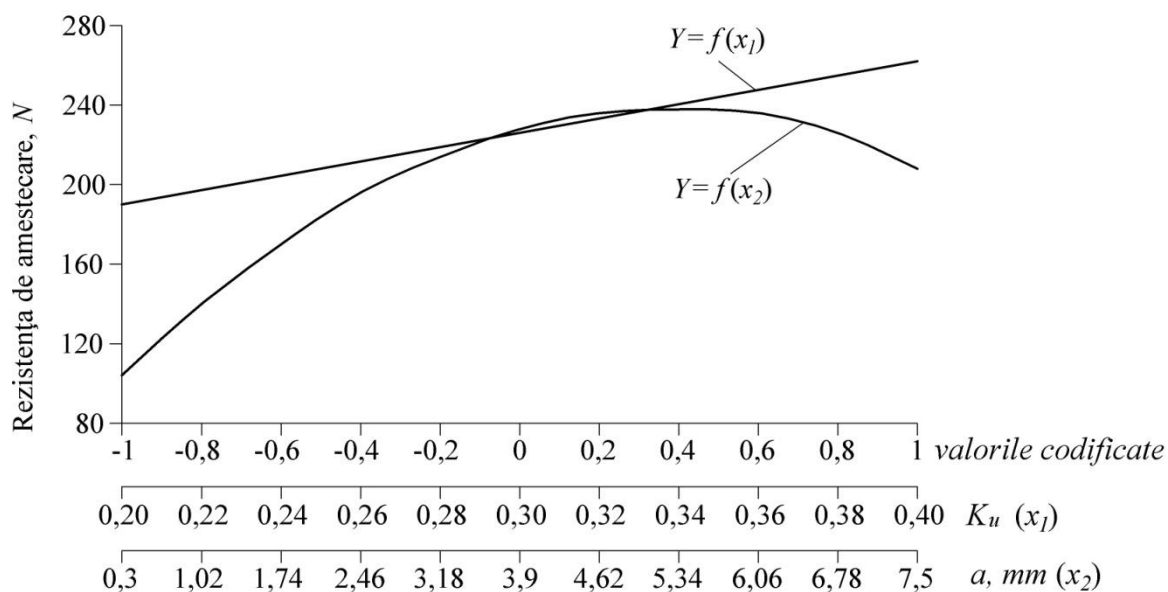


Fig. 3.6. Dependența rezistenței la amestecare de factorii cercetați:  $x_1$  – coeficientul de umplere;  $x_2$  – dimensiunea particulelor,  $mm$ .

Răzuitorul longitudinal 11 (Fig. 3.7, b) este îmbinat articulat prin intermediul bucșei 8, bolțului 12 și piuliței 13 (Fig. 3.7, b, secțiunea A-A) cu capătul barei radiale 9. La înaintarea prin amestec răzuitorul longitudinal este rotit și apăsat spre suprafața cilindrică a tobei datorită forței de rezistență a materialului. Astfel se obține un joc nul între suprafața cilindrică a tobei și capătul răzuitorului. Bucșa 12 asigură menținerea în poziție gata de lucru a răzuitorului după ieșirea lui din amestec până la intrarea următoare. Tubul de cauciuc 10 îndeplinește funcția de protecție împotriva pătrunderii particulelor de material și a lichidului în zona articulației răzuitorului.

A fost cercetată rezistența la înaintare a unui răzuitor radial funcție de coeficientul de umplere și dimensiunea particulelor materialului. Pentru cercetări a fost utilizată instalația prezentată în figura 3.1. Rezultatele cercetărilor sunt indicate în tabelul 3.3, iar reprezentarea lor grafică în figura 3.8.

Cercetările au demonstrat că rezistența la înaintare a răzuitorului crește la majorarea coeficientului de umplere a tobei pentru toate tipurile de material cercetate. Acest fapt poate fi

lămurit prin aceea că la majorarea coeficientului de umplere crește suprafața de frecare a materialului cu toba. De asemenea rezistența la înaintare a răzuitoarelor crește odată cu majorarea dimensiunilor particulelor, pentru toți coeficienții de umplere. Acest fapt se datorează majorării zonei volumetrice de acțiune a răzuitoarelor asupra materialului.

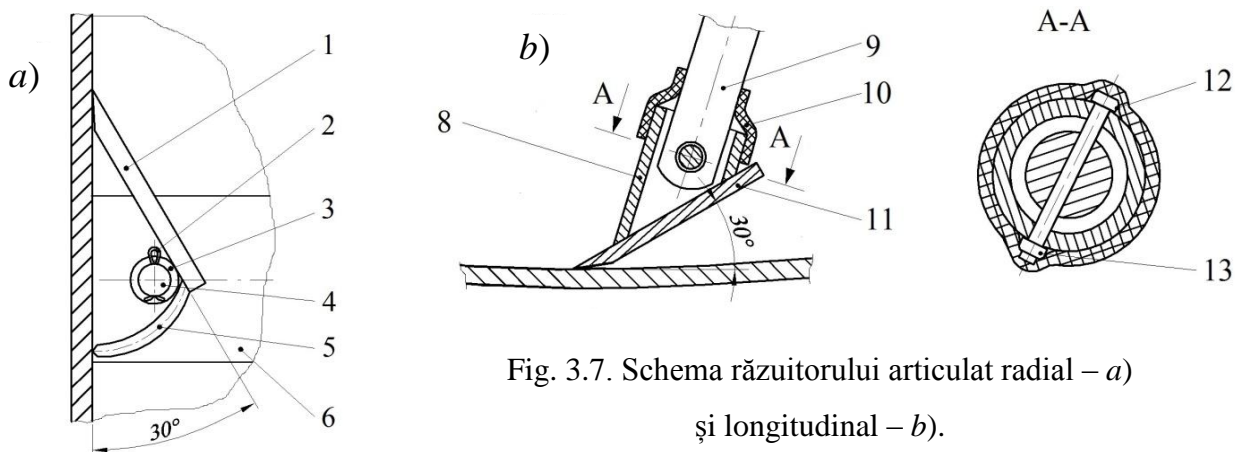


Fig. 3.7. Schema răzuitoarelor articulare radiale – a) și longitudinale – b).

Tabelul 3.3. Rezistența la înaintare, în N a răzuitoarelor radiale funcție de coeficientul de umplere a tobei și dimensiunea particulelor

Coeficientul de umplere, $K_u$	Nisip de râu, $a \leq 1,25 \text{ mm}$	Piatră spartă, $a = 2,5 \dots 5 \text{ mm}$	Piatră spartă, $a = 10 \dots 20 \text{ mm}$
0,1	6,86	8,6	9,8
0,2	18,3	39,2	48,4
0,3	50,5	84	107,2
0,4	119	230,3	239
0,5	211	-	-

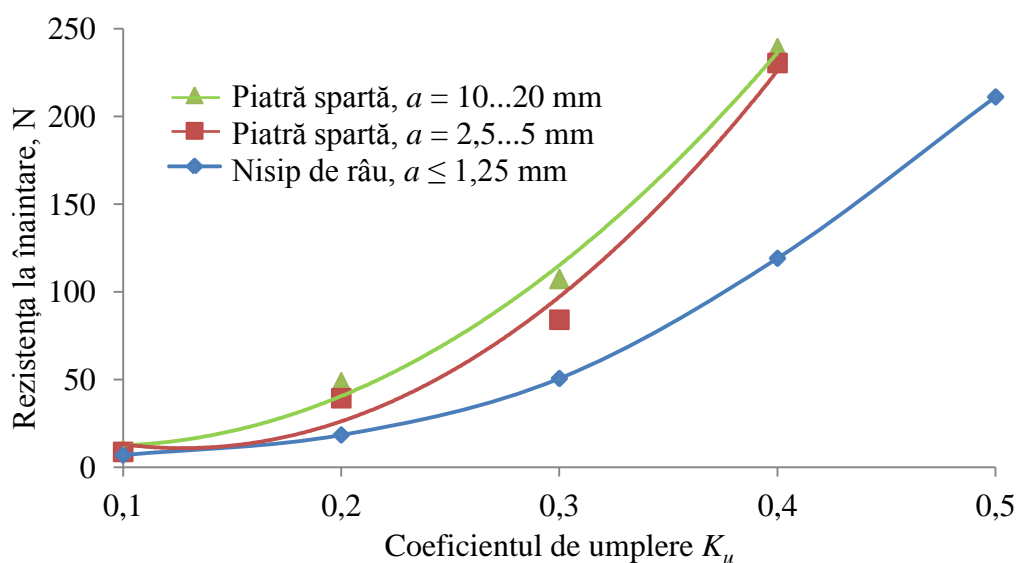


Fig. 3.8. Dependența rezistenței la înaintare a răzuitoarelor radiale funcție de coeficientul de umplere a tobei și tipul materialului.

### 3.3. Rezistența la înaintare a barelor înzestrate cu inel de rigidizare

Cercetările efectuate [35] de conf. univ., dr. V. Lungu, au demonstrat că interacțiunea factorilor lungimea și diametrul barei are o influență destul de mare asupra rezistenței la înaintare prin mediul de lucru. La majorarea diametrului tobei crește nu doar lungimea barei, dar și diametrul ei, deoarece forța de rezistență care acționează asupra unei bare este mai mare din cauza volumului mai mare de material acționat. Prin urmare, la majorarea lungimii și a diametrului barei crește volumul de material acționat de către bară și deci, rezistența ei la înaintare prin amestec.

Micșorarea diametrului barelor ar conduce nu doar la reducerea rezistenței la amestecare, dar și la reducerea consumului de metal și deci, a greutateii malaxorului. De asemenea micșorarea diametrului barelor ar conduce și la majorarea volumului unei șarje de amestec datorită reducerii spațiului ocupat de către bare în interiorul tobei malaxorului.

În procesul funcționării malaxorului forța de rezistență la înaintare este preluată doar de barele care se găsesc în material (aproximativ 1/3 din toate barele), iar forța maximă de rezistență este învinsă de către fiecare rând longitudinal de bare de sine stătător [3]. Dacă forța de rezistență la înaintare s-ar distribui asupra tuturor barelor, atunci ar fi posibil de micșorat secțiunea lor.

Pentru ca forța de rezistență la amestecare să fie distribuită la toate barele, inclusiv și la acelea care nu se află în material, este necesar ca toate barele să fie unite într-un sistem unic. Acest obiectiv este atins în malaxorul [24] (Anexa 12), barele radiale ale căruia sunt unite între ele cu bare longitudinale și inele de rigidizare. Construcția organului de lucru al malaxorului dat este prezentată în figura 3.9.

Barele 5 sunt fixate pe arborele 3 radial și în șah, în șase rânduri paralele cu axa lui. La capetele a trei rânduri de bare 5 sunt fixate radial răzuitoarele 1. Barele și răzuitoarele radiale ale fiecărui rând aparte sunt unite între ele cu bare longitudinale 4. La capetele barelor radiale 5, din rândurile care nu conțin răzuitoare radiale 1, sunt fixate răzuitoare longitudinale 6. Totodată, toate rândurile de bare radiale sunt unite între ele cu inele de rigidizare 2.

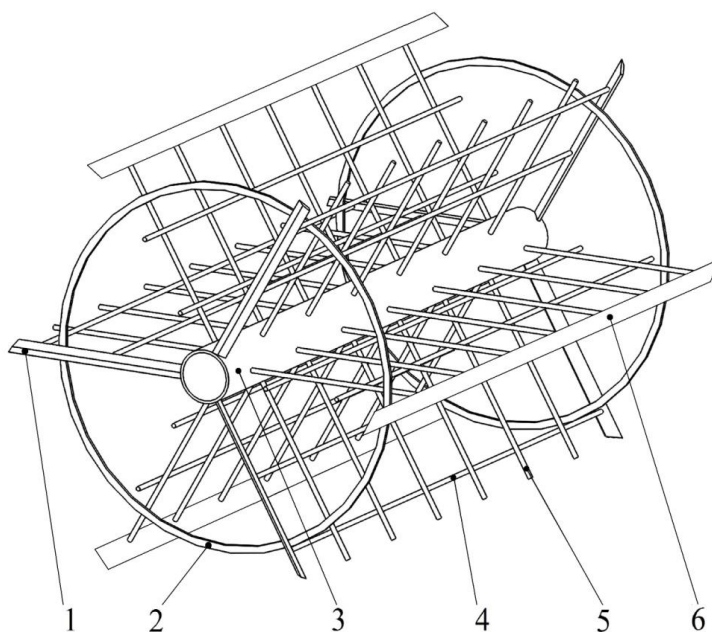


Fig. 3.9. Malaxor cu bare înzestrate cu inele de rigidizare.

A fost cercetată rezistența la înaintare a trei bare radiale fixate circular și echidistant pe arbore, axele cărora formează un plan perpendicular cu axa arborelui. Rezistența la înaintare a fost cercetată cu ajutorul instalației prezentate în figura 3.1, funcție de diametrul barelor  $d$ , coeficientul de umplere a tobei  $K_u$  și dimensiunea particulelor de material  $a$ . Forțele de rezistență s-au înregistrat când suprafața materialului era orizontală. Rezultatele cercetărilor (media a patru măsurări paralele) sunt prezentate sub formă de tabel – în tabelul 3.4, iar în mod grafic – în figura 3.10.

În calitate de mediu de lucru a fost adoptat calcar cu dimensiunea particulelor  $a = 2,5 \dots 5$  și  $15 \dots 20 \text{ mm}$ . În calcar cu  $a = 2,5 \dots 5 \text{ mm}$  barele cu diametrul  $d = 3 \text{ mm}$  s-au îndoit sub acțiunea forței de rezistență a materialului la coeficientul de umplere  $K_u = 0,3$ , iar barele cu  $d = 4 \text{ mm}$  – la  $K_u = 0,4$ . În calcar cu  $a = 15 \dots 20 \text{ mm}$  barele cu  $d = 6 \text{ mm}$  au cedat la  $K_u = 0,5$ . Barele cu diametrul egal cu 8 și 10  $\text{mm}$  au rezistat în cele mai grele condiții ale experimentului.

La următoarea etapă a experimentului barele cu diametrul egal cu 6  $\text{mm}$  au fost unite între ele cu un inel de rigidizare. Apoi acestea au fost supuse din nou încercărilor în calcar cu  $a = 15 \dots 20 \text{ mm}$  și  $K_u = 0,5$ , iar de data aceasta, barele cu diametrul egal cu 6  $\text{mm}$  nu s-au îndoit.

Tabelul 3.4. Rezistența la înaintare a barelor, în N

Diametrul barelor, mm	Dimensiunea particulelor, mm			
	$a = 2,5 \dots 5$			$a = 15 \dots 20$
	Coeficientul de umplere a tobei $K_u$			
	0,3	0,4	0,5	0,5
10	104	200	232	384
8	72	144	200	340
6	56	128	154,6	272*
4	34	îndoire	-	-
3	îndoire	-	-	-

\* – bare înzestrate cu inel de rigidizare

Barele înzestrate cu inel de rigidizare au rezistat, datorită faptului că momentul încovoiator care acționează asupra unei bare este de trei ori mai mic decât în cazul barelor fără inel de rigidizare.

Observăm în figura 3.11 că pentru toți coeficienții de umplere și pentru toate dimensiunile particulelor cercetate, odată cu mărirea diametrului barelor de la 3 până la 10  $\text{mm}$  rezistența la înaintare crește liniar. Pentru coeficienți de umplere mai mari, creșterea rezistenței la majorarea diametrului barelor este puțin mai mare. Astfel, la mărirea diametrului barei cu un milimetru pentru  $K_u = 0,3$  și  $a = 2,5 \dots 5 \text{ mm}$  rezistența crește în mediu cu 11,3 N, pentru  $K_u = 0,4$  – cu 18 N, pentru  $K_u = 0,5$  – cu 19,4 N, pentru  $K_u = 0,5$  și  $a = 15 \dots 20 \text{ mm}$  – cu 28 N.

Este cunoscut faptul că rezistența la înaintare prin mediul de lucru a unei bare este aproximativ egală cu rezistența organului de amestecare alcătuit din 33 bare radiale [1]. Rezistența la înaintare a trei bare fixate într-un rând circular și echidistant pe arbore este un pic mai mare, dar aproximativ egală cu rezistența unei singure bare de același fel. Deci, putem concluda că la malaxorul cu organul de amestecare alcătuit din 33 bare radiale, la reducerea diametrului barelor de la 8 mm până la 6 mm și înzestrarea lor cu inele de rigidizare, pentru mediul de lucru alcătuit din particule cu  $a = 15 \dots 20$  mm și  $K_u = 0,5$ , rezistența la înaintare se va micșora cel puțin cu 68 N (tabelul 3.4, ultima coloană), ceea ce constituie 20 %. Iar la reducerea diametrului barelor de la 10 mm până la 6 mm rezistența se va micșora cu cel puțin 112 N, ceea ce constituie 29 %.

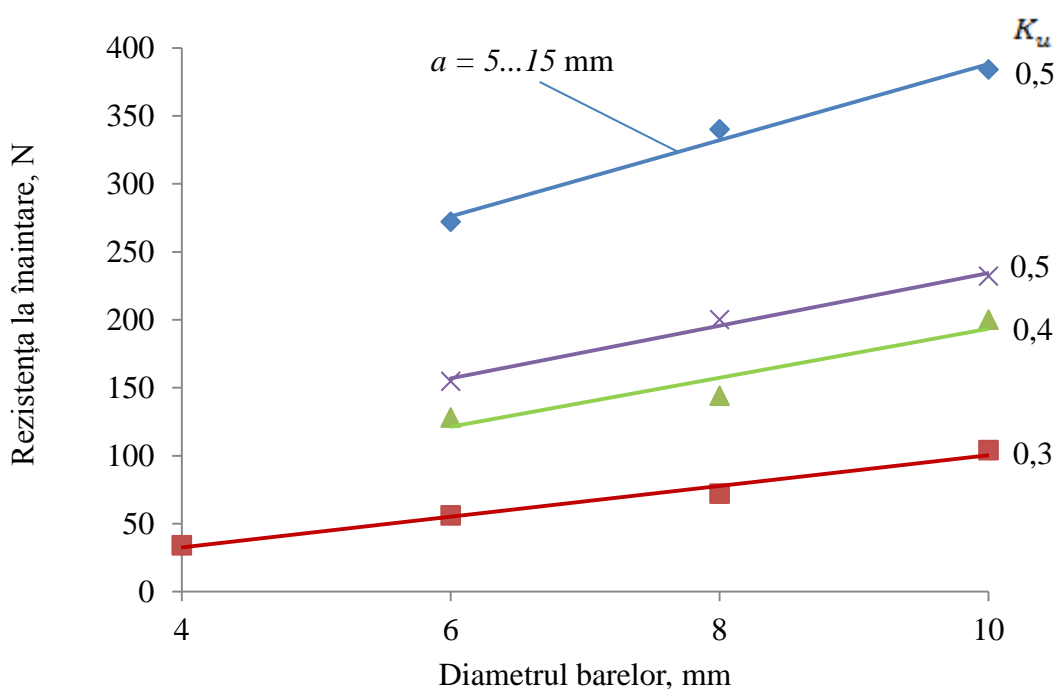


Fig. 3.10. Dependența rezistenței la înaintare a barelor de diametrul lor, de coeficientul de umplere a tobei și de dimensiunea particulelor de material.

### 3.4. Rezistența la înaintare a barelor funcție de situarea lor pe arbore

#### 3.4.1. Interacțiunea barelor cu mediul de lucru

Într-un mediu material particulele constitutive interacționează între ele. De aceea o perturbație produsă într-un punct oarecare determină excitarea particulelor din apropiere. Procesul de propagare a unei perturbații într-un mediu dat reprezintă o undă, care poate fi longitudinală și transversală.

O influență importantă asupra decurgerii procesului de amestecare are interacțiunea între bare, care are loc prin intermediul câmpurilor fizice de particule. Acțiunea reciprocă între două și mai multe bare influențează direct asupra rezistenței la înaintare a barelor prin mediul de lucru și asupra procesului de deplasare relativă a particulelor. Zona de acționare a barei asupra materialului depinde atât de dimensiunile secțiunii barei cât și de granulozitatea amestecului.

Cu scopul scoaterii în evidență a interacțiunii barelor care se produce prin intermediul materialului situat în tobă a fost cercetată influența numărului de bare și a pasului lor longitudinal asupra rezistenței la înaintare, barele fiind amplasate pe suprafața arborelui pe o linie paralelă cu axa lui. Cercetările au fost efectuate cu ajutorul instalației prezentate în figura 3.1. Mediul de lucru a fost adoptat calcar cu dimensiunile particulelor  $a = 2,5 \dots 5$  mm, coeficientul de umplere al jgheabului a fost ales  $K_u = 0,3$ . Experimentele au fost efectuate utilizând bare drepte cu diametrul  $d = 10$  mm. Rezultatele cercetărilor (media a patru măsurări paralele) sunt indicate în tabelul 3.5 iar pe baza lor a fost construit graficul prezentat în figura 3.11.

Observăm că 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 ceea ce se datorează faptului că barele împing materialul din fața lor fără divizarea lui în șuvoaie. La majorarea pasului barelor până la 20...30 mm rezistența la înaintare crește datorită acționării unei zone mari de material din fața barelor, deoarece particulele nu pot trece prin spațiul îngust dintre bare. La majorarea de mai departe a pasului barelor particulele deja încep să treacă printre bare, rezistența micșorându-se foarte simțitor. Rezistența atinge valoarea minimă când pasul este egal cu 60...70 mm și se datorează faptului că particulele de material trec printre bare, iar acestea acționează deja un volum mai mic de particule.

Tabelul 3.5: Rezistența la înaintare, în  $N$  funcție de numărul de bare și pasul lor longitudinal (la numitor este prezentată rezistența raportată la o bară din cele situate în material.)

Nr. de bare	Pasul barelor, mm														
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	160	180	240	320	450	540
2	154	182	170	155	144	127	133	139	146	154	146	172	176	194	202
	77	91	85	78	72	64	67	70	73	77	73	86	88	97	101
3	221	266	240	212	221	179	196	178	190	210	204	238	252	248	-
	74	89	80	71	74	60	65	59	63	70	68	79,3	84	82,6	-
4	252	290	310	250	229	220	243	223	244	260	268	301	318	-	-
	63	73	78	63	61	55	61	56	61	65	67	75,2	79,5	-	-
5	303	328	361	278	267	250	294	265	288	300	306	356	-	-	-
	61	66	72	56	53	50	59	53	58	60	61,2	71,2	-	-	-

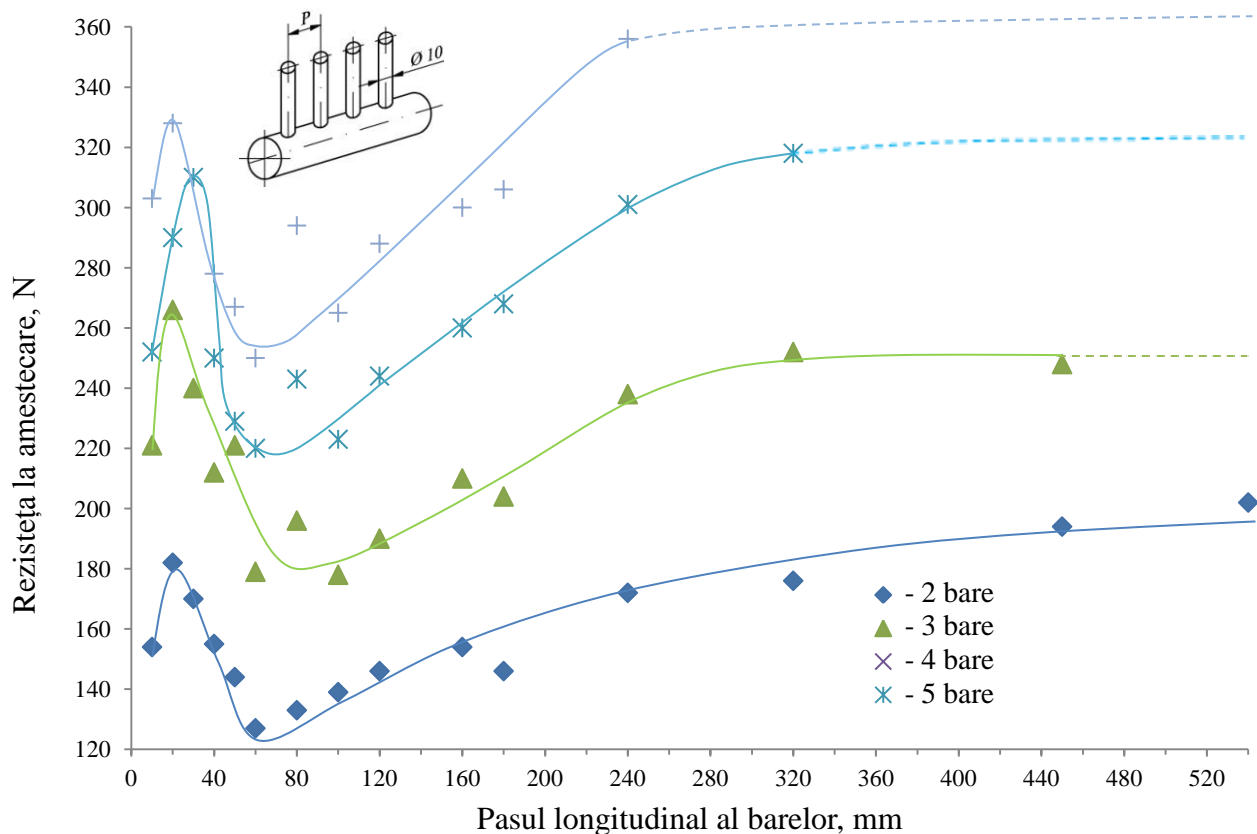


Fig. 3.11. Dependența rezistenței la înaintare de pasul longitudinal al barelor și numărul lor pe arbore.

Valoarea minimă a rezistenței la înaintare se observă când raportul  $p/d$  este egal cu 6...7 ( $p$  - pasul dintre bare,  $d$  - diametrul barei). 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...320 mm pentru toate barele 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.

### 3.4.2. Rezistența la amestecare a malaxorului cu decalaj circular și longitudinal al barelor

Este cunoscut faptul că la majorarea treptată a numărului de bare pe arbore, fixate pe o linie elicoidală cu decalajul circular dintre bare egal cu  $60^\circ$ , rezistența la înaintare mai întâi se

micșorează [1], apoi crește lin, iar după adăugarea barei a șaptea, care se situează pe una și aceeași linie paralelă cu axa arborelui cu prima bară (bara care încheie prima spirală), rezistența crește brusc.

Creșterea bruscă a rezistenței se lămurește prin faptul că bara a șaptea este situată la o distanță față de prima bară la care zonele lor de acționare nu interacționează, iar barele respective trec în același timp prin material dar înving de sine stătător rezistența opusă de acesta [1].

La mărirea de mai departe a numărului de bare rezistența la înaintare crește neesențial, însă la adăugarea barei a 13-ea, care încheie a doua spirală și care se situează pe o linie (paralelă cu axa arborelui) cu prima și a 7-ea bară, rezistența crește brusc. Aceleași procese se repetă și la următoarele spire ale liniei elicoidale pe care sunt amplasate barele [1].

Majorarea bruscă a rezistențelor are loc atunci când în material intră concomitent barele care se găsesc la începutul și la finele fiecărei spire, adică care se găsesc pe aceeași 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 rezistența maximă la fiecare bară să apară în momente diferite, rezistența totală la înaintare se va micșora.

Reieșind din această ipoteză a fost cercetată rezistența la înaintare a două bare funcție de decalajul lor circular și longitudinal [7] cu scopul de a scoate în evidență influența poziției barelor pe arbore asupra procesului studiat. Cercetările au fost efectuate utilizând instalația prezentată în figura 3.1, fiind modificat decalajul circular al barelor  $\Delta\alpha$  de la 0 până la  $360^\circ$  (cu pasul egal cu  $10^\circ$ ) și menținând constant decalajul longitudinal  $\Delta l$  (100, 180 și 260 mm).

Pentru efectuarea cercetărilor pe arborele instalației (poziția 5 pe desenul din figura 3.12) a fost sudată bara 1, apoi a fost montată brățara 3 pe care a fost sudată bara 2. Brățara 3 împreună cu bara 2 era fixată în poziția necesară cu ajutorul șuruburilor 4. Decalajul longitudinal și circular se modifica prin deplasarea brățelei în direcție axială și prin rotirea ei în jurul arborelui.

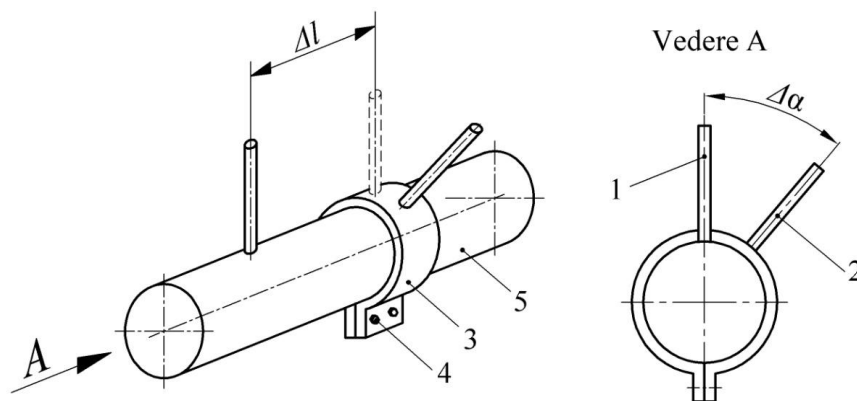


Fig. 3.12. Schema instalării a două bare pe arborele instalației de experimentare cu posibilitatea schimbării decalajului lor circular  $\Delta\alpha$  și longitudinal  $\Delta l$ .



Factorii menținuți la nivel constant în procesul efectuării cercetărilor au fost: diametrul barelor  $d = 10 \text{ mm}$ ; umiditatea materialului  $W = 4 \%$ ; coeficientul de umplere a tobei  $K_u = 0,4$ ; mediul de lucru – nisip de râu cu dimensiunea particulelor  $a \leq 1,25 \text{ mm}$ ; suprafața materialului din jgheab – înclinată, obținut după cinci rotații ale arborelui. Rezultatele obținute sunt indicate în tabelul 3.6, iar pe baza lor a fost construit graficul prezentat în figura 3.13.

Observăm (Fig. 3.13) că la *decalajul longitudinal egal cu  $\Delta l = 100 \text{ mm}$* , odată cu majorarea decalajului circular rezistența la înaintare a barelor se micșorează. La decalajul de zero grade rezistența este de 148 N, iar la decalajul de  $50^\circ$  rezistența cade până la 104 N. Încetarea micșorării rezistenței are loc la decalajul egal aproximativ cu  $90^\circ$ . Valori maxime ale rezistenței la decalaje mici se datorează însumării valorilor mai mari ale rezistenței celor două bare.

La decalaj circular mare valorile maxime ale rezistențelor barelor se deosebesc semnificativ. Când prima bară învinge rezistența maximală bara a doua de abia intră în material și suma rezistențelor lor este mai mică decât în cazul când unghiul dintre bare este mic.

Tabelul 3.6. Rezistența la înaintare, în  $N$  a două bare cu decalaj circular și longitudinal

Decalajul circular $\Delta\alpha$ , grade	Decalajul longitudinal $\Delta l$ , mm			Decalajul circular $\Delta\alpha$ , grade	Decalajul longitudinal $\Delta l$ , mm		
	100	180	260		100	180	260
0	148	180	184	200	96	88	107
10	143	176	182	210	94	98	106
20	128	172	172	220	95	100	104
30	127	166	164	230	97	100	102
40	127	158	153	240	94	106	104
50	104	148	150	250	96	107	110
60	111	124	142	260	94	114	112
70	104	110	136	270	96	116	113
80	102	100	130	280	103	118	120
90	96	100	124	290	102	122	126
100	94	100	116	300	112	132	124
110	95	100	106	310	105	137	126
120	94	98	102	320	120	147	132
130	96	99	102	330	129	155	142
140	93	100	102	340	131	170	157
150	94	101	101	350	144	176	177
190	95	89	104	360	148	180	187

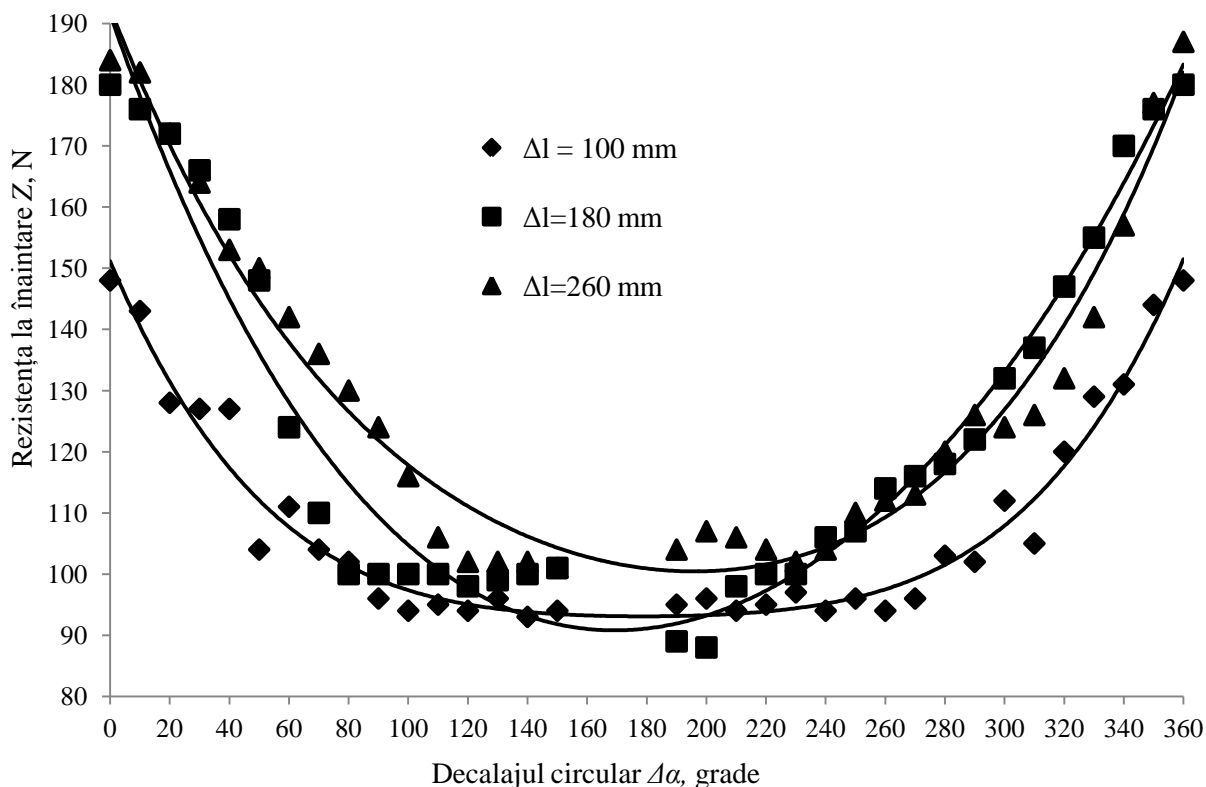


Fig. 3.13 Dependența rezistenței la înaintare a două bare de decalajul lor circular  $\Delta\alpha$  pentru trei decalaje longitudinale:  $\Delta l = 100$  mm;  $\Delta l = 180$  mm;  $\Delta l = 260$  mm.

Majorarea de mai departe a decalajului demonstrează că rezistența la înaintare practic nu se schimbă și este egală cu 94 N. Aceasta se lămurește prin aceea că la trecerea primei bare prin material a doua trece prin aer, deoarece coeficientul de umplere este  $K_u = 0,4$ . Începând cu unghiul de decalaj egal cu  $270^\circ$  începe să crească și rezistența la înaintare a barelor. Are loc coincidența aflării barelor în material, deci apare și o rezistență mai mare. Rezistența crește până când unghiul  $\alpha$  devine egal cu  $360^\circ$ , deci la decalajul de zero grade.

*Decalajul longitudinal  $\Delta l = 180$  mm.* Ca și în cazul premergător, majorarea decalajului unghiular conduce la micșorarea rezistenței la înaintare a barelor. La decalajul de zero grade rezistența este de 180 N, iar la decalajul de  $50^\circ$  se micșorează până la 148 N. Încetarea micșorării rezistenței are loc la decalajul de  $80^\circ$ . Majorarea de mai departe a decalajului demonstrează că rezistența la înaintare practic nu se schimbă și este egală aproximativ cu 100 N. Începând cu unghiul de decalaj egal cu  $250^\circ$  începe să crească și rezistența la înaintare a barelor.

*Decalajul longitudinal  $\Delta l = 260$  mm.* Procesul de schimbare a rezistenței cu creșterea decalajului circular se repetă, însă valorile rezistențelor sunt mai mari. Rezistențe mari la decalaj longitudinal mai mare se lămurește prin aceea că la așa distanțe interacțiunea barelor prin intermediul materialului se micșorează semnificativ, fiecare bară învinge singură rezistența materialului.

În continuare au fost efectuate cercetări ale rezistenței la înaintare a barelor prin material conform planului D-optimal [73] pentru doi factori (tabelul 3.7):  $x_1$  – decalajul circular ( $\tilde{x}_1 = 65 \pm 65$  grade);  $x_2$  – decalajul longitudinal ( $\tilde{x}_2 = 90 \pm 45$  mm). Factorii menținuți la nivel constant au fost: umiditatea materialului  $W = 4$  %; jocul dintre capătul barei și suprafața interioară a jgheabului  $e = 5$  mm; dimensiunea particulelor  $a \leq 1,25$  mm; diametrul barei  $d = 10$  mm, coeficientul de umplere  $K_u = 0,45$ ; suprafața materialului din jgheab – orizontală.

Au fost calculați coeficienții de regresie și a fost obținut următorul polinom:

$$Z = 158 - 45,3x_1 + 9,33x_2 + 4x_1x_2 + 36x_1^2 + 2x_2^2 \quad (3.24)$$

A fost verificată semnificația coeficienților cu relația (3.20). Au fost obținute următoarele valori critice ale coeficienților de regresie:  $b_{cr.i} = 8,8$ ;  $b_{cr.ij} = 10,8$ ;  $b_{cr.ii} = 15,3$ ;  $b_{cr.0 cr} = 16,1$ . Observăm că ne semnificativi sunt coeficienții  $b_{12} = 4$  și  $b_{22} = 2$ . În urma omiterii coeficienților ne semnificativi a fost obținută varianta finală a ecuației de regresie:

$$Z = 158 - 45,3x_1 + 9,33x_2 + 36x_1^2 \quad (3.25)$$

Tabelul 3.7. Planul D-optimal pentru doi factori și rezultatele experiențelor

Numărul experienței	Factorii		Rezistența la înaintare Z, N
	decalajul unghiular $x_1$ ( $\Delta\alpha$ , grade)	decalajul longitudinal $x_2$ ( $\Delta l$ , mm)	
1	+ (130)	+ (135)	156
2	+ (130)	- (45)	146
3	- (0)	- (45)	228
4	- (0)	+ (135)	254
5	+ (130)	0 (90)	145
6	- (0)	0 (90)	236
7	0 (65)	+ (135)	166
8	0 (65)	- (45)	146
9	0 (65)	0 (90)	164

Dispersia necoresponderii  $S_{ad}^2$  a fost determinată cu relația (3.22):

$$S_{ad}^2 = \frac{SS_{rem}}{f_{ad}} = \frac{159}{3} = 53,$$

iar criteriul Fischer – cu relația (3.23):

$$F_{exp} = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{53}{25} = 2,12 < F_{tab} = 19 (f_1 = 3; f_2 = 2; \alpha = 0,05)$$

Deoarece valoarea criteriului Fischer calculată pentru planul de experimentare este mai mică decât valoarea tabelară facem concluzia că polinomul obținut descrie adecvat experimentul.

Analizând ecuația de regresie observăm că coeficientul de pe lângă factorul  $x_1$  la puterea întâi este negativ, iar cel de pe lângă  $x_1$  la pătrat – pozitiv. În ciuda acestui fapt, la majorarea decalajului circular  $\Delta\alpha$  rezistența la înaintare a barelor se va micșora, deoarece ridicarea la pătrat a lui  $x_1$  conduce la micșorarea valorii produsului  $36x_1^2$  și totodată coeficientul pe lângă  $x_1$  la puterea întâi este mai mare față de cel de pe lângă  $x_1$  la pătrat. Coeficientul  $b_2$  este pozitiv, ceea ce înseamnă că la majorarea decalajului longitudinal  $\Delta L$  rezistența la înaintare va crește. Efectele interacțiunii factorilor și cel pătratic al factorului  $x_2$  nu sunt semnificative și nu figurează în ecuație.

În figura 3.14 sunt prezentate dependențele rezistenței la înaintare a două bare în funcție de decalajul circular  $\Delta\alpha$  și longitudinal  $\Delta L$ . Observăm că la majorarea lui  $\Delta\alpha$  ( $x_1$ ) are loc micșorarea rezistenței la înaintare a barelor de la 239,3 N ( $\Delta\alpha = 0^\circ$ ), până la 143,7 N ( $\Delta\alpha = 104^\circ$ ). De la  $\Delta\alpha = 104^\circ$  până la  $\Delta\alpha = 135^\circ$  rezistența crește puțin și anume de la 144 până la 149 N. Factorul  $x_1$  are cea mai mare influență asupra rezistenței, deoarece coeficientul pe lângă  $x_1$  este cel mai mare ( $b_1 = -45,3$ ). Efectul pătratic al factorului  $x_1$  este destul de mare și dependența rezistenței de  $\Delta\alpha$  reprezintă o parabolă.

Decalajul longitudinal  $\Delta L$  ( $x_2$ ) influențează mai slab asupra rezistenței ( $b_2 = 9,33$ ). La majorarea lui  $\Delta L$  rezistența la înaintare se mărește. Deoarece efectul pătratic a lui  $x_2$  este nesemnificativ dependența  $y = f(x_2)$  reprezintă o linie dreaptă.

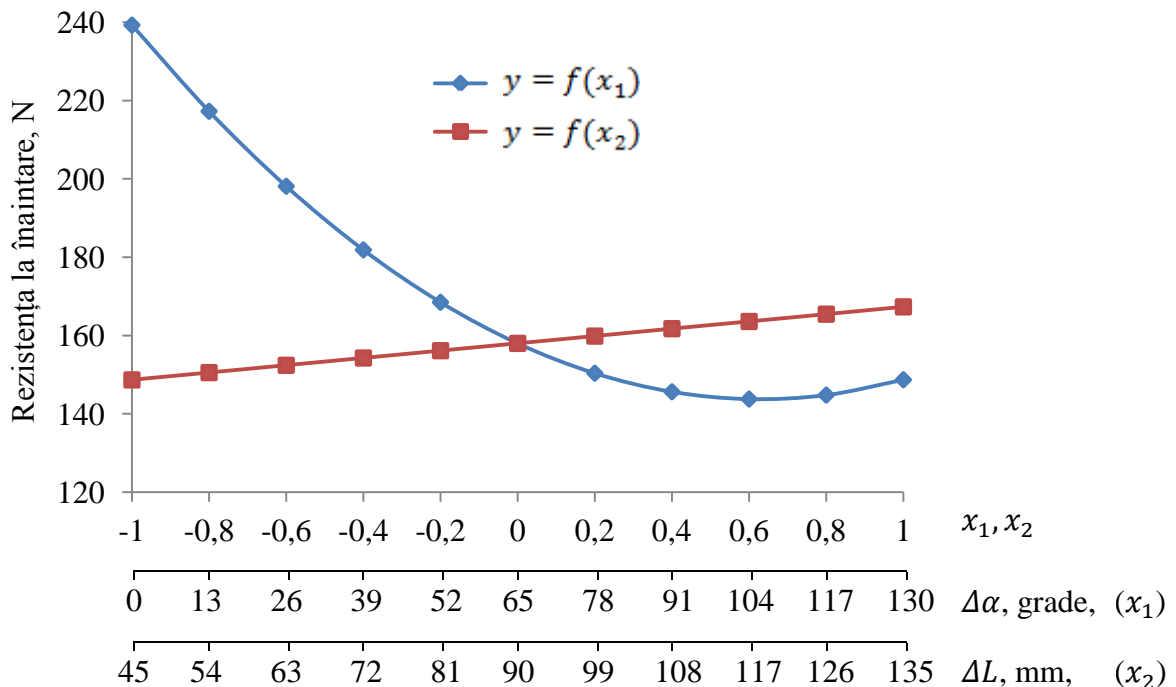


Fig. 3.14. Dependența rezistenței la înaintare a două bare de decalajul circular  $\Delta\alpha$  și cel longitudinal  $\Delta L$ .

Nomograma (Fig. 3.15) reprezintă izoliniile rezistenței la înaintare a barelor prin material. Observăm că pentru a micșora rezistența la înaintare a barelor este necesar de a mări decalajul circular și de a micșora decalajul liniar (distanța dintre bare). Direcția deplasării spre zona de optim (valori mici ale rezistenței) este indicată prin săgeată. Valoarea minimă a rezistenței se obține atunci când  $\tilde{x}_1 = 108^\circ$  și  $\tilde{x}_2 = 45 \text{ mm}$ .

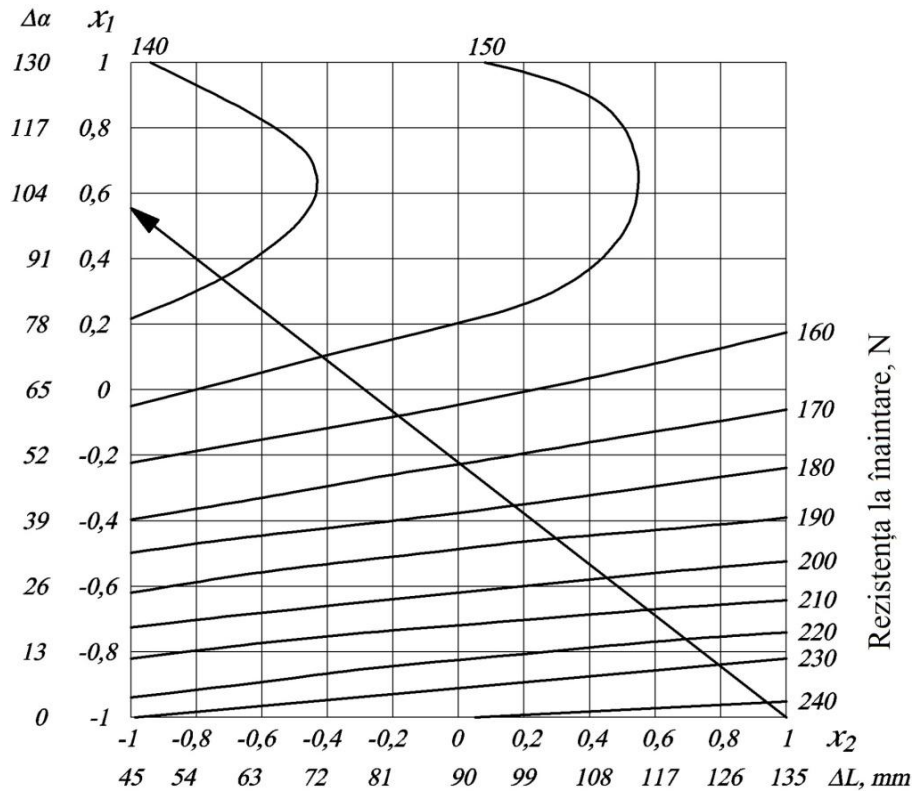


Fig. 3.15. Nomograma pentru determinarea rezistenței la înaintare funcție de decalajul unghiular  $x_1$  și longitudinal  $x_2$  al barelor.

În continuare au fost studiate însușirile suprafeței de răspuns în apropierea zonei optimumului. Pentru aceasta, mai întâi a fost derivată funcția de răspuns a modelului polinomial (3.24) pentru variabilele  $x_1$  și  $x_2$ , iar rezultatele obținute au fost egalate cu zero (condiția necesară pentru existența extremumului):

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{Y}}{\partial x_1} = -45,3 + 4x_2 + 72x_1 = 0 & (3.26) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{Y}}{\partial x_2} = +9,33 + 4x_1 + 4x_2 = 0 & (3.27) \end{cases}$$

Din sistemul de ecuații obținut mai sus a fost determinat:  $x_{1 \text{ opt}} = +0,523$  și  $x_{2 \text{ opt}} = -1,8$ . Valoarea funcției de răspuns pentru punctul zero constituie  $Y(0,0) = 158 \text{ N}$ , iar pentru punctul extrem  $Y(x_1 = +0,523, x_2 = -1,8) = 137 \text{ N}$ .

Apoi au fost determinate derivatele parțiale duble:

$$\frac{\partial^2 \hat{Y}}{dx_1^2} = +72 > 0 \text{ (min)} \text{ și } \frac{\partial^2 \hat{Y}}{dx_2^2} = +4 > 0 \text{ (min)}$$

A fost stabilit că minimumul se găsește în punctul  $M(0,523; -1,8)$ . În continuare au fost determinate pentru punctul extrem valorile factorilor  $x_1$  și  $x_2$  în mărimi naturale, cu relația [5]:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{0i}}{\Delta \tilde{x}_i} \quad (3.28)$$

unde:  $x_i$  este valoarea codificată a factorilor,  $x_i = -1 \dots +1$ ;

$\tilde{x}_i$  – valoarea reală a factorului;

$\tilde{x}_{0i}$  – nivelul de bază al factorului în valoarea reală;

$\Delta \tilde{x}_i$  – semidiapazonul de variere a factorului  $i$  care este egal cu  $\Delta \tilde{x}_i = 0,5(\tilde{x}_{max} - \tilde{x}_{min})$ .

Valorile factorilor în mărimi naturale sunt

$$\tilde{x}_{1min} = x_1 \Delta \tilde{x}_1 + \tilde{x}_{01} = 0,523 \cdot 65 + 65 = 98,995^\circ$$

$$\tilde{x}_{2min} = x_2 \Delta \tilde{x}_2 + \tilde{x}_{02} = -1,8 \cdot 45 + 90 = 9 \text{ mm}$$

Deci, problema de optimizare a fost rezolvată.

Pentru transformarea ecuației (3.24) în forma canonică a fost efectuat transferul începutului coordonatelor în punctul extrem  $(0,523; -1,8)$ :

$$\hat{Y} = 158 - 45,3(x_1 + 0,523) + 9,33(x_2 - 1,8) - 4(x_1 + 0,523)(x_2 - 1,8) + 36(x_1 + 0,523)^2 + 2(x_2 - 1,8)^2,$$

$$\hat{Y} = 136,7 + 36x_1^2 + 2x_2^2 - 4x_1x_2. \quad (3.29)$$

Observăm că după ce a fost transferat începutul coordonatelor în punctul extrem, ecuația (3.28) nu mai conține membri la puterea întâia.

Mai departe a fost determinat unghiul la care trebuie rotite axele coordonatelor, pentru ca ecuația să nu conțină membri cu produsul  $x_1x_2$ . Pentru ecuația (3.29) unghiul de rotire a fost determinat cu relația (3.15):

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{B_{12}}{B_{11} - B_{22}} = \frac{-4}{36 - 2} = -0,117, \quad 2\varphi = -6,67^\circ, \quad \varphi = -3,336^\circ.$$

Utilizând relațiile (3.16) și (3.17) pentru transformarea coordonatelor la rotirea axelor, s-a obținut:

$$\hat{Y} = 136,7 + 36(x_1 \cos\varphi + x_2 \sin\varphi)^2 + 2(-x_1 \sin\varphi + x_2 \cos\varphi)^2 - 4(x_1 \cos\varphi + x_2 \sin\varphi)(-x_1 \sin\varphi + x_2 \cos\varphi),$$

$$\hat{Y} = 136,7 + 36,11x_1^2 - 1,88x_2^2 \quad (3.30)$$

Astfel, ecuația (3.30) reprezintă o familie de elipse, axele principale ale cărora sunt rotite la un unghi  $\varphi = -3,336^\circ$ :

$$\frac{x_1^2}{\left(\sqrt{\frac{1}{36,11}}\right)^2} - \frac{x_2^2}{\left(\sqrt{\frac{1}{1,88}}\right)^2} = -136,7 + Y; (Y = 140,150 \dots 270). \quad (3.31)$$

Prin urmare, suprafața funcției de răspuns reprezintă un paraboloid eliptic la care semiaxele principale sunt deplasate în punctul  $x_1 = 0,523$ ;  $x_2 = -1,8$  față de axele principale de coordonate, și rotite la un unghi  $\varphi = -3,336^\circ$  (Fig. 3.16).

Deoarece coeficienții ecuației canonice  $B_{11}$  și  $B_{22}$  sunt mai mari ca 0, în centrul planului va fi minimumul  $Y = 136,7$  N. Liniile de contur ale suprafeței de răspuns (izoliniile) vor fi elipse. Pentru micșorarea rezistenței la înaintare trebuie de micșorat  $x_1$  de la +1 până la 0 sau de mărit de la  $-1$  până la 0. Tot așa se va proceda și cu  $x_2$ . În figura 3.17 este reprezentată transferarea centrului axelor de coordonate a elipselor în punctul:  $x_1 = 0,523$ ;  $x_2 = -1,8$ .

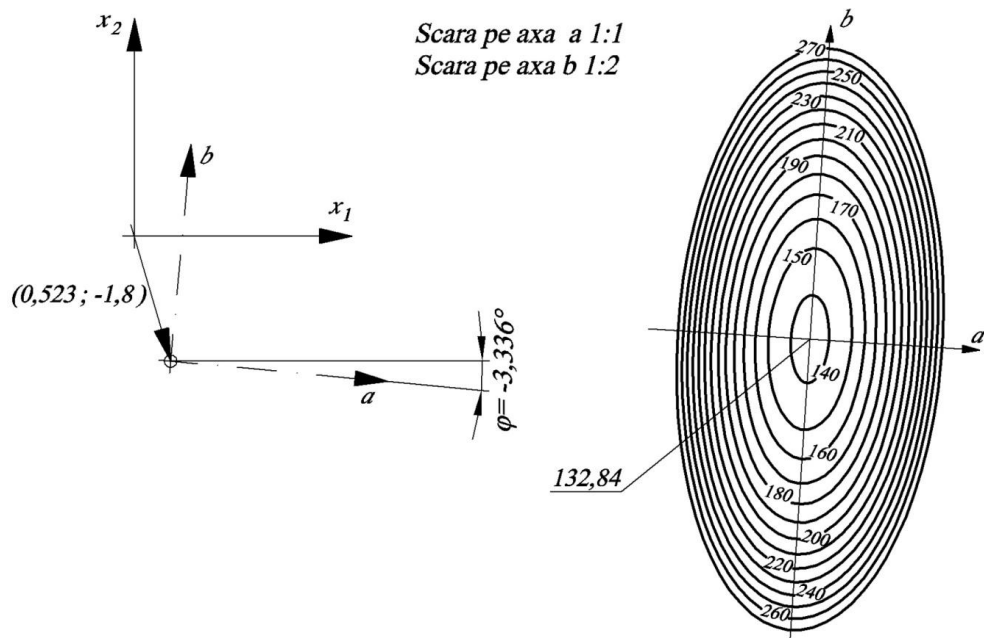


Fig. 3.16. Familia de elipse care descriu dependența lui  $Y$  de  $x_1$  și  $x_2$ .

Pentru determinarea influenței decalajului circular și longitudinal asupra rezistenței la amestecare a malaxorului au fost confecționate trei organe de lucru (module) diferite (Fig. 3.17 și Anexa 13). La primul modul barele au fost situate pe suprafața arborelui în șah (Fig. 3.17, a și Anexa 13, a) cu pasul barelor în rândurile longitudinale  $p = 60$  mm și cu unghiul dintre rândurile longitudinale de bare  $\alpha = 60^\circ$ . Al doilea modul a fost construit cu decalaj al barelor numai circular cu valoarea de  $10,9^\circ$  (Fig. 3.18, b). Al treilea modul a fost confecționat în conformitate cu revendicările brevetului de invenție [26] (Anexa 14), cu decalajul unghiular al barelor egal cu  $10,9^\circ$  și cel longitudinal egal cu 5 mm în stânga și 10 mm în dreapta pentru barele a doua și a treia ale fiecărui rând transversal de bare (Fig. 3.17, c și Anexa 13, b).

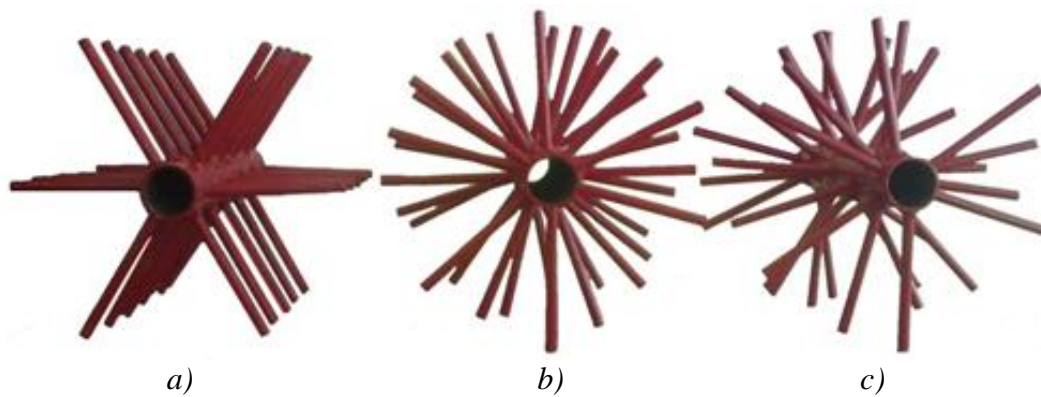


Fig. 3.17. Organe de amestecare (module) ale malaxoarelor cu bare, situate pe arbore în șah fără decalaj circular și longitudinal (a), cu decalaj circular (b), cu decalaj circular și longitudinal (c).

Experiențele au fost efectuate utilizând instalația de experimentare prezentată în figura 3.1, la care a fost adăugat un palan cu raportul  $u_p = 2$  pentru mărirea de două ori a forței maxime măsurate cu dinamometrul. Suprafața materialului la momentul înregistrării forței era înclinată și se obținea după câteva rotații ale arborelui. Rezultatele experimentelor sunt indicate în tabelul 3.8, iar pe baza lor a fost construit graficul prezentat în figura 3.18.

Tabelul 3.8. Rezistența la amestecare, în N a modulelor malaxorului în dependență de coeficientul de umplere a tobei

Tipul organului de lucru și direcția de rotire	Coeficientul de umplere $K_u$			
	0,2	0,3	0,4	0,5
Tradițional	30	70	106	140
Cu decalaj circular cu:	36	72	98	132
Cu decalaj circular și longitudinal:	24	58	84	126

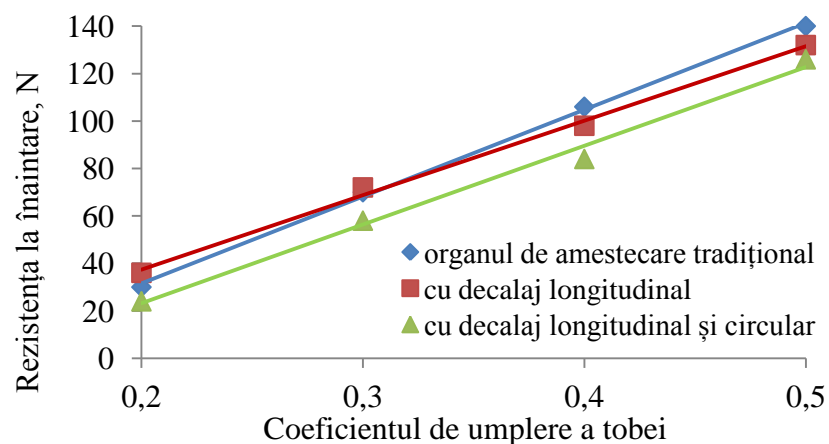


Fig. 3.18. Dependența rezistenței la amestecare a diferitor tipuri de organe de amestecare ale malaxorului de coeficientul de umplere a tobei.



Observăm că dependența rezistenței la amestecare a tuturor modulelor de coeficientul de umplere este practic liniară. Cercetările au dovedit că micșorarea semnificativă a rezistenței la amestecare, în comparație cu modulul tradițional se obține la modulul cu decalaj circular și longitudinal. Micșorarea constituie în mediu 17 % pentru toți coeficienții de umplere. Micșorarea rezistenței se datorează faptului că lipsește acționarea concomitentă asupra amestecului a două bare oarecare.

### 3.5. Concluzii la capitolul 3

- 3.5.1. Utilizarea răzuitorului brevetat cu element elastic dă posibilitate de a exclude blocarea particulelor între cuțitul răzuitorului și suprafața interioară a tobei indiferent de tipul materialului și dimensiunea particulelor.
- 3.5.2. Rezistența la înaintare a unui grătar pentru coeficientul de umplere  $K_u = 0,3$  și piatră spartă ( $a = 5..10$  mm) este de 300 N, iar a organului de lucru cu șase grătare – 208 N, deci de 1,44 ori mai mică. Acest fenomen se explică prin aceea că la acționarea concomitentă a materialului de către mai multe grătare are loc interacțiunea prin intermediul particulelor de material a zonelor de acțiune ale barelor grătarelor vecine, ceea ce conduce la afânarea amestecului și la micșorarea densității aparente a lui.
- 3.5.3. Cercetările efectuate în malaxorul cu bare curbilini cu unghiul de așchiere egal cu  $45^\circ$  și echipat cu răzuitoare cu element elastic au demonstrat că dependența rezistenței la amestecare de coeficientul de umplere este direct proporțională, iar de dimensiunea particulelor – pătratică. La majorarea dimensiunii particulelor rezistența crește, iar când dimensiunea particulelor atinge valori mai mari de 5,34 mm – se micșorează puțin.
- 3.5.4. Creșterea rezistenței la amestecare la majorarea coeficientului de umplere al tobei cu material se datorează creșterii forțelor de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei și acționării a unui volum mai mare de material, iar creșterea rezistenței la majorarea dimensiunii particulei se datorează creșterii zonei de acțiune a barelor și prin urmare a volumului de material acționat de către barele organului de amestecare.
- 3.5.5. Utilizarea inelelor de rigidizare dă posibilitate de a uni toate barele organului de amestecare într-un sistem integrat și de a distribui rezistența la amestecare la toate barele. Datorită acestui fapt poate fi micșorată secțiunea barelor, ceea ce conduce la micșorarea rezistenței la amestecare, consumului de metal și a masei malaxorului. Pentru  $K_u = 0,5$  rezistența la înaintare a barelor cu diametrul  $d = 6$  mm înzestrate cu inel de rigidizare

este mai mică decât a barelor cu diametrul  $d = 10$  mm pentru calcar cu  $a = 2,5 \dots 5$  și  $15 \dots 20$  mm în mediu de 1,45 ori.

- 3.5.6. Există o valoare optimă a pasului barelor situate pe arbore la care rezistența la înaintare a acestora prin calcar cu dimensiunea  $a = 2,5 \dots 5$  mm este minimă:  $p = 60 \dots 70$  mm pentru orice număr de bare. Când valoarea pasului barelor este optimă rezistența la amestecare este mică datorită interacțiunii barelor prin intermediul materialului din tobă, care conduce la majorarea mobilității lui.
- 3.5.7. La pasuri mici ale barelor, rezistența la înaintare este destul de mare ceea ce se datorează faptului că barele împing materialul din înaintea lor fără divizarea lui în șuvoaie. La pasuri mari ale barelor, când interacțiunea zonelor de acționare lipsește, fiecare bară învinge separat rezistențele, iar rezistența totală la înaintare este mare. Valoarea pasului barelor la care lipsește interacțiunea lor reprezintă grosimea transversală a zonei de material acționat de o bară, care este egală cu  $300 \dots 320$  mm pentru diametrul barelor egal cu 10 mm și pentru calcar cu dimensiunea  $a = 2,5 \dots 5$  mm,.
- 3.5.8. Decalajul circular are cea mai mare influență asupra rezistenței la înaintare ( $b_1 = 45,3$ ,  $b_{11} = 36$ ). La majorarea decalajului circular ( $x_1$ ) de la 0 până la  $104^\circ$ , rezistența la înaintare a barelor se micșorează de la 239,3 până la 143,7 N. La majorarea de mai departe a decalajului circular până la  $135^\circ$ , rezistența crește foarte puțin, până la 149 N. Decalajul longitudinal ( $x_2$ ) influențează mai slab asupra rezistenței la înaintare ( $b_2 = 9,33$ ).
- 3.5.9. Suprafața funcției de răspuns a zonei de optim reprezintă un paraboloid eliptic la care semiaxele principale sunt deplasate în punctul  $x_1 = 0,523$ ;  $x_2 = -1,8$  față de axele principale de coordonate, și rotite la un unghi  $\varphi = 3,336^\circ$ . Valoarea minimă a rezistenței la înaintare este în centrul planului și constituie 136,7 N.
- 3.5.10. Dependența rezistenței la amestecare a tuturor modulelor malaxorului de coeficientul de umplere este practic liniară. Micșorarea semnificativă a rezistenței la amestecare, în comparație cu modulul tradițional se obține la decalajul circular și longitudinal al barelor. Micșorarea constituie în mediu 17 % pentru toți coeficienții de umplere și se datorează faptului că lipsește acționarea concomitentă asupra amestecului a două bare oarecare.

## 4. OPTIMIZAREA PROCESELOR DE AMESTECARE ÎN MALAXOARELE DE CONSTRUCȚII

### 4.1. Omogenitatea amestecului obținut în malaxorul gravitațional cu bare

Malaxorul gravitațional cu acțiune ciclică [25] (Anexa 15), în comparație cu malaxoarele gravitaționale cu tobe rotative, dă posibilitate de a intensifica procesul de amestecare datorită majorării energiei potențiale a componentelor amestecului.

Malaxorul (Fig. 4.1) include toba 1 cu secțiune pătrată, organe de lucru 2 care reprezintă grătare compuse din bare încrucișate cu ochiuri mai mari decât dimensiunea celor mai mari bucăți de material, fusuri 3 de reazem a tobei 1 pe rama 4, bușe 5, bușe elastice 6, lăcașe 7, un mâner 8, capace 9 și un vibrator 10 cu oscilații armonice [4].

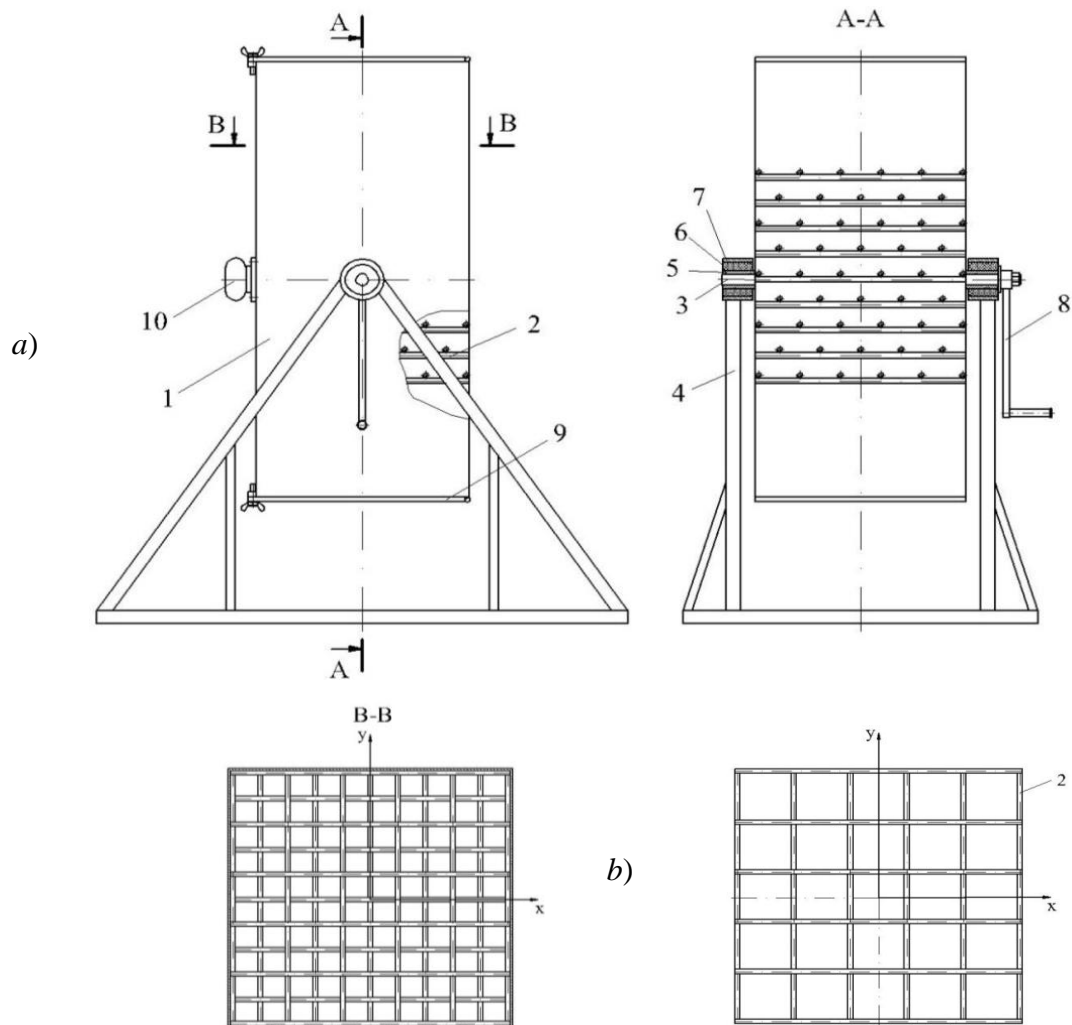


Fig. 4.1. Schema malaxorului gravitațional cu acțiune ciclică: a – vedere generală; b – grătarul de sus.

Primul grătar de sus este compus, spre exemplu, din 6 bare superioare paralele cu axa  $x$  și 6 bare inferioare paralele cu axa  $y$ . Grătarul al doilea de sus este compus din 5 bare superioare paralele cu axa  $x$  și 5 bare inferioare paralele cu axa  $y$ . Grătarele impare repetă construcția primului grătar, iar cele pare – construcția grătarului al doilea. Barele grătarului următor au decalaj în plan față de barele grătarului premergător egal cu jumătate de pas al barelor atât în direcția axei  $x$ , cât și perpendicular pe ea. Capetele tobei 1 formează pâlnii fără organe de amestecare cu orificii de încărcare-descărcare de capăt închise cu capacele 9.

Malaxorul funcționează în modul următor. La rotirea tobei 1 cu mânerul 8 la 180 grade de la poziția inițială în direcția mersului acelor de ceasornic componentele amestecului turnate în pâlnia inferioară a tobei se ridică împreună cu toba datorită forțelor centrifugale mai mari decât forța de gravitație a particulelor. În poziția dată toba se oprește iar forța centrifugală dispare. Toată masa de material sub acțiunea forței de gravitație cade în jos cu viteză crescândă. Au loc procesele de divizarea-îmbinare a fluxurilor de material la fiecare grătar și de migrație a particulelor în toate direcțiile. Apoi materialul se acumulează în pâlnia de jos, după ce iar se efectuează semirotății ale tobei etc.

După amestecarea uscată se introduce lichid la deschiderea capacului 9 de sus se efectuează câteva semirotății ale tobei. Descărcarea se efectuează la deschiderea unuia dintre capacele 9 și pornirea vibratorului 10 fixat pe toba 1 pentru majorarea mobilității amestecului umed. În procesul vibrării forțele de inerție sunt amortizate de bușele elastice 6 rezemate în lăcașurile 7. Rotirea tobei 1 în bușele 5 se efectuează prin intermediul fusurilor 3.

Pentru cercetarea omogenității amestecului obținut în malaxorul gravitațional cu bare a fost construit un malaxor cu dimensiuni mici, destinat pentru efectuarea experiențelor în condiții de laborator. Acesta a fost construit în așa mod, ca să fie posibilă montarea și demontarea cu ușurință a grătarelor.

Pentru cercetarea omogenității amestecului a fost adoptat un material alcătuit din particule care au forma rotundă, densitate egală și dimensiunea  $a = 6 - 7$  mm. Jumătate din particule au fost vopsite într-o culoare, iar cealaltă jumătate în altă culoare.

Pentru aprecierea omogenității amestecului în literatura de specialitate există un șir de indicatori și relații pentru determinarea acestora, mai mulți cercetători [55, 60, 62-64, 88, 100], însă utilizează coeficientul neomogenității amestecului, care se determină cu relația:

$$v_c = \frac{\sigma}{\bar{C}} 100 = \frac{100}{\bar{C}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(C_i - \bar{C})^2}{n-1}}, \quad (4.1)$$

unde:  $v_c$  este coeficientul neomogenității amestecului, %

$\sigma$  – devierea medie pătratică a concentrației componentei cheie în probe, %;

$\bar{C}$  – concentrația medie a componentului cheie în probe, reprezintă media aritmetică a valorilor concentrației componentului cheie din toate probelor extrase, %;

$C_i$  – concentrația componentului cheie în proba  $i$ ;

$n$  – numărul de probe extrase din amestec.

Valoarea teoretică a lui  $\bar{C}$  este egală cu cantitatea componentului cheie, în procente, care a fost dată inițial prin dozare. De exemplu, dacă în malaxor se vor turna 30 % particule ale componentului cheie, atunci valoarea teoretică a lui  $\bar{C}$  va fi egală tot cu 30 %. Concentrația componentului cheie în probe  $C_i$  poate fi determinată utilizând metodele descrise în [80, 99-101, 110, 119].

Concentrația componentului cheie în fiecare probă, în % se determină utilizând relația:

$$C_i = \frac{n_{ci}}{n_{ci} + n_{ai}} 100, \quad (4.2)$$

unde:  $n_c$  este numărul particulelor componentului cheie din proba  $i$ ;

$n_a$  – numărul particulelor componentului auxiliar din proba  $i$ .

Coeficientul neomogenității amestecului reprezintă de fapt coeficientul de variație a concentrației componentului cheie în probe. Cu cât valoarea acestuia este mai mică cu atât amestecul este mai omogen. În lucrarea [60] găsim următoarea clasificare a amestecurilor după omogenitate, în dependență de valoarea coeficientului neomogenității:  $v_c < 5$  % – omogenitate înaltă;  $v_c = 5 - 10$  % – omogenitate bună;  $v_c = 10 - 20$  % – omogenitate satisfăcătoare.

Pentru aprecierea omogenității amestecului nu poate fi utilizată doar media aritmetică a concentrațiilor componentului cheie în probe. De exemplu, avem un amestec constituit din două componente diferite în cantități egale (50 la 50). Admitem că în prima probă s-a obținut valoarea concentrației componentului cheie egală cu 70 %, iar în a doua – cu 30 %. În cazul dat, este clar că amestecul nu este omogen, dar valoarea lui  $\bar{C}$  este egală cu 50 %, adică cu cea teoretică.

Totodată nu putem considera amestecul omogen nici în cazul când valoarea lui  $v_c$  este mică, iar valoarea lui  $\bar{C}$  nu este aproape de cea teoretică. Deci, vom considera amestecul omogen atunci când valoarea lui  $\bar{C}$  va fi aproape de cea teoretică, iar valoarea lui  $v_c$  va fi minimă.

Omogenitatea amestecului preparat în malaxorul gravitațional cu bare a fost cercetată funcție de coeficientul de umplere a pâlniei și numărul de semirotații ale tobei. Pentru efectuarea măsurărilor, mai întâi se înlăturau grătarele din interiorul tobei, după ce s-e diviza spațiul pâlniei inferioare în două părți egale cu ajutorul unui perete vertical. Apoi, în spațiile formate se turnau componentele amestecului în raport de 50 la 50, alcătuite din particule rotunde cu  $a = 6 - 7$  mm și  $\rho = 1400$  kg/m<sup>3</sup>, care se deosebeau după culoare. După încărcarea malaxorului se înlătura

peretele vertical, se introduceau grătarele, se închidea capacul și se efectuau semirotății ale tobei. După fiecare două semirotății se luau patru probe de amestec din fiecare colț al tobei, cu ajutorul unui pahărel de sticlă cu volumul de 75 ml. Într-o probă nimereau în mediu 300 particule. După extragerea probelor se determina valoarea concentrației componentului cheie în fiecare probă, apoi se determina media aritmetică a lor  $\bar{C}$ . Rezultatele măsurărilor sunt prezentate în tabelul 4.1, iar în mod grafic – în figura.4.2.

Când coeficientul de umplere a pâlniei a fost egal cu 0,4 valoarea lui  $\bar{C}$  după primele două semirotății ale tobei a fost egală cu 48,5 %, deci foarte aproape de valoarea teoretică. Valoarea minimă a lui  $v_c$  de asemenea s-a obținut după primele două semirotății ale tobei ( $v_c = 2,66 \%$ ) și nu s-a modificat esențial la continuarea amestecării, la fel ca și valoarea lui  $\bar{C}$ . Aceasta dovedește faptul că omogenitatea maximă a amestecului s-a obținut deja după două semirotății ale tobei.

Tabelul 4.1. Coeficientul neomogenității amestecului  $v_c$ , în % funcție de coeficientul de umplere a pâlniei și numărul de semirotății ale tobei

Coeficientul de umplere $K_u$	Numărul de semirotății	Concentrația componentului cheie în probe C, %				Media $\bar{C}$ , %	Coeficientul neomogenității, $v_c$ , %
		1	2	3	4		
0,4	2	48	50	49	47	48,5	2,66
	4	48	48	49	51	49	2,89
	6	53	53	50	55	52,75	3,91
0,7	2	64	73	29	33	49,75	44,26
	4	53	59	53	49	53,5	7,71
	6	47	52	57	45	50,25	10,70
	8	53	49	51	48	50,25	4,41
1,0	2	81	69	16	20	46,5	71,64
	4	65	56	28	36	46,25	37,13
	6	52	53	55	43	50,75	10,47
	8	50	51	49	48	49,5	2,61

La coeficientul de umplere egal cu 0,7, după primele două semirotății valoarea lui  $\bar{C}$  a fost foarte aproape de 50 % ( $\bar{C} = 49,75 \%$ ), dar valoarea lui  $v_c$  a fost destul de mare ( $v_c = 44,26 \%$ ). La continuarea de mai departe a procesului amestecării valoarea coeficientului neomogenității a scăzut brusc și deja după a opta semirotăție, a devenit mai mic de 5 % ( $v_c = 4,41 \%$ ), iar valoarea lui  $\bar{C}$  s-a menținut aproape de 50 % pe tot parcursul procesului (Fig. 4.2).

Când pâlnia malaxorului a fost plină ( $K_u = 1$ ), după primele două semirotății coeficientului neomogenității amestecului a fost foarte mare ( $v_c = 71,64 \%$ ). Însă, la fel ca și în cazul când  $K_u$  a fost egal cu 0,7, după a opta semirotăție sa obținut valoarea minimă a lui  $v_c$ ,

egală cu 2,61 %, Concentrația medie a componentului cheie după primele două semirotății a fost puțin mai mică decât valoarea teoretică ( $\bar{C} = 46,5$  %), iar după a opta semirotăție a devenit aproape egală cu 50 % ( $\bar{C} = 49,5$  %).

Cercetările au demonstrat că cu cât mai departe de centrul de rotire se află materialul (la coeficienți de umplere mici), cu atât mai intensiv se petrece amestecarea. La coeficienți mici de umplere materialul se divizează mai ușor în șuvoaie, iar migrația particulelor este mai intensivă. Dar omogenizarea amestecului este destul de rapidă și în cazul când  $K_u$  este egal cu unu.

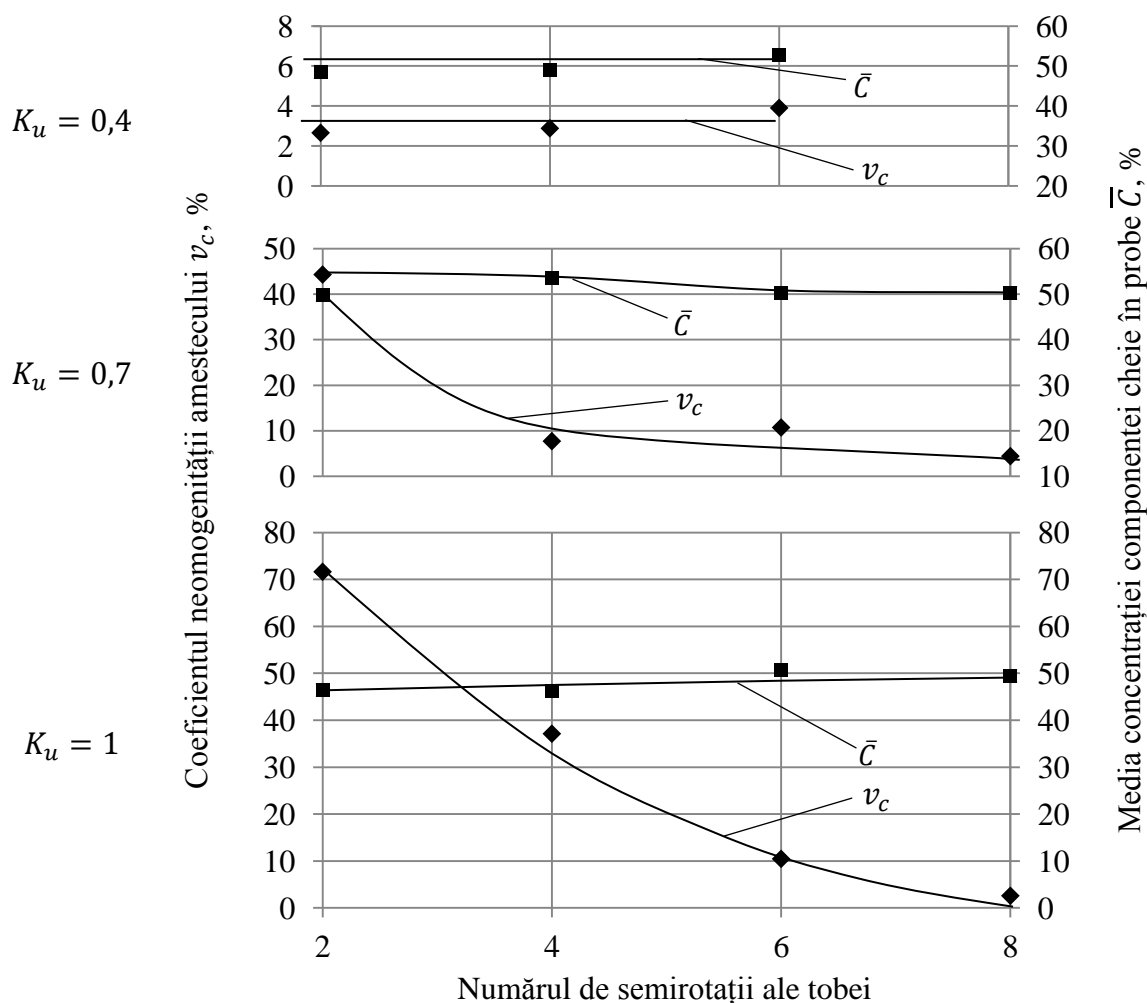


Fig. 4.2. Dependența concentrației  $\bar{C}$  componentului cheie în probe și a coeficientului neomogenității amestecului  $v_c$  de numărul de semirotății ale tobei și coeficientul de umplere

#### 4.2. Omogenitatea amestecului obținut în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale

Cercetării calității amestecării a fost supus malaxorul cu amestecare forțată [23], la care anterior a fost cercetată rezistența la amestecare conform planului D-optimal (§ 3.2.). Factorii

menținuți la nivel constant în procesul efectuării cercetărilor [6, 34] au fost: diametrul tobei  $D = 300$  mm; raportul dintre lungimea și diametrul tobei  $L/D = 1$ ; diametrul barelor  $d = 10$  mm; unghiul de așchiere al barelor radiale  $\delta = 45^\circ$ ; amplasarea barelor pe suprafața arborelui – în șah; pasul longitudinal al barelor radiale în rândurile longitudinale  $p = 60$  mm; unghiul dintre rândurile longitudinale de bare –  $60^\circ$ ; coeficientul de umplere a tobei  $K_u = 0,4$ .

Calitatea amestecării a fost cercetată funcție de numărul de rotații ale arborelui și modul de încărcare a componentelor amestecului în toba malaxorului. Modurile cercetate, de încărcare a componentelor a fost: 1) în două straturi de componente (vopsite în două culori diferite) suprapuse, distribuite uniform de-a lungul tobei (Fig. 4.3, a); 2) în două straturi alăturate, la fel distribuite uniform (Fig. 4.3, b).

Scopul cercetărilor a fost de a studia caracterul migrației particulelor, în procesul amestecării în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă, în direcțiile orizontală și verticală ale planurilor transversale [23].

După fiecare oprire a arborelui malaxorului se extrăgeau 16 probe de amestec, din patru zone ale tobei malaxorului conform schemei din figura 4.4. Pentru determinarea omogenității amestecului a fost utilizată metoda descrisă în § 4.1. Rezultatele experimentelor sunt prezentate sub formă de tabel în Anexa 16, iar în mod grafic în figura 4.5.

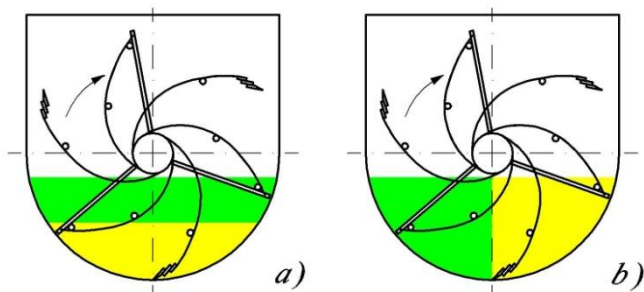


Fig. 4.3. Schema încărcării componentelor: a) – două straturi suprapuse; b) – două straturi alăturate.

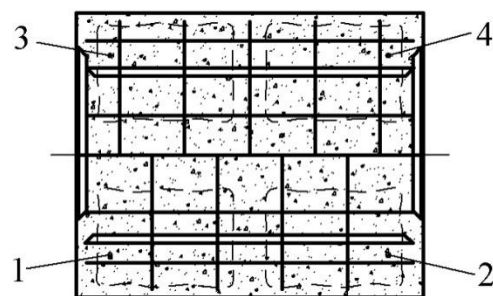


Fig. 4.4. Zonele tobei malaxorului din care se luau probele (vedere de sus).

Cercetările au demonstrat că concentrația medie a componentului cheie în probe a atins valoarea aproape de 50 %, în primul caz după a 6-a rotație ( $\bar{C} = 49,9$  %), iar în al doilea caz după a 3-a rotație ( $\bar{C} = 49,8$  %). La continuarea procesului amestecării, pentru ambele cazuri concentrația medie a componentului cheie în probe practic nu se schimbă. Deci, putem concluce că la turnarea componentelor amestecului în două straturi alăturate distribuția lor în tot volumul amestecului are loc mai rapid decât în cazul turnării componentelor în două straturi suprapuse.

Coeficientul neomogenității amestecului  $v_c$ , în primul caz, după prima rotație a arborelui malaxorului a fost egal cu 32,5 % și s-a micșorat brusc până la a treia rotație inclusiv, atingând



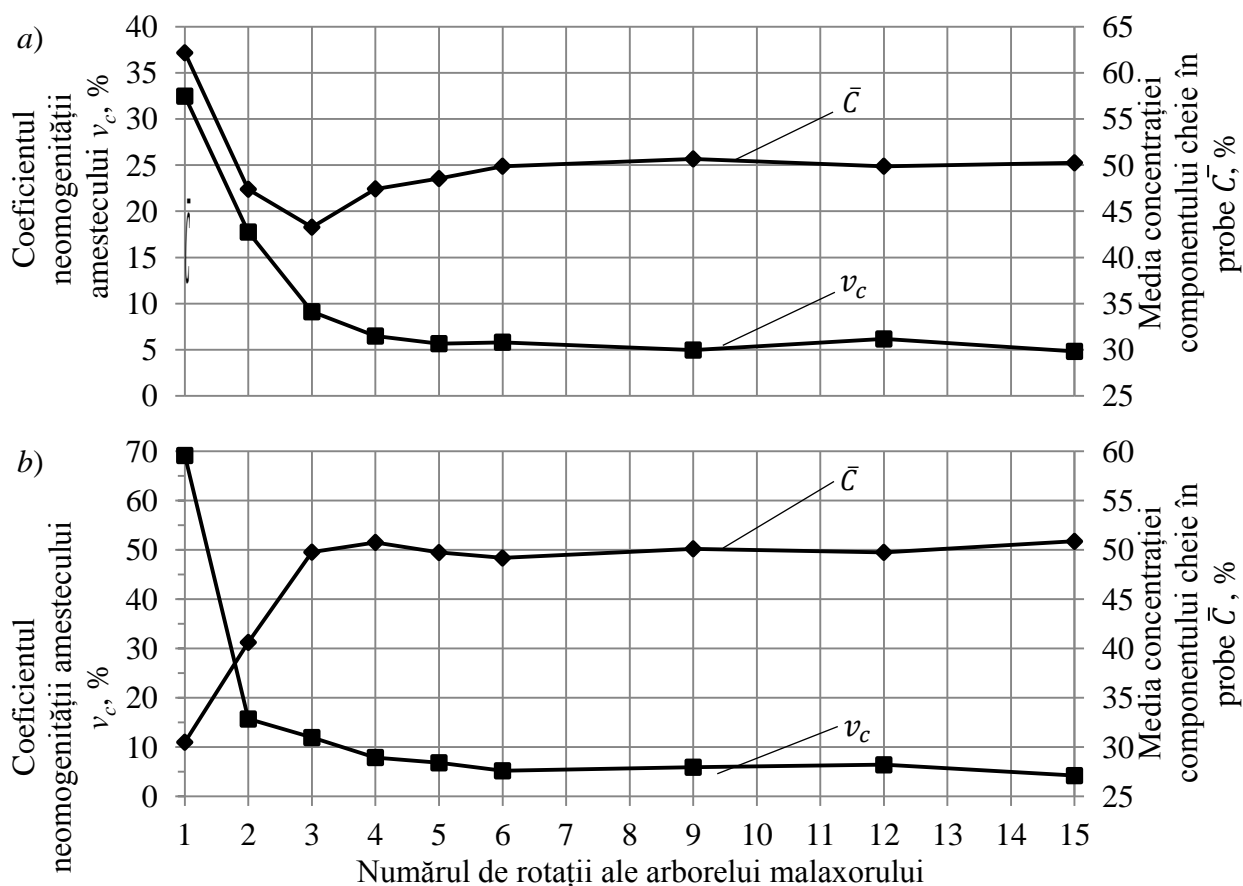


Fig. 4.5. Dependența mediei concentrației componentei cheie în probe  $\bar{C}$  și a coeficientului neomogenității amestecului  $v_c$  de numărul de rotații ale arborelui malaxorului și de modul așezării componentelor amestecului în tobă: a) – în două straturi suprapuse; b) – în două straturi alăturate.

valoarea de 9,1 % (Fig. 4.5, a). Micșorarea coeficientului neomogenității a continuat până la a șasea rotație inclusiv, atingând valoarea de 5,8 %. La continuare procesului amestecării coeficientul neomogenității practic nu se schimbă.

În cazul al doilea, după prima rotație  $v_c$  a fost egal cu 69,1 % și sa micșorat brusc deja după a doua rotație, atingând valoarea de 15,7 %. Micșorarea bruscă a coeficientului neomogenității, în ambele cazuri are loc datorită faptului că amestecarea convectivă în malaxoarele cu bare este foarte intensivă. Iar acesta se datorează faptului că în procesul malaxării toate componentele amestecului sunt divizate concomitent în multiple șuvoaie, care deviază apoi se îmbină și iarăși se divizează ș.a.m.d. Totodată procesele de divizare, deviere și îmbinare conduc la migrația particulelor atât în direcții axiale ale tobei, cât și în direcții transversale.

În al doilea caz micșorarea lui  $v_c$  are loc la fel până la a șasea rotație inclusiv ( $v_c = 5,2$  %, Fig. 4.5, b). Deci putem concluda că pentru ambele moduri de încărcare a componentelor amestecului, durata omogenizării amestecului în malaxorul cercetat constituie 6 rotații.

### 4.3. Optimizarea procesului de amestecare

#### 4.3.1. Durata malaxării amestecului în stare uscată și umedă

Cercetările efectuate cu malaxorul cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale [23] (§ 4.2) au demonstrat că pentru obținerea unui amestec omogen sunt destule șase rotații ale arborelui malaxorului. Teoretic, după șase rotații amestecul este divizat în  $3,4 \cdot 10^{11}$  șuvoaie unice în planuri longitudinale și în  $1,4 \cdot 10^{11}$  – în planuri transversale. Tot după șase rotații particulele efectuează în total 72 migrații depline în planurile longitudinale (de la peretele lateral de stânga spre cel de dreapta și invers) și radiale (de la arbore spre partea cilindrică a tobei și invers).

Pentru cercetarea calității amestecului de beton și pentru verificarea calculelor teoretice și a rezultatelor cercetărilor precedente [6, 34] efectuate în malaxorul [23] a fost luată decizia de a determina rezistența la compresiune a betonului în dependență de durata malaxării lui în stare uscată și în stare umedă.

Pentru aceasta au fost efectuate mai multe experiențe conform planului D-optimal [73] pentru doi factori (tabelul 4.2):

$x_1$  – durata amestecării componentelor în stare uscată,  $\tilde{x}_1 = 5 - 10 - 15$  s;

$x_2$  – durata amestecării componentelor împreună cu apa,  $\tilde{x}_2 = 5 - 10 - 15$  s.

Pentru cercetări [9] a fost adoptată rețeta care asigură obținerea betonului M200: ciment portland CEM II/B-LL 32.5R- 310 kg/m<sup>3</sup>; prundiș concasat 5/20 mm, 1098 kg/m<sup>3</sup>; nisip 0-5 mm (modul granulometric-2.1), 722 kg/m<sup>3</sup>; apă (potabila) 202 l/m<sup>3</sup>. Parametrii constructivi ai malaxorului au fost aceiași ca și în cercetările precedente (§ 4.2). Coeficientul de umplere a fost adoptat egal cu 0,36, turația arborelui malaxorului  $n = 60$  rot/min. Amestecul de beton preparat se turna în forme cu latura de 100 mm și se îndesa cu motovibratorul de tipul BM1 200/3 cu frecvența 3000 rot/min. Încercările cuburilor de beton după 28 de zile au fost efectuate la presa cu capacitatea maximă de 3000 kN și cea minimă de 30 kN, viteza de încărcare 0,5 MPa/s.

Omogenitatea dispersiilor rezultatelor experimentale a fost apreciată cu ajutorul criteriului Cochran. Deoarece  $G_{exp} = 0,238 < G_t = 0,64$  ( $\alpha = 0,05$ ;  $N = 9$ ;  $f_1 = 1$ ) facem concluzia că dispersiile sunt omogene.

Analiza de regresie a rezultatelor a condus la obținerea polinomului de gradul doi care descrie dependența rezistenței la compresiune a betonului de factorii  $x_1$  și  $x_2$ :

$$\hat{Y} = 21,51 + 0,99x_1 - 1,4x_2 - 0,795x_1x_2 - 1,07x_1^2 + 0,08x_2^2 \quad (4.3)$$

Pentru verificarea semnificației coeficienților de regresie au fost determinate valorile lor critice cu relația (3.20). Coeficienții de regresie au următoarele valori critice:  $b_1=3,96$ ,  $b_2=5,6$ ;

$b_{12}=2,61$ ;  $b_{11}=2,49$ ;  $b_{22}=0,19$ ;  $b_0=47,8$ . Observăm că toți coeficienții, afară de efectul pătratic al factorului  $x_2$  au valoarea mai mare decât valoarea tabelară a criteriului student  $t_{tab} = 2,26$ , deci sunt semnificativi. După eliminarea lui  $b_{22}$  ecuația de regresie se scrie în modul următor:

$$\hat{Y} = 21,51 + 0,99x_1 - 1,4x_2 - 0,795x_1x_2 - 1,07x_1^2. \quad (4.4)$$

Tabelul 4.2. Planul D-optimal pentru doi factori

Nr. de ordine	$x_1$	$x_2$	Rezistența la compresiune, MPa			Dispersia $S_i^2\{Y\}$
			$Y_1$	$Y_2$	$\bar{Y}$	
1	+	+	19,52	19,44	19,48	0,0032
2	+	-	24,22	23,21	23,72	0,5101
3	-	-	19,65	20,19	19,92	0,1458
4	-	+	19,46	18,26	18,86	0,72
5	+	0	21,18	21,26	21,22	0,0032
6	-	0	19,19	20,23	19,71	0,5408
7	0	+	19,43	20,69	20,06	0,7938
8	0	-	23,45	22,91	23,18	0,1458
9	0	0	21,93	20,96	21,45	0,4705

$$\Sigma = 3,33$$

Aprecierea corespunderii modelului obținut cu procesul cercetat a fost efectuată utilizând criteriul Fischer, care a fost determinat cu relația (3.23). Deoarece  $F_{exp} = 0,25 < F_{tab} = 4,25$  ( $\alpha=0,05$ ;  $f_2=9$ ;  $f_{necor}=3$ ). facem concluzia că modelul obținut descrie adecvat procesul cercetat.

A fost construită dependența rezistenței la compresiune a betonului (Fig. 4.6) de durata amestecării în stare uscată (factorul  $x_1$ ) pentru  $x_2 = 0$  și de durata amestecării împreună cu apa (factorul  $x_2$ ) pentru  $x_1 = 0$ .

La majorarea duratei amestecării componentelor în stare uscată  $x_1$  (Fig. 4.6) pentru durata amestecării umede constantă și egală cu 10 s (10 rotații ale arborelui malaxorului) observăm că rezistența la compresiune a betonului crește și atinge valoarea maximă de 21,73 MPa la durata de 12 s, apoi puțin se micșorează la majorarea de mai departe a lui  $x_1$ . Majorarea duratei amestecării împreună cu apa  $x_2$  (pentru  $x_1 = const$  și egal cu 10 s) conduce la micșorarea rezistenței betonului, dependența fiind liniară. Totuși, valoarea minimă depășește valoarea medie a rezistenței la compresiune a betonului marca M200, egală cu 19,65 MPa, conform GOST26633-91. Valoarea maximă a rezistenței se obține pentru următoarele valori ale factorilor:  $\tilde{x}_1 = 13,5$  s și  $\tilde{x}_2 = 5$  s.

De asemenea au fost construite izoliniile rezistenței la compresiune (Fig. 4.7) care demonstrează cum se schimbă valoarea acesteia la varierea concomitentă a factorilor. Sectorul hașurat de pe nomogramă reprezintă zona valorilor rezistenței la compresiune mai mici decât valoarea minimă standardizată.

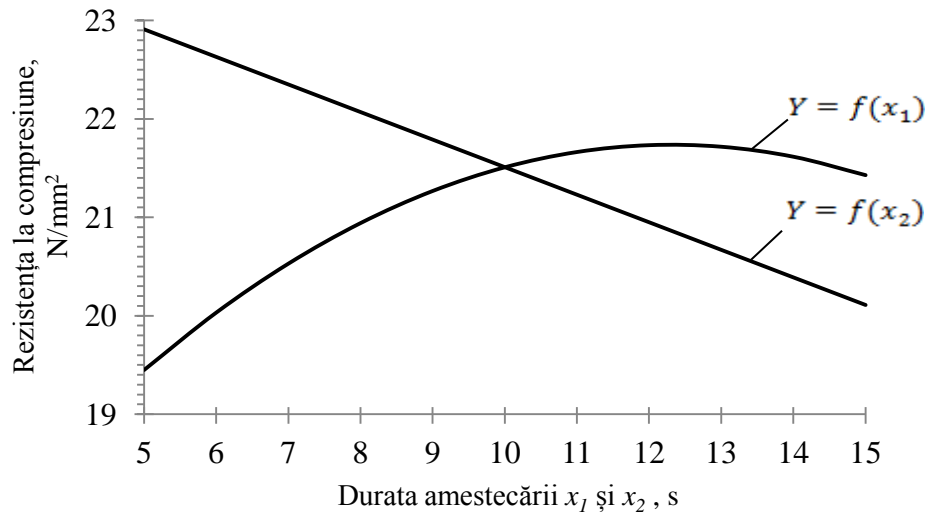


Fig. 4.6. Dependența rezistenței la compresiune a betonului de durata amestecării în stare uscată  $x_1$  și împreună cu apa  $x_2$ .

Rezultatele cercetărilor au demonstrat că pentru obținerea omogenității bune a amestecului de beton, sunt destule cinci rotații ale arborelui malaxorului la amestecarea uscată și maximum 10 rotații împreună cu apa. Micșorarea rezistenței la compresiune a betonului la majorarea timpului amestecării împreună cu apa poate fi lămurită prin aceea că în procesul umezirii amestecului are loc segregarea agregatului mășcat de amestecului nisip – ciment.

Amestecarea împreună cu apa trebuie să asigure umezirea tuturor particulelor – proces care în malaxorul cu bare are loc într-un timp foarte scurt.

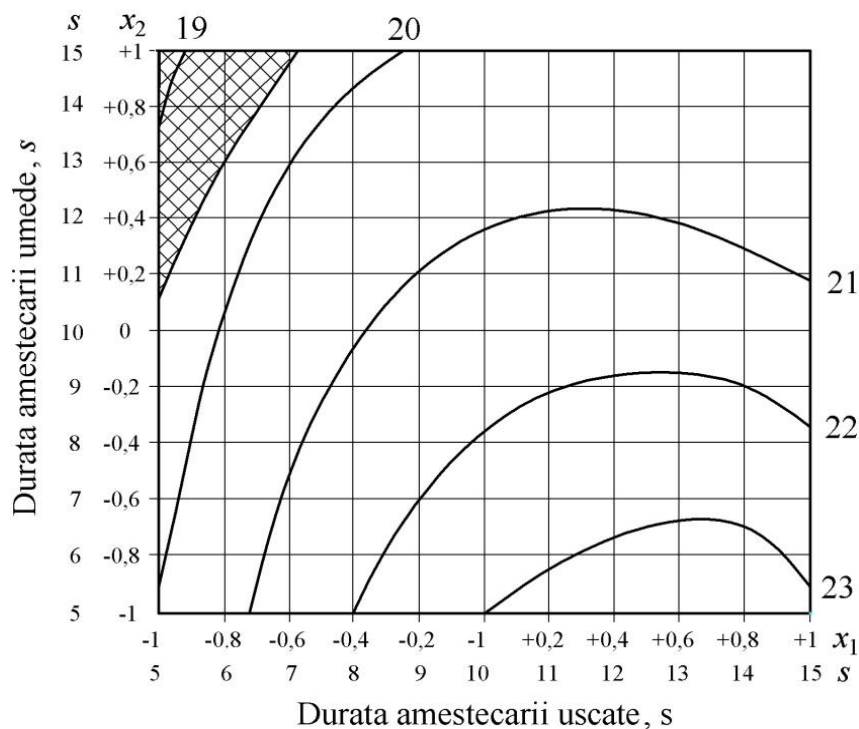


Fig. 4.7. Izoliniile rezistenței la compresiune a betonului în MPa.

### 4.3.2. Rezistența la amestecare a malaxorului

Ideea determinării rezistenței la amestecare a malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare pentru diferiți parametri constructivi ai malaxorului și tehnologici ai procesului de amestecare se bazează pe cunoașterea dependențelor cantitative ale rezistenței la înaintare a barei prin material de factorii semnificativi, care au fost determinate experimental [2].

Acest lucru este posibil datorită faptului că rezistența la înaintare a unei bare prin mediul de lucru este egală cu rezistența malaxorului cu acțiune ciclică cu 33 de organe de amestecare în formă de bare, din care 16 se găsesc în amestec [1]. Astfel putem determina rezistența la amestecare a malaxoarelor cu diferite combinații ale parametrilor măsurând rezistența doar unei singure bare și variind pe rând câte un parametru, ceilalți fiind menținuți la nivel constant. Acest fenomen exclude necesitatea confecționării a unui număr mare de organe de lucru alcătuite din mai multe bare pentru diferiți parametri constructivi ai malaxorului.

Anterior Andrievschi S., conf. univ., dr. a elaborat un malaxor [1], care a fost numit inițial [2] și care avea următorii parametri: numărul de rânduri longitudinale de bare – 6; diametrul barelor  $d = 10 \text{ mm}$ ; unghiul de așchiere al barelor  $\delta = 90^\circ$ ; pasul longitudinal al barelor  $p = 60 \text{ mm}$ ; pasul rândurilor transversale de bare –  $30 \text{ mm}$ ; diametrul și lungimea tobei  $D = L = 300 \text{ mm}$ . Dlui a cercetat rezistența la amestecare a malaxorului respectiv adoptând următorii parametri tehnologici: turația arborelui  $n = 60 \text{ rot/min}$ ; mediul de lucru – nisipul de râu cu dimensiunea particulelor  $a \leq 1,25 \text{ mm}$ ; umiditatea relativă a nisipului  $W = 4 - 5 \%$ ; coeficientul de umplere a tobei  $K_u = 0,5$ . Cercetările au demonstrat că rezistența la amestecare a malaxorului inițial, indiferent dacă se deplasează 16 bare prin material sau o singură bară, este egală cu  $130 \text{ N}$ .

Din cele expuse mai sus, reiese că dacă modificăm unul sau câțiva parametri ai malaxorului inițial, atunci rezistența la amestecare a acestuia  $Z' = 130 \text{ N}$  se va mări sau se va micșora, în dependență de direcția modificării parametrilor. Gradul de influență a parametrilor asupra rezistenței poate fi exprimat prin coeficienți. Astfel, pentru determinarea rezistenței totale la amestecare  $Z_m$  în malaxoarele cu alți parametri constructivi și tehnologici decât cei ai malaxorului inițial putem scrie relația [2]:

$$Z_m = Z' K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7, \quad (4.5)$$

unde:  $K_1$  este coeficientul care caracterizează influența gradului de umplere a tobei cu amestec;

$K_2$  – coeficientul care caracterizează influența dimensiunilor particulelor;

$K_3$  – coeficientul care caracterizează influența diametrului barelor;

$K_4$  – coeficientul care caracterizează influența diametrului tobei;

$K_5$  – coeficientul care caracterizează influența umidității amestecului;

$K_6$  – coeficientul care caracterizează influența lungimii malaxorului;

$K_7$  – coeficientul care caracterizează influența unghiului de aşchiere al barelor.

În tabele 4,3 – 4.9 sunt prezentate valorile coeficienților pentru diferite condiții de funcționare și parametri geometrici ai malaxorului în baza rezultatelor experimentale publicate în lucrarea [1].

Valorile unui oarecare coeficient  $K_i$  depind de rezistențele la amestecare ale malaxorului la care este modificat parametrul respectiv într-un anumit diapazon și se determină ca raportul valorilor rezistențelor date la valoarea rezistenței malaxorului inițial. De exemplu, în tabelul 4.3 sunt date valorile coeficientului de umplere a tobei  $K_u$ , care variază de la 0,1 până la 0,5 și valorile rezistențelor malaxorului pentru fiecare coeficient de umplere. Coeficientului  $K_1$  pentru coeficientul de umplere  $K_u = 0,1$  este egal cu  $23,3/130 = 0,18$ . Tot așa se determină coeficientul  $K_1$  și pentru celelalte valori ale coeficientului de umplere  $K_u$ .

Observăm în tabele 4,3 – 4.9 că pentru valorile parametrilor malaxorului inițial toți coeficienții sunt egali cu unu. Prin urmare, rezistența malaxorului inițial conform relației (4.5) este egală cu  $Z' = Z_m = 130 N$ .

Tabelul 4.3. Valorile coeficientului  $K_1$  care caracterizează influența coeficientului de umplere a tobei cu amestec  $K_u$  asupra rezistenței la amestecare

Coeficientul de umplere $K_u$	0,1	0,2	0,3	0,4	<b>0,5</b>
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	23,3	31,5	43,0	92,55	<b>130</b>
$K_1$	0,18	0,24	0,33	0,712	<b>1</b>

Tabelul 4.4. Valorile coeficientului  $K_2$  care ține seama de influența dimensiunii particulelor  $a$  asupra rezistenței la înaintare

Dimensiunea particulelor $a, mm$	<b>≤1,25</b>	2,5...5	5...10	10...20
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	<b>130</b>	168	250	348
$K_2$	<b>1</b>	1,29	1,92	2,68

Tabelul 4.5. Valorile coeficientului  $K_3$  care ține seama de influența diametrului barelor  $d$  asupra rezistenței la înaintare

Diametrul barei $d, mm$	<b>10</b>	15	20
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	<b>130</b>	149,5	179,4
$K_3$	<b>1</b>	1,15	1,38

Tabelul 4.6. Valorile coeficientului  $K_4$  care ține seama de influența diametrului tobei  $D$  asupra rezistenței la înaintare

Diametrul tobei $D, m$	<b>0,3</b>	0,55	0,68	1,0
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	<b>130</b>	565	850	1600
$K_4$	<b>1</b>	4,35	6,54	12,31

Tabelul 4.7. Valorile coeficientului  $K_5$  care ține seama de influența umidității amestecului  $W$  asupra rezistenței la înaintare

Umiditatea amestecului $W, \%$	<b>5</b>	10	15	20	25
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	<b>130</b>	151,2	159,8	95,04	0,43
$K_5$	<b>1</b>	1,16	1,23	0,73	0,0033

Tabelul 4.8. Valorile coeficientului  $K_6$  care ține seama de influența lungimii jgheabului malaxorului  $L$  asupra rezistenței la înaintare

Raportul $L/D$	0,5	0,8	<b>1</b>	1,1	1,4	2	2,6
Rezistența la înaintare $Z, N$	140	132	<b>130</b>	144	208	228	293
$K_6$	1,08	1,02	<b>1</b>	1,11	1,6	1,75	2,25

Tabelul 4.9. Valorile coeficientului  $K_7$  care ține seama de influența unghiului de așchiere al barelor  $\delta$  asupra rezistenței la înaintare

Unghiul de așchiere $\delta, \text{grade}$	30	45	60	75	<b>90</b>
Rezistența la înaintare a barei $Z, N$	60	69	84,7	112	<b>130</b>
$K_7$	0,46	0,53	0,65	0,86	<b>1</b>

Analizăm un caz concret de proiectare a unui malaxor pentru prepararea amestecului de beton cu următoarele condiții: coeficientul de umplere  $K_u = 0,4$ ; dimensiunea agregatelor  $a = 10 - 20$  mm; diametrul barei (organului de amestecare)  $d = 21$  mm; diametrul jgheabului malaxorului  $D = 1000$  mm; umiditatea amestecului  $W = 15$  %; lungimea malaxorului  $L = 2,6$  m; unghiul de așchiere a barelor  $\delta = 45^\circ$ ; turația arborelui malaxorului  $n = 60$  rot/min.

Selectând valorile coeficienților din tabele 4.3 – 4.9 conform datelor inițiale, rezistența la amestecare aproximativă a malaxorului proiectat va fi:

$$Z_m = Z' K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 = 130 \cdot 0,712 \cdot 2,68 \cdot 1,38 \cdot 12,31 \cdot 1,23 \cdot 2,25 \cdot 0,53 = 6180,5 \text{ N.}$$

Cunoscând rezistența la amestecare și turația arborelui putem calcula puterea motorului și efectua celelalte operații ale procesului de proiectare a malaxorului.

### 4.3.3. Nomograma pentru determinarea rezistenței la amestecare a malaxoarelor cu bare

În nomogramele cu puncte aliniate este posibilă interpolarea ușoară a datelor cu o precizie înaltă, datorită faptului că fiecare punct pe scară este înzestrat cu marcă numerică. Dependența funcțională  $F(u, v, \omega) = 0$  se rezolvă cu ajutorul nomogramei cu puncte aliniate, care se construiește din condiția apartenenței a trei puncte  $\alpha$ ,  $\beta$  și  $\gamma$  unei linii (Fig. 4.8). Condiția dată se prezintă în modul următor [115]:

$$\frac{Y_\gamma - Y_\alpha}{X_\gamma - X_\alpha} = \frac{Y_\beta - Y_\alpha}{X_\beta - X_\alpha}, \quad (4.6)$$

unde:  $Y_\alpha, Y_\beta, Y_\gamma$  sunt ordonatele punctelor corespunzătoare  $\alpha, \beta$  și  $\gamma$ ;

$X_\alpha, X_\beta, X_\gamma$  – abscisele acestor puncte.

Dacă forma modelului cercetat nu corespunde cu ecuația (4.6), atunci modelul, prin efectuarea transformărilor matematice, se aduce la forma dată. În caz că acest lucru nu este posibil, atunci pentru analiza modelului dat se caută alte tipuri de nomograme, afară de cele cu puncte aliniate.

Nomograma cu puncte aliniate se construiește pentru trei variabile. Dacă modelul analizat conține mai mult de trei variabile, în acest caz se construiesc nomograme complexe (alcătuite din mai multe nomograme simple). Dacă modelul matematic conține variabile nedivizabile (efectul de interacțiune) sau funcția căruia depinde de două și mai multe argumente, atunci se folosesc nomogramele compuse din câmpuri binare. În cazul dat ecuația inițială se aduce la forma:

$$\varphi_1(X) + \varphi_2(Y)f_1(\alpha, \beta) = f_2(\alpha, \beta) \quad (4.7)$$

Pentru ecuația dată se folosește nomograma cu două scări paralele și un câmp binar [97].

După ce se construiește nomograma, aceasta se verifică. În acest scop se calculează valoarea parametrului de ieșire folosind modelul pentru care a fost construită nomograma, pentru valorile factorilor stabilite din timp, apoi se determină parametrul de ieșire cu ajutorul nomogramei obținute, pentru aceleași valori ale factorilor. Dacă valorile obținute prin cele două căi diferite sunt aproape egale, atunci nomograma construită descrie adecvat procesul studiat. Verificarea nomogramei trebuie efectuată pentru mai multe combinații ale valorilor factorilor.

Dependențele matematice obținute în rezultatul efectuării experiențelor și care conțin un număr mare de factori cu greu pot fi supuse analizei și interpretării. Este complicată procedura de determinare a valorilor optime ale factorilor procesului pentru parametrul de ieșire prescris în cazul când pot exista mai multe variante de obținere a lui [56].



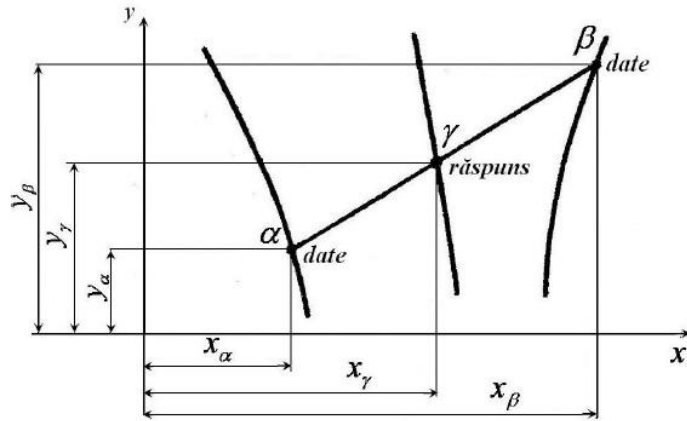


Fig. 4.8. Nomograma cu puncte aliniate.

Nomogramele ingineresti construite pentru ecuatiile de regresie obtinute si alte dependente multifactoriale dau posibilitate de a determina rapid valorile factorilor care asigura cele mai bune valori ale parametrului de optimizare [56].

A fost luata decizia de a construi nomograma complexa cu puncte aliniate pentru ecuatiile (4.5) din paragraful 4.4.2. cu scopul de determina rapid parametrii optimi ai malaxorului si ai procesului de amestecare care asigura cea mai mica rezistenta la amestecare. In acest scop ecuatiile (4.5) a fost adusa la forma canonică prin logaritmare [2, 8, 56]. Obținem următoarea ecuație:

$$\lg Z_m = \lg Z' + \lg K_1 + \lg K_2 + \lg K_3 + \lg K_4 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_7 \quad (4.8)$$

Deoarece  $Z'$  este constant și egal cu 130, rezultă  $\lg Z' = \lg 130 = 2,114$ .

Mai întâi au fost formate trei grupuri de factori: în primul grup au fost incluși factorii, coeficienții cărora (paragraful 4.4.2.) variază de la zero până la o valoare oarecare pozitivă ( $K_1$  și  $K_7$ ); în grupul al doilea au fost incluși factorii coeficienții cărora variază de la unu până la o valoare oarecare mai mare ca unu ( $K_2, K_3, K_4, K_5$  și  $K_6$ ); în grupul al treilea –  $\lg Z_m$  și  $\lg Z'$ .

Apoi au fost efectuate următoarele substituiri:

$$\alpha = \lg K_1 + \lg K_7 \quad (4.9)$$

$$\beta = \lg K_2 + \lg K_3 + \lg K_4 + \lg K_5 + \lg K_6 \quad (4.10)$$

$$\gamma = \lg Z_m - 2,114 \quad (4.11)$$

A fost obținută forma canonică  $\alpha + \beta = \gamma$  a ecuației, care servește pentru construirea nomogramei de tipul al III-lea compusă din trei scări paralele și rectilinii. Succesiunea calculelor necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha + \beta = \gamma$  pentru ecuația (4.8) este prezentată în Anexa 17. Scările  $\alpha$  și  $\beta$  sunt "mute" de aceea marcarea diviziunilor pe ele nu se efectuează. Pe scara  $\gamma$  sunt notate valorile lui  $Z_m$  de la 10 până la 17000 N (Fig. 4.9).

La etapa a doua a fost construită nomograma  $\alpha^I + \beta^I = \gamma^I$  pentru ecuația (4.9). Pentru aceasta a fost făcută substituția:

$$\gamma^I = \alpha^I + \beta^I = \alpha \quad (4.12)$$

Această ecuație este prezentată în figura 4.9 cu scările coeficienților  $K_1$  și  $K_7$ , care sunt notate cu valorile corespunzătoare, iar scara  $\gamma^I$  coincide cu scara  $\alpha$  și de aceea, în figura 4.9 este notată prin  $\alpha$ . Succesiunea calculelor necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha^I + \beta^I = \gamma^I$  pentru ecuația (4.8) este prezentată în Anexa 18.

La etapa a treia a fost construită nomograma  $\alpha^{II} + \beta^{II} = \gamma^{II}$  pentru ecuația (4.10). Pentru aceasta au fost efectuate următoarele substituiri:

$$\alpha^{II} = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 \quad (4.13)$$

$$\beta^{II} = \lg K_4 + \lg K_2 \quad (4.14)$$

$$\gamma^{II} = \lg K_2 + \lg K_3 + \lg K_4 + \lg K_5 + \lg K_6 = \beta \quad (4.15)$$

Au fost construite scările ”mute”  $\alpha^{II}$ ,  $\beta^{II}$  și  $\gamma^{II}$ . Deoarece scara  $\gamma^{II}$  coincide cu scara  $\beta$ , în figura 4.9 ea este notată prin  $\beta$ . Succesiunea calculelor necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha^{II} + \beta^{II} = \gamma^{II}$  pentru ecuația (4.10) este prezentată în Anexa 19.

La etapa a patra a fost construită nomograma  $\alpha^{III} + \beta^{III} = \gamma^{III}$  pentru ecuația (4.14). Pentru aceasta au fost făcute următoarele substituiri:

$$\alpha^{III} = \lg K_2 \quad (4.16)$$

$$\beta^{III} = \lg K_4 \quad (4.17)$$

$$\gamma^{III} = \lg K_4 + \lg K_2 = \beta^{II} \quad (4.18)$$

Au fost construite scările coeficienților  $K_2$  și  $K_4$  cu notarea valorilor corespunzătoare. Scara ”mută”  $\gamma^{III}$  a fost situată pe scara  $\beta^{II}$ , de aceea în figura 4.10 ea este notată prin  $\beta^{II}$ . Succesiunea calculelor necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha^{III} + \beta^{III} = \gamma^{III}$  pentru ecuația (4.14) este prezentată în Anexa 20.

La etapa a cincea a fost construită nomograma  $\alpha^{IV} + \beta^{IV} = \gamma^{IV}$  pentru ecuația (4.13), pentru ce au fost făcute următoarele substituiri:

$$\alpha^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5 \quad (4.19)$$

$$\beta^{IV} = \lg K_6 \quad (4.20)$$

$$\gamma^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 = \alpha^{II} \quad (4.21)$$

A fost construită scara coeficientului  $K_6$  cu marcarea corespunzătoare și scara ”mută”  $\alpha^{IV}$ . Scara ”mută”  $\gamma^{IV}$  a fost situată pe scara  $\alpha^{II}$  și este notată în figura 4.9 prin  $\alpha^{II}$ . Succesiunea

calculul necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha^{IV} + \beta^{IV} = \gamma^{IV}$  pentru ecuația (4.13) este prezentată în Anexa 21.

Și în sfârșit, la etapa a șasea a fost construită nomograma  $\alpha^V + \beta^V = \gamma^V$  pentru ecuația (4.19), pentru ce au fost făcute următoarele substituiri:

$$\alpha^V = \lg K_3 \tag{4.22}$$

$$\beta^V = \lg K_5 \tag{4.23}$$

$$\gamma^V = \alpha^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5 \tag{4.24}$$

Au fost construite scările coeficienților  $K_3$  și  $K_5$  cu notarea corespunzătoare a valorilor și scara "mută"  $\gamma^V$  pe scara  $\alpha^{IV}$ , care este notată în figura 4.9 prin  $\alpha^{IV}$ . Succesiunea calculului necesare pentru construirea nomogramei  $\alpha^V + \beta^V = \gamma^V$  pentru ecuația (4.19) este prezentată în Anexa 22.

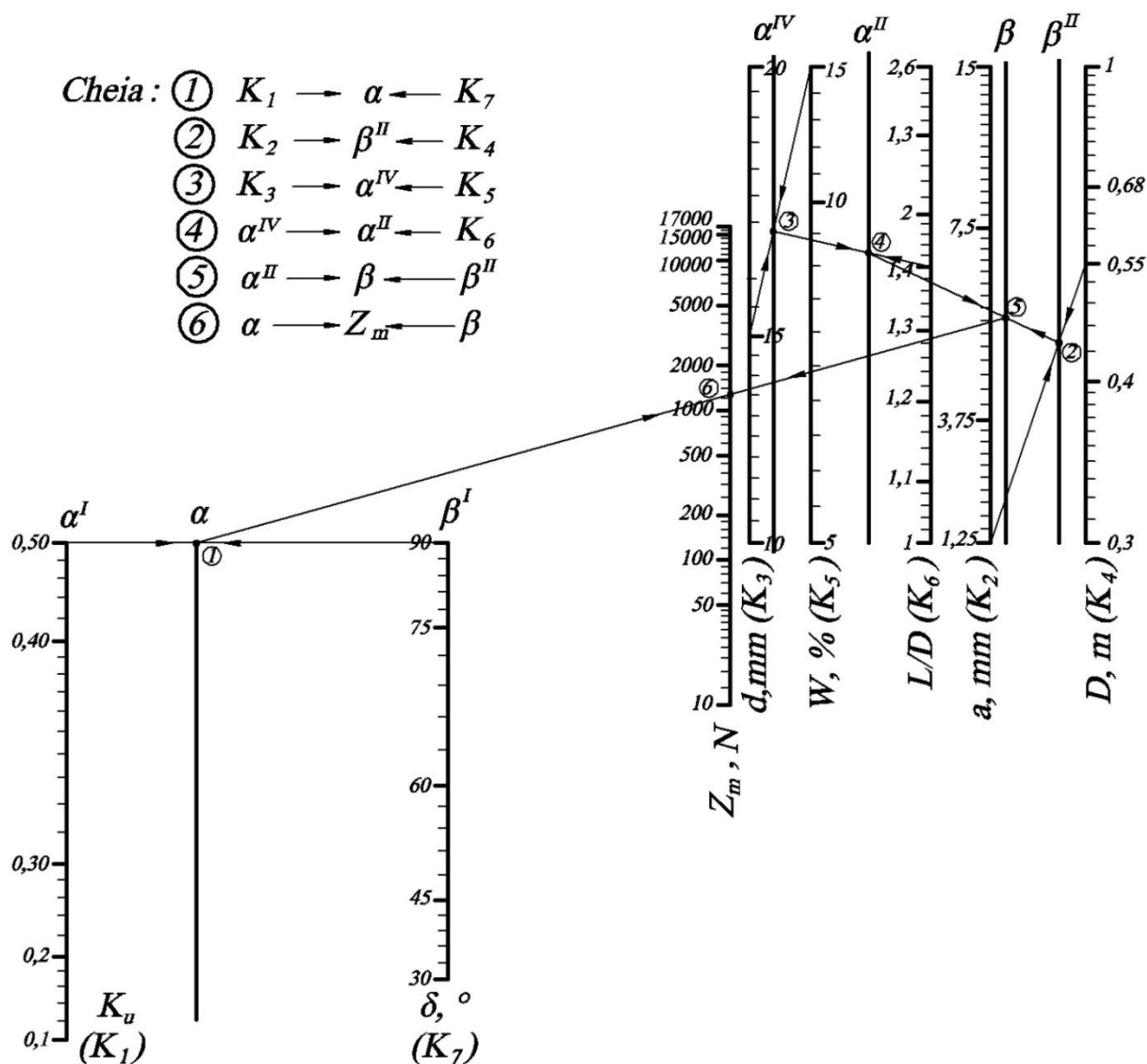


Fig. 4.9. Nomograma inginerescă pentru determinarea rezistenței la amestecare a malaxoarelor cu bare funcție de șapte factori constructivi și tehnologici.

Pe desen (Fig. 4.9) este prezentată cheia cu ajutorul căreia se poate determina valoarea rezistenței la înaintare funcție de parametrii adoptați. Dacă în datele inițiale este dată puterea motorului, atunci calculăm forța maximă de rezistență pe care acesta o poate învinge și folosind nomograma aflăm ceilalți parametri, care nu sunt limitați prin condițiile inițiale.

Analizând nomograma putem menționa că la majorarea tuturor factorilor are loc creșterea rezistenței la amestecare. Totodată observăm că în limitele varierii factorilor viteza creșterii influenței asupra parametrului de ieșire  $Z_m$  este diferită. Observăm în partea stângă a nomogramei că la micșorarea unghiului de așchiere  $\delta$  al barelor, putem majora coeficientul de umplere pentru una și aceeași valoare a rezistenței la amestecare. Deci, majorarea productivității malaxorului are loc fără majorarea puterii motorului.

În figura 4.9 este prezentat algoritmul de determinare a rezistenței la amestecare a malaxorului cu bare cu acționare intermitentă produs la SA „INCOMAȘ”, cu volumul șarjei de  $80 \text{ dm}^3$  și care este destinat pentru prepararea amestecurilor de mortar. Parametrii constructivi ai malaxorului și tehnologici ai procesului de amestecare sunt: coeficientul de umplere  $K_u = 0,5$ ; dimensiunea agregatelor  $a = 1,25 \text{ mm}$ ; diametrul barelor  $d = 15 \text{ mm}$ ; diametrul jgheabului malaxorului  $D = 0,55 \text{ m}$ ; umiditatea amestecului  $W = 15\%$ ; raportul  $L/D = 1,4 \text{ m}$ ; unghiul de așchiere al barelor  $\delta = 90^\circ$ ; turația arborelui malaxorului  $n = 60 \text{ rot/min}$ .

Mai întâi determinăm rezistența la amestecare cu ajutorul relației (4.5) alegând coeficienții necesari, conform datelor inițiale, din tabelele 4.3-4.9 (paragraful 4.4.2). Obținem:

$$Z_m = 130 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 4,35 \cdot 1,23 \cdot 1,6 \cdot 1 = 1280 \text{ N.}$$

Pe nomogramă se obține exact aceeași valoare a rezistenței  $Z_m$ , ceea ce ne dovedește faptul că nomograma descrie adecvat dependența (4.7).

Cu ajutorul nomogramei putem optimiza parametrii malaxorului dat, astfel ca să reducem rezistența lui la amestecare nemicșorând capacitatea tobei. Pentru realizarea acestui scop propus mai întâi micșorăm unghiul de așchiere al barelor până la  $\delta = 45^\circ$ . Barele cu unghiul de așchiere mai mic de  $45^\circ$  sunt mai complicate la confecționare, au o lungime mai mare și ocupă mai mult spațiu în interiorul tobei. Apoi echipăm organul de amestecare cu inele de rigidizare, ceea ce dă posibilitate de a micșora diametrul barelor de la  $15 \text{ mm}$  până la  $10 \text{ mm}$ . Următoarea operație de optimizare constă în micșorarea raportului dintre lungimea și diametrul tobei până la valoarea  $L/D = 1$ . Pentru aceasta recalculăm diametrul tobei în așa mod ca să se păstreze capacitatea inițială a ei și primim  $D = 0,63 \text{ m}$ .

Găsim valorile coeficienților pentru parametrii optimizați din tabelele 4.3-4.9 (paragraful 4.4.2.), le introducem în relația (4.5) și obținem:

$$Z_m = 130 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,8 \cdot 1,23 \cdot 1 \cdot 0,53 = 492 N$$

Cu ajutorul nomogramei, pentru parametrii dați a fost obținută aceeași valoare a rezistenței (Anexa 23). Astfel, utilizând nomograma complexă cu puncte aliniate am optimizat un malaxor real, iar în rezultatul optimizării a fost redusă rezistența la amestecare de 2,6 ori, nemicșorând productivitatea malaxorului.

#### **4.4. Implementarea în producție și propuneri de utilizare în practică a rezultatelor obținute**

Malaxoarele elaborate în baza brevetelor de invenție obținute au fost implementate la (Anexele 24-27): Institutul de Genetică și Fiziologie a Plantelor al AȘM pentru prepararea amestecului de pământ cu turbă – efectul economic 5000 lei/an; SRL Coltan-TTD pentru prepararea nutrețurilor combinate – efectul economic 36000 lei/an; CP Rezonans pentru prepararea amestecului de deșeuri organice cu ulei mineral – efectul economic 5000 lei/an; SRL Iuran pentru prepararea amestecurilor uscate, de mortar și de beton – efectul economic 5000 lei/an.

În malaxoarele cu acționare intermitentă și organe de lucru în formă de bare situate în șah și radial pe suprafața arborelui, procesul de preparare a amestecurilor de construcție este intensificat datorită divizării materialului în șuvoaie, apoi îmbinării lor și repetarea acestor procese la fiecare rând de bare. Malaxoarele elaborate pot fi folosite în diferite domenii ale economiei naționale: construcție și tehnologia materialelor de construcție (prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar, de beton); agricultură (prepararea amestecului de pământ pentru sere și prepararea nutrețurilor combinate); energetică (prepararea amestecurilor de deșeuri organice cu ulei mineral, care pot fi utilizate ca produs finit sau la fabricarea brichetelor).

Pentru excluderea blocării particulelor este recomandă utilizarea organelor de amestecare echipate cu răzuitoare cu element elastic [23] sau cu răzuitoare articulate [27]. Construcția răzuitoarelor antiblocare asigură permanent un luft nul între capetele răzuitoarelor și suprafața interioară a tobei pe toată durata lor de funcționare.

Pentru micșorarea secțiunii barelor și deci a rezistenței la amestecare, a consumului de metal și a greutateii malaxorului este recomandă utilizarea organelor de amestecare echipate cu inele de rigidizare [3]. Inelele de rigidizare asigură unirea tuturor barelor într-un sistem integrat și distribuirea rezistenței la amestecare asupra tuturor barele, inclusiv și asupra celor care nu se află în material. La prepararea amestecurilor cu dimensiunea particulelor  $a \leq 20$  mm în malaxorul cu diametrul tobei egal cu 300 mm, coeficientul de umplere  $K_u = 0,5$ , barele cu diametrul  $d = 6$  mm

înzestrate cu inel de rigidizare asigură reducerea rezistenței la amestecare de cel puțin 1,45 ori în comparație cu barele cu diametrul cu  $d = 10$  mm utilizate anterior.

Conform rezultatelor cercetărilor, durata optimă de amestecare, la turația arborelui  $n = 60$  rot/min, în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale este 6 s în stare uscată și 8 s împreună cu apa. Acest regim asigură obținerea amestecului de beton marca M200 cu rezistența la compresiune mai mare decât rezistența medie, egală cu 19,65 MPa, conform GOST26633-91. Numărul total de șuvoaie unice care se formează în planurile longitudinale și cele transversale pe parcursul a 14 s constituie  $1,45 \cdot 10^{25}$ , tot în acest răstimp se produc 81 de migrații depline ale particulelor în lungul malaxorului și 81 de migrații depline în direcții radiale.

În baza rezultatelor cercetărilor efectuate anterior de conf. univ., dr. S. Andrievschi și conf. univ., dr. V. Lungu și completate cu rezultatele experimentale obținute de către autor, în tabelul 4.10 sunt date valorile recomandate ale parametrilor constructivi și tehnologici optimi, pentru malaxoarele cu bare cu amestecare forțată și acționare intermitentă.

Tabelul 4.10. Valorile parametrilor constructivi și tehnologici optimi, pentru malaxoarele cu bare cu amestecare forțată și acționare intermitentă

Nr. crt.	Parametrul	Valoarea
1.	Raportul dintre lungimea și diametrul tobei, $L/D$	1...1,3
2.	Unghiul de așchiere al barei cu profil longitudinal curbiliniu $\delta$ , grade	45°
3.	Unghiul de așchiere al răzuitoarelor longitudinale și radiale, grade	30°
4.	Pasul longitudinal al barelor $p$ , mm	60
5.	Numărul de rânduri longitudinale de bare radiale	6
6.	Raportul dintre pasul barelor și diametrul barei $p/d$	13
7.	Turația arborelui malaxorului $n$ , rot/min	60
8.	Durata amestecării în stare uscată, s	6
9.	Durata amestecării în stare umedă, s	8
10.	Coeficientul de umplere $K_u$	$\leq 0,5$
11	Dimensiunea particulelor $a$ , mm	$\leq 20$

Este propusă relația pentru determinarea rezistenței la amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare cu amestecare forțată funcție de șapte factori constructivi și tehnologici: coeficientul de umplere; dimensiunea particulelor; diametrul barelor; diametrul tobei; umiditatea amestecului; lungimea malaxorului; unghiul de așchiere al barelor. În baza relației date este construită nomograma inginerească, care dă posibilitate de a determina rapid

parametrii optimi ai malaxorului și ai procesului de amestecare care asigură rezistența minimă la amestecare.

La prepararea amestecurilor în malaxoarele cu bare cu amestecare forțată și acționare intermitentă trebuie de ținut cont de următoarele recomandări:

- Toate componentele amestecului trebuie să fie uscate până la umiditatea relativă de 4 %. În așa stare componentele nu formează cocoloașe iar procesul de divizare în șuvoaie și de îmbinare a lor se realizează integral;
- Mai întâi trebuie să fie încărcate în toba malaxorului componentele cu cele mai mari dimensiuni ale particulelor, apoi cele cu particulele mai mici. Aceasta contribuie la diminuarea procesului de segregare a particulelor;
- Mai întâi trebuie să fie încărcate componentele cu cantitatea cea mai mare apoi cele cu cantitatea mai mică. Deoarece, de regulă componentele cu cantități mici ale amestecului au dimensiuni minime ale particulelor, difuziunea acestora în tot amestecul are loc mai rapid de la suprafața amestecului spre fundul tobei, decât de la fundul tobei spre suprafața amestecului;
- Componentele trebuie introduse în mijlocul tobei malaxorului. Aceasta din urmă contribuie la sporirea migrației de întâmpinare a particulelor cum în lungul tobei, așa și în direcție transversală;
- Apa trebuie introdusă prin pulverizare pe toată suprafața amestecului, ceea ce facilitează procesul umezirii particulelor și micșorarea duratei de amestecare în stare umedă.

La uzina „Monolit”, orașul Zlatoust, Federația Rusă se produc malaxoare cu amestecare forțată cu un arbore orizontal. De pe site-ul <http://monolitzavod.ru> au fost colectate caracteristicile tehnice ale malaxorului БП-1Г-300 produs la uzina dată:

- Capacitatea de încărcare a tobei, $l$	300
- Volumul amestecului preparat pentru beton, $l$	200
- Productivitatea, $m^3/h$	6
- Numărul de cicluri pe ora la utilizarea în cadrul liniilor automate	30
- Durata amestecării pentru beton, $s$	90
- Puterea motorului, $kW$	5,5
- Turația arborelui, $rot/min$	40

Din datele de mai sus reiese că durata unui ciclu este  $3600/30 = 120$  s. Dacă înlocuim paletele cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale conform recomandărilor din tabelul 4.10, atunci durata totală de amestecare va fi 14 s, iar durata unui ciclu s-ar reduce până la  $120 - 90 + 14 = 44$  s. Deci, numărul de cicluri efectuate cu tot așa malaxor, dar echipat cu bare va fi  $3600/44 \approx 81$ , iar productivitatea –  $200 \cdot 81 = 16200$  l =  $16,2$  m<sup>3</sup>/h.

Calculăm productivitatea anuală de exploatare, în  $m^3/an$  pentru ambele variante ale malaxoarelor folosind relația:

$$Q_a = Q_e n_s n_{os} n_{zl} \quad (4.25)$$

unde:  $Q_e$  este productivitatea de exploatare a malaxorului,  $m^3/h$ ;

$n_s$  – numărul de schimburi în zi;

$n_{os}$  – numărul de ore pe schimb;

$n_{zl}$  – numărul de zile lucrătoare pe parcursul anului,  $n_{zl} = 254$  zile.

Productivitatea de exploatare se determină cu relația:

$$Q_e = Q k_{ut} \quad (4.26)$$

unde:  $Q$  este productivitatea tehnică,  $m^3/h$ ;

$k_{ut}$  – coeficientul de utilizare a timpului de lucru,  $k_{ut} = 0,85$ .

Pentru malaxorul cu palete productivitatea de exploatare este  $Q_e = 6 \cdot 0,85 = 5,1 m^3/h$ , iar pentru malaxorul cu bare –  $Q_e = 16,2 \cdot 0,85 = 13,8 m^3/h$ . Productivitatea anuală cu lucrul organizat într-un schimb și cu durata zilei lucrătoare de 8 ore a malaxorului cu palete este  $Q_a = 5,1 \cdot 8 \cdot 254 = 10363 m^3/an$ , iar a malaxorului cu bare –  $Q_a = 13,8 \cdot 8 \cdot 254 = 28042 m^3/an$ . Diferența volumului de amestec produs într-un an constituie  $17679 m^3$ . La prepararea, spre exemplu a amestecului de beton marca M200 cu prețul actual de 890 lei/  $m^3$  și rentabilitatea medie egală cu 15 %, atunci efectul economic al malaxorului cu bare constituie  $17679 \cdot 890 \cdot 0,15 = 2.360.146 lei/an$ .

#### 4.5. Concluzii la capitolul 4

- 4.5.1. În malaxorul gravitațional, pentru obținerea omogenității înalte a amestecului, când coeficientul de umplere a pâlniei este  $K_u = 0,4$  sunt necesare doar două semirotații ale tobei ( $v_c = 2,66$  %), iar la majorarea coeficientului de umplere până la  $K_u = 1,0$  sunt necesare deja 8 semirotații ( $v_c = 2,61$  %).
- 4.5.2. În malaxorul cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare longitudinale, după primele 3 rotații ale arborelui malaxorului, are loc distribuția componentelor în tot volumul amestecului. Micșorarea coeficientului neomogenității pentru ambele cazuri de încărcare a particulelor în toba malaxorului, are loc până la a 6-ea rotație inclusiv ( $v_c = 5,8$  % și respectiv  $v_c = 5,8$  %). La continuarea amestecării coeficientul neomogenității practic nu se schimbă.
- 4.5.3. Rezultatele experiențelor au demonstrat că pentru obținerea omogenității bune a amestecului de beton, în malaxorul cu bare și răzuitoare radiale, bare și răzuitoare



longitudinale sunt destule cinci rotații ale arborelui sau 5 secunde la turația  $n = 60$  rot/min, pentru amestecarea în stare uscată și tot atâta în stare umedă. Rezultatele cercetărilor au arătat că amestecarea în stare uscată a componentelor este factorul dominant de care depinde omogenitatea amestecului și, deci rezistența la compresiune a betonului. Amestecarea împreună cu apa trebuie să asigure umezirea tuturor particulelor – proces care în malaxorul cu bare are loc într-un timp scurt.

- 4.5.4. Este propusă relația pentru determinarea rezistenței la amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare cu amestecare forțată funcție de șapte factori constructivi și tehnologici: coeficientul de umplere; dimensiunea particulelor; diametrul barelor; diametrul tobei; umiditatea amestecului; lungimea malaxorului; unghiul de așchiere al barelor. În baza relației date este construită nomograma inginerească, care dă posibilitate de a determina rapid parametrii optimi ai malaxorului și ai procesului de amestecare care asigură cea mai mică rezistență la amestecare.
- 4.5.5. Malaxorul cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale cu volumul amestecului preparat pentru beton egal cu 200 l, în comparație cu malaxorul cu palete cu același volum, la prepararea amestecului de beton cu marca M200 și la organizarea muncii într-un schimb, asigură un efect economic de 2.360.146 lei/an.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu bare [31] și cu acționare intermitentă, situate în șah și radial pe suprafața arborelui are loc datorită divizării materialului în șuvoaie, îmbinării imediate a lor, repetarea acestor procese la fiecare rând de bare, ceea ce conduce la formarea unui număr mare de șuvoaie, migrarea particulelor din stânga spre dreapta și invers, atât în planuri longitudinale ale tobei cât și în cele transversale.
2. Procesele de divizare a materialului în șuvoaie, îmbinării lor și migrației particulelor conduc la formarea mai întâi a distribuției normale în centrul tobei, apoi normale secționate la capetele tobei, la însumarea distribuției normale centrale cu distribuțiile normale secționate și obținerea distribuției uniforme în tot volumul. Se produce un proces determinist, ușor de pronosticat.
3. Numărul șuvoaielor complexe, formate după trecerea unui rând de bare, este constant și-i egal cu  $2n_{bmin}$ , iar numărul șuvoaielor unice se dublează. Cantitatea de material a unui șuvoi unic nou format este mai mică de două ori decât a unui șuvoi premergător. Numărul șuvoaielor unice, formate în procesul amestecării, crește conform progresie geometrice, cu rația  $q = 2$ . Numărul migrațiilor depline ale particulelor depinde direct proporțional de numărul de rotații ale arborelui malaxorului, iar durata efectuării unei migrații depline depinde, la fel direct proporțional, de numărul minimal de bare în rândurile longitudinale  $n_{bmin}$ .
4. Limita divizării materialului în șuvoaie se obține atunci când grosimea șuvoiului unic devine egală cu dimensiunea particulelor celui mai mărunț component. Apoi are loc procesul divizării-îmbinării șuvoaielor formate anterior, iar structura șuvoaielor complexe se modifică numai datorită permutării particulelor. După apariția limitei divizării celui mai mărunț component, amestecarea se efectuează până la obținerea distribuției uniforme a tuturor componentelor amestecului în lungul tobei malaxorului pentru a obține o amestecare a lor omogenă garantă.
5. Elaborarea malaxoarelor noi și a organelor de amestecare optimale din punct de vedere constructiv a dat posibilitate: de a exclude blocarea particulelor între organele de amestecare și suprafața interioară a tobei; de a micșora secțiunea barelor, rezistența la amestecare și masa malaxorului datorită utilizării inelelor de rigidizare; de a micșora rezistența la amestecare cu 26,7 % datorită amplasării barelor pe arbore cu decalaj longitudinal și

circular; de a majora energia potențială a componentelor amestecului în malaxorul gravitațional cu bare și intensificarea procesului de amestecare.

6. Regimurile optimale care asigură omogenitatea înaltă a amestecului ( $v_c \approx 5\%$ ) sunt următoarele: în malaxoarele gravitaționale cu bare – 2-8 semirotații ale tobei, în dependență de coeficientul de umplere al pâlniei; în malaxoarele cu bare cu amestecare forțată – 5-6 secunde în stare uscată (la turația arborelui  $n = 60$  rot/min) și 5 secunde în stare umedă.
7. Este propusă ecuația pentru determinarea rezistenței la amestecare în malaxoarele cu bare funcție de șapte parametri constructivi și tehnologici, iar în baza ei – nomograma [8], care dă posibilitate de a determina rapid parametrii optimali care asigură cea mai mică rezistență la amestecare. Variind parametrii incluși în ecuație este posibilă stabilirea limitelor optimale ale lor pentru minimizarea rezistenței la amestecare, ceea ce este util la proiectarea, confecționarea și exploatarea malaxoarelor cu bare.
8. Reducerea duratei preparării amestecurilor în malaxoarele cu bare și acționare intermitentă dă posibilitate de a majora semnificativ productivitatea și respectiv eficiența economică a lor. Spre exemplu, malaxorul cu bare cu volumul amestecului preparat egal cu 200 l, în comparație cu malaxorul cu palete cu același volum, la prepararea amestecului de beton cu marca M200 și la organizarea muncii într-un schimb, asigură un efect economic de 2360146 lei/an.

#### **Recomandări privind cercetările de perspectivă sunt:**

1. Determinarea, prin cercetări experimentale și/sau utilizând modelarea procesului de amestecare (metoda DEM), a parametrilor optimali constructivi ai malaxoarelor cu bare și acțiune intermitentă (pasul radial și longitudinal al barelor, diametrul barelor, lungimea și diametrul tobei) și funcționali ai procesului de amestecare (coeficientul de umplere a tobei, turația arborelui și dimensiunea particulelor) care asigură cea mai înaltă omogenitate a amestecului la cele mai mici durate de amestecare. De asemenea, o importanță deosebită o constituie și cercetarea interacțiunilor factorilor enumerați.
2. Cercetarea procesului de preparare, în malaxoarele cu bare și acțiune intermitentă, a amestecurilor cu fibre de diferite tipuri, amestecurilor de beton ușor cu granule de argilă expandată, de polistiren expandat etc.
3. Cercetarea procesului de activare a particulelor în malaxoarele cu bare radiale și longitudinale și răzuitoare radiale și longitudinale.
4. Cercetarea procesului de amestecare în malaxorul cu doi arbori orizontali.
5. Elaborarea și cercetarea malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare cu ax vertical.

## BIBLIOGRAFIE

1. Andrievschi S. Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare. Chișinău: UTM, 2008. 176 p.
2. Andrievschi S., Andriuță M., Lungu V., Lozan A., Braniște I. Rezistența la amestecare a malaxoarelor cu organe de amestecare în formă de bare. În: Culegeri conf. teh.-șt. int. „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău, 2014, p. 13-16.
3. Andrievschi S., Lozan A. Optimizarea constructivă a malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare. În: Meridian ingineresc. 2015, nr. 3, p. 26-31.
4. Andrievschi S., Lozan A., Fuștei D. Cercetarea malaxorului gravitațional cu acțiune ciclică și organe de amestecare în formă de bare. În: Materialele conf. teh.-șt. a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM. Chișinău, 2014, p. 341-344.
5. Andrievschi S., Lungu V., Carcea A. Bazele cercetărilor aplicative. Curs universitar. Chișinău: Tehnica-UTM, 2013.-216 p.
6. Andrievschi S., Lungu V., Carcea A., Lozan A. Calitatea amestecării în malaxoarele cu bare și răzuitoare radiale și longitudinale. În: Culegeri conf. șt. int. “Cercetare și administrare rutieră”. București, 2013, p. 411-421.
7. Andrievschi S., Lungu V., Carcea A., Lozan A., Guștiuc I. Rezistența la amestecare a malaxorului cu decalaj circular și longitudinal al barelor. În: Materialele conf. teh.-șt. a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, Chișinău, 2015. P. 88-91.
8. Andrievschi S., Lungu V., Lozan A. Nomograma pentru determinarea rezistenței la amestecare a malaxorului cu bare. În: Materialele conf. teh.-șt. a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, Chișinău, 2016.
9. Andrievschi S., Lungu V., Lozan A. Rezistența la compresiune a betonului preparat în malaxoarele cu bare”. În: Buletinul INCERCOM Nr.6 CI, conferința internațională „DeDuCon-INCERCOM”. Chișinău, 2015, p. 200-205.
10. Andrievschi Serghei. Evoluția organelor de amestecare ale malaxoarelor de construcție. În: Culegeri conf. teh.-șt. int. „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău, 2010, p. 167-174.
11. Andrievschi S., Carcea, A., Lozan A. Migrația particulelor în procesul amestecării în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare. În: Culegeri conf. teh.-șt. int. „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău, 2012, p. 28-33.

12. Avram C., Bob C. Noi tipuri de betoane speciale. București: Tehnică, 1980. p. 336.
13. Bratu P. Mașini de terasamente; Concept de performanță. Universitatea Tehnică a Moldovei. Catedra de Mașini și Mecanisme de Construcții. Chișinău. 1995, 96 p.
14. Brevet de invenție. 2301 C2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cere depusă 19.11.2001, BOPI nr.11/2003.
15. Brevet de invenție. 2303 C2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor vibrator cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cere depusă 22.11.2001, BOPI nr. 11/2003.
16. Brevet de invenție. 2423 C2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu, Anatol Izbândă (MD). Cerere depusă 2001.12.28, BOPI nr. 4/2004.
17. Brevet de invenție. 3287 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cerere depusă 2006.04.16, BOPI nr. 4/2007.
18. Brevet de invenție. 3415 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cerere depusă 2006.04.14, BOPI nr. 10/2007.
19. Brevet de invenție. 3448 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Andrei Daniță (MD). Cerere depusă 2007.07.02, BOPI nr. 12/2007.
20. Brevet de invenție. 3887 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Vasile Bulat (MD). Cerere depusă 2008.06.30, BOPI nr. 4/2009.
21. Brevet de invenție. 479 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cerere depusă 1995.05.29, BOPI nr.10/96.
22. Brevet de invenție. 655 G2, MD, B 01 F 7/02. Malaxor / Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu (MD). Cerere depusă 1996.04.04, BOPI nr.1/97.
23. Brevet de invenție. 583 Z, Andrievschi S., Lozan A. Malaxor cu acțiune ciclică. MD, 2013.08.31. BOPI nr. 1/2013.
24. Brevet de invenție. 747 Z, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Alexandr Lozan, Oleg Vascan (MD). Cerere depusă 2013.05.31, BOPI nr. 3/2014.
25. Brevet de invenție. 748 Z, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Alexandr Lozan, Denis Fuștei (MD). Cerere depusă 2013.05.31, BOPI nr. 3/2014.
26. Brevet de invenție. 815 Z, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Alexandr Lozan, Igor Guștiuc (MD). Cerere depusă 2014.01.21, BOPI nr. 9/2014.

27. Brevet de invenție. 883 Z, MD, B 01 F 7/02. Malaxor cu acțiune ciclică / Serghei Andrievschi, Alexandr Lozan, Igor Braniște (MD). Cerere depusă 2014.06.06, BOPI nr. 2/2015.
28. Ciumac P., Ciumac V., Ciumac M. Teoria probabilităților și elemente de statistică matematică. Chișinău: UTM, 2003. 278 p.
29. Ionescu I. Betoane de înaltă performanță. București: Tehnică, 1999. 298 p.
30. Ionescu I., Ispas Tr. Proprietățile și tehnologia betoanelor. București: Tehnică, 1997. 720 p.
31. Lozan A. Fenomenele procesului de amestecare în malaxoarele cu bare cu acțiune intermitentă. În: Meridian ingineresc. 2016, nr. 1, p. 27-32.
32. Lozan A. Andrievschi S. Legități ale procesului de amestecare în malaxoarele cu bare. În: Materialele conf. teh.-șt. a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, Chișinău, 2011, p. 446-449.
33. Lozan A. Structura amestecului de construcție preparat în malaxorul cu bare și acționare intermitentă. În: Materialele conf. teh.-șt. a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, Chișinău, 2014, p. 373-376.
34. Lozan A. Studiul procesului de amestecare în planuri longitudinale și transversale. În: Culegerile celui de a XV-a simpozion anual științifico – practic „Lecturi AGEPI”. Chișinău, 2013 p. 137-145.
35. Lungu V. Optimizarea funcțională și constructivă a malaxoarelor cu acțiune continuă cu organe de amestecare în formă de bare. Teză de dr. în tehnică. Chișinău, 2009. 201 p.
36. Mihăilescu Șt., Goran V., Bratu P. Mașini de construcții. V. III. Construcția, calculul și încercarea mașinilor pentru lucrări de beton și mortar. București: Tehnică, 1986. 243 p.
37. Mihăilescu, Șt. Mașini de construcții și pentru prelucrarea agregatelor. București: Didactică și Pedagogică, 1983. 505 p.
38. Moldovan V. Aditivi în betoane. București: Tehnică, 1978. 334 p.
39. Neville A. Proprietățile betonului. Traducere din limba engleză de D. Constantinescu după ediția din 1975. București: Tehnică, 1979. 510 p.
40. Peicu R. Mașini din industria materialelor de construcții. Partea întâi. București: Didactică și Pedagogică, 1966. 496 p.
41. Proceduri privind asigurarea calității lucrărilor pentru prepararea, transportul și punerea în operă a betoanelor/ Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON SA- București: Impuls. 2000, 120 p.
42. Štěrbáček Z., Tausk P. Amestecarea în industria chimică. Traducere din limba cehă după O. Šmighalschi, J. Camil. București: Tehnică, 1969. 423 p.

43. Volcov D.P., Alioşin N.I., Cricun V.I. Maşini de construcţii. Trad. din l. rusă: S. Andrievschi şi M. Vangheli. Chişinău.: Univesitas, 1993. 337 p.
44. Адлер Ю. П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 326 с.
45. Андриуцэ М. Д. и др. Совершенствование земляных работ в нефтегазопромысловом строительстве. Кишинёв: Картя Молдовеняскэ., 1990. 200 с.
46. Андриуцэ М. Д., Холмогоров А. П., Урсу В. Н. Совершенствование земляных работ в нефтегазопромышленном строительстве. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1990. 200 с.
47. Баженов Ю.М. Современные технологии бетонов. В ж.: Технология бетонов. №1. 2005. с. 6-7.
48. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1978. 455 с.
49. Бакин И. А. Интенсификация процессов смешивания при получении комбинированных продуктов в аппаратах центробежного типа. Диссертация на соискание степени доктора технических наук. Кемерово, 2009.- 288 с.
50. Бакин И. А. Математическое моделирование на основе стохастического подхода процесса смешивания дисперсных материалов. Кемерово: КемТИПП, 2008. – 164 с.
51. Бакин И. А., Иванец В. Н. Теоретические и практические аспекты разработки конструкций центробежных смесителей для переработки дисперсных материалов. Кемерово: КемТИПП, 2007. – 156 с.
52. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
53. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
54. Богомолов А. А., Бунин М. В. Анализ влияния конструкции бетоносмесителей на однородность смеси. – В кн.: Конструирование и динамическое исследование узлов механического оборудования предприятий строительных материалов. – Тр. Моск. инж.-строит. ин-т и Белгород. технол. ин-т строит. матер., 1974, вып. 2, с. 51–60.
55. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1987. 368 с.
56. Браиловский А. Е. Правила построения инженерных номограмм. Учебное пособие. Пермь: Пермский политехнический институт. 1966. 56 с.

57. Бунин М. В., Ничке В. В., Кириченко И. Г., Богомолов А. А. Создание и эксплуатация строительных машин при вариационном выборе технических решений. – Киев: УМК ВО, 1992. – 196 с.
58. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1969. 232 с.
59. Волков М. В., Королев Л.В., Таршис М.Ю. математическая модель процесса смешивания сыпучих материалов в новом устройстве гравитационно-пересыпного действия. Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-5. – С. 960-964.
60. Воронин В. В. și а. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2015. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1400> (vizitat 25.09.2014).
61. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. Издание восьмое. –М.: Наука, 1966,-872 с.
62. Гучева Н. В. Экспериментальные исследования процесса смешивания сыпучих зерновых материалов. Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. №. 3. С. 172-177.
63. Дёмин О. В., Смолин Д. О. Способ определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Материалы международной научно-практич. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований, 2012. Одесса: Черноморье, 2012. – С. 54-56.
64. Дёмин О.В., Смолин Д.О., Першин В.Ф. Оценка качества смеси сыпучих материалов на основе анализа их цифровых изображений. Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.
65. Добронравов С. С. Строительные машины и оборудование. Справочник для строит. спец. вузов инж. техн. работников. М.: Высшая школа, 1991. 456 с.
66. Домбровский Н. Г., Картвелишвили Ю. А., Гальперин М. И. Строительные машины. Учебник для вузов в 2 частях. Ч. 1 – я. М.: Машиностроение.1976. – 391 с.
67. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учебник для вузов по по дисциплине «Дорожные машины» для специальностей 170900, 230100, 150600/ В. И. Баловнев и др.; Под общ. ред. В. И. Баловнева.- 2-е изд., дополн и перераб. Москва-Омск: СибАДИ, 2001. 528 с.
68. Езерский Н.В., Кулик Б.Ф. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Минск, Вышэйш. Школа, 1977. 240 с.
69. Житкевичь Н. А. Бетонъ и бетонныя работы. С.-Петербургъ. 1912. 524 с.



70. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Изд. 2-е перераб. и доп. –М.: Машиностроение. 1968. – 376 стр.
71. Золотарев О. В. Смеситель для сухих строительных смесей лоткового типа. Автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 2006 – 23 с.
72. Катаев Ф. П., Абросимов К. Ф., Бромберг А. А., Бромберг Ю. А. Машины для строительства дорог. М., Машиностроение, 1971, 624 с.
73. Каталог планов второго порядка / Голикова Т.Н., Панченко Л.А., Фридман М.З. М.: Изд-во Моск. Ун-та 1974. (межфак. лаб. стат. методов мгу, вып. 47) часть 1, 1974, 387 с., часть 2. 1974, 384 с.
74. Колбасин А.М. Автоматизация технологического процесса управления производством многокомпонентных сыпучих бетонных смесей с учетом ошибок дозирования. Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2007, 19 с.
75. Колодзий И.И. Машинист бетоноукладчика и формовочного оборудования. М.: Высшая школа, 1974. 264 с.
76. Константопуло Г. С. Механическое оборудование заводов железобетонных изделий и термоизоляционных материалов. М.: Высшая школа, 1969. 342 с.
77. Конструирование и расчет машин химических производств: Учебник для вузов / Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов, Ю.И. Макаров, М.П. Макевнин, Н.И. Рассказов. М.: Машиностроение, 1985. 406 с.
78. Королев К. М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.
79. Королев К. М. Передвижные бетоно-растворосмесители и бетононасосные установки.–М.: Высш. шк., 1986. – 215 с.
80. Королев, Л.В., Таршис М.Ю. Метод оценки качества смешения сыпучих материалов по распределению частиц в плоском сечении рабочего объема. Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2002. – Т. 45, № 1. – С. 98–100.
81. Косач А. Ф. Влияние технологических факторов на свойства растворной части бетона. В ж.: Изв. вузов. Строительство, 2003. № 5, с. 27-33.
82. Куннос Г. Я. Вибрационная технология бетона. Л.: Стройиздат, 1967. 167 с.
83. Куннос Г. Я. и др. Теория и практика вибросмешивания бетонных смесей. Рига: Акад. наук Латв. ССР, 1962. 216 с.
84. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. Пер. с фр. Изд.3. М.: Строительство, 1959. 296 с.

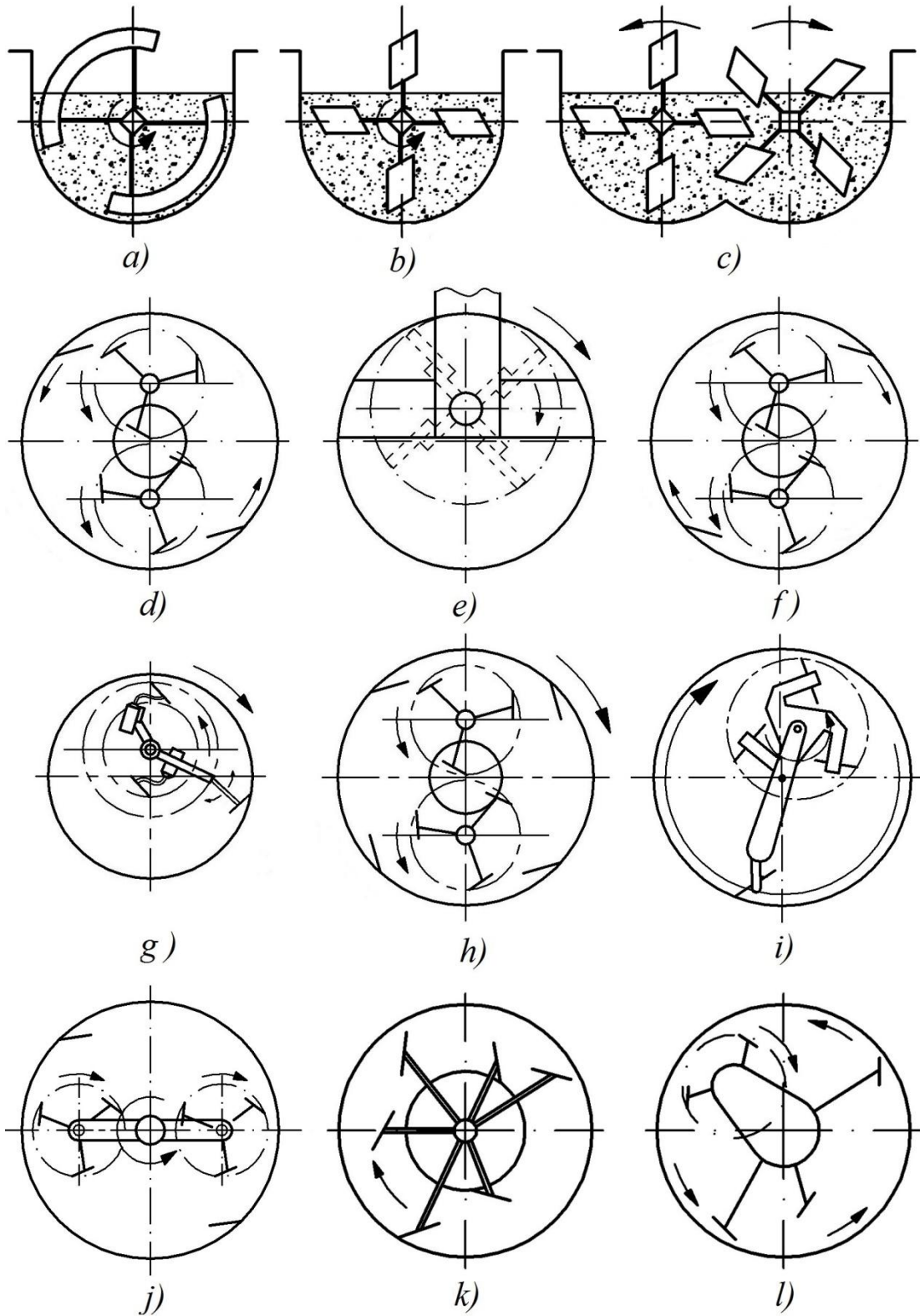
85. Либенко А.В. Научно-методологические основы и методы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами промышленного производства и использования многокомпонентных бетонных смесей. Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 2007, 45 с.
86. Липилин А.Б., Коренюгина, Н.В., Векслер, М.В. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента. В ж.: Строительные материалы. 2007, №7, с. 74-75.
87. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973, 216 с.
88. Макаров, Ю. И. Основы расчета процессов смешения сыпучих материалов. Исследование и разработка смесительных аппаратов: Дис. докт. техн. наук. – М.: МИХМ, 1975. – 608 с.
89. Макарова Л. В. Технология экспертной оценки: Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Квалиметрия и управление качеством». Пенза: ПГУАС, 2003, 16 с.
90. Мартынов В. Д., Алешин Н. И., Морозов Б. П. Строительные машины и монтажное оборудование. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
91. Мартынов В.Д. Исследование рабочих органов растворосмесительных машин. Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1962, 18 с.
92. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
93. Мельников С. В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
94. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. -М: Наука, 1971, 576 с.
95. Михэйлеску С. Т. Исследование некоторых вопросов, касающихся бетоносмесителей турбинного действия. Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1966, 19 с.
96. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
97. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1981. 152 с.
98. Осіна Л. М. Розробка смесителя для приготавлювання фібробетонної суміші на базі управляемого вібробуджувача. Автореф. дис. канд. техн. наук. Полтава, 2000, 18 с.
99. Пат. 2343457 Российская Федерация, МПК G 01 N 21/85. Способ определения качества смеси сыпучих материалов / Ткачѳв А.Г. [и др.]. Опубл. 10.01.09, Бюл. № 1.

100. Пат. 2371698 Российская Федерация, МКП G 01 N 1/28. Способ определения коэффициента неоднородности смеси сыпучих материалов / Лебедев А.Е. [и др.]. Оpubл. 27.10.2009, Бюл. № 30.
101. Пат. 2385454 Российская Федерация, МПК G 01 N 1/38, В 01 F 3/18. Способ определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету / Таршис М.Ю., Королев Л.В., Зайцев А.И. Оpubл. 27.03.10, Бюл. № 9.
102. Португальский Л.М., Воронов В.И., Бредулеа В.Г. Бетоносмеситель СБ – 146. – Строительные и дорожные машины, 1983, №9, с.18-19.
103. Рыжов Э. В. Горленко О.А. Математические методы в технологических исследованиях. Киев: Наук. Думка, 1990. 184 с.
104. Сапожников М. Я. и др. Механическое оборудование для производства строительных изделий. М.: Государственное издательство по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. 556 с.
105. Сапожников М. Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Высшая школа,, 1971. 382 с.
106. Сапожников М.Я., Гиберов З.Г. Механическое оборудование заводов по производству изделий с применением пластмасс и древесины. М.: Высшая школа. 1976. 378 с.
107. Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств. М.: Машиностроение-1, 2004. 120 с.
108. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.
109. Силенок, С.Г. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.
110. Смолин Д.О., Дёмин О.В., Першин В.Ф. Разработка экспресс-метода определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Вестник ТГТУ. 2012. Том 18. № 4. С. 849-855.
111. Соколов, М.В. и др. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин. М.: Машиностроение-1, 2004. 248 с.
112. Стефанов Б.В., Русанова Н.Г., Волянский А.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. Киев: Вища школа, 1982. 406 с.
113. Строительные машины: Справочник т.1. Под. общ. ред. Э.Н. Кузина. М.: Машиностроение, 1981. 496 с.

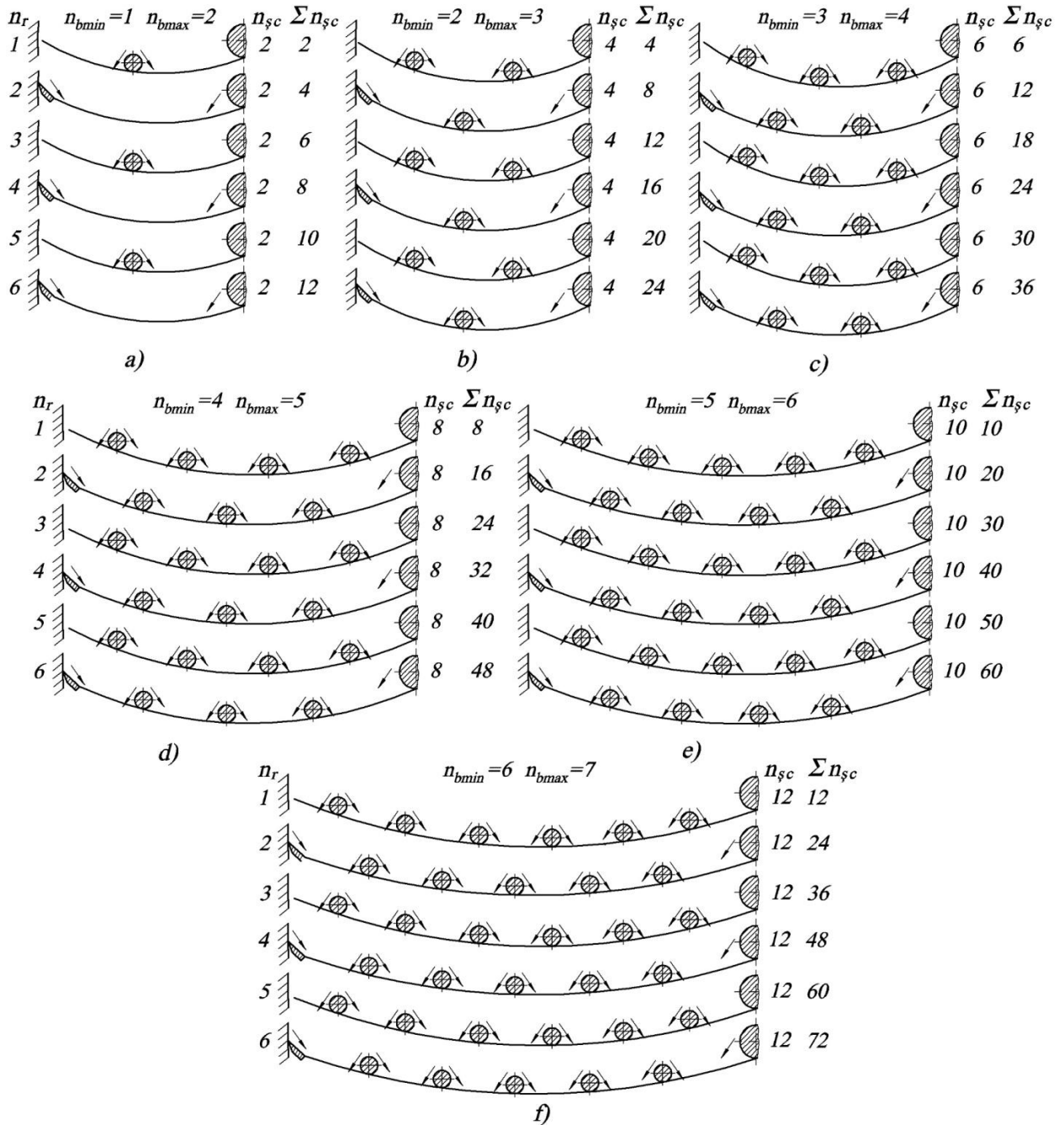
114. Фиделев А. С. Строительные машины зарубежных стран. К.: Вища шк., 1984. 128 с.
115. Хованский Г. С. Основы номографии. М.: Наука, 1976. 352 с.
116. Bentur A. Cement materials — nine millennia and a new century: past, present and future. In: Journal of materials in civil engineering, 2002, №1, p. 2-22.
117. Cramer H., "Math. Z.", 1936, Bd 41, S.405-14.
118. Levi P., "J. Math, pures et appl.", 1935, t. 14, p. 347 -402.
119. Swain, M.J. Color Indexing / M.J. Swain, D.H. Ballard // International Journal of Computer Vision. – 1991. – Vol. 7, No. 1. – P. 11–32. (106).
120. Matthew D. Sinnott<sup>1</sup>, Paul W. Cleary<sup>1</sup>. The effect of particle shape on mixing in a high shear mixer. Computational Particle Mechanics. November 2016. Volume 3, Issue 4. 477–504 p.
121. Arntz, M. M. and others. The influence of end walls on the segregation pattern in a horizontal rotating drum. Granular Matter, Vol. 15, No. 1. 2013.. 25-38 p.
122. Huabiao Qi and others. Researches on mixing of granular materials with discrete element method. Progress in Chemistry, Vol. 27. 2015. 113–124 p.
123. Xinxin Ren and other. GPU-based discrete element simulation on a tote blender for performance improvement. Powder Technologi, Vol. 239. May 2013. 348–357 p.
124. Ji Xu and other. Quasi-real-time simulation of rotating drum using discrete element method with parallel GPU computing. Particuology, Vol. 9. August 2011. 446–450 p.
125. E. Alizadeh, F. Bertrand, J. Chaouki. Comparison of DEM results and Lagrangian experimental data for the flow and mixing of granules in a rotating drum. AIChE Journal, Vol. 60. January 2014. 60–75 p.
126. Chen, P., Ottino, J. M., Lueptow, R. M. Granular axial band formation in rotating tumblers: A discrete element method study. New Journal of Physics, Vol. 13. May 2011.
127. C. Ferraris. Concrete mixing methods and concrete mixers. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol. 106, No. 2. March-April 2001. 391-399 p.
128. M. Valigi, S. Logozzo, M. Rinchi. Wear resistance of blades in planetary concrete mixers. Design of a new improved blade shape and 2D validation. Tribology International, Vol. 96. April 2016. 191–201 p.

## **ANEXE**

**Anexa 1. Schemele malaxoarelor cu palete cu amestecare forțată: a) – cu un arbore orizontal cu palete elicoidale; b) – la fel, cu palete plane; c) – cu doi arbori orizontali; d) – în echicurent cu arbori verticali și cu cuvă fixă; e) – la fel, cu cuvă rotitoare; f) în contracurent cu cuvă fixă; g) și h) – la fel, cu cuvă rotitoare; i) și j) –planetare; k) – turbomalaxoare; l) –turboplanetare.**



**Anexa 2. Schema procesului de formare a șuvoaielor complexe în planuri transversale în diferite malaxoare:  $n_{bmin}$  și  $n_{bmax}$  – numărul minimal și respectiv maximal de bare în rândurile radiale;  $n_r$  – numărul rândului longitudinale de bare;  $n_{șc}$  – numărul de șuvoaie complexe după fiecare rând aparte de bare;  $\sum n_{șc}$  – numărul șuvoaielor cumulate.**



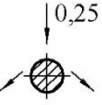

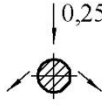
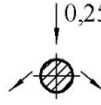












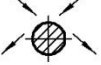
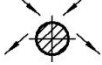





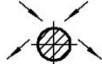








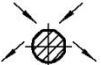
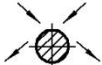



Anexa 3. Numărul șuvoaielor unice  $n_{\text{șu}}$  după fiecare rând longitudinal de bare și suma totală a lor

$\sum n_{\text{șu}}$  în malaxoarele cu  $n_{\text{bmin}} = 5 - 8$ .

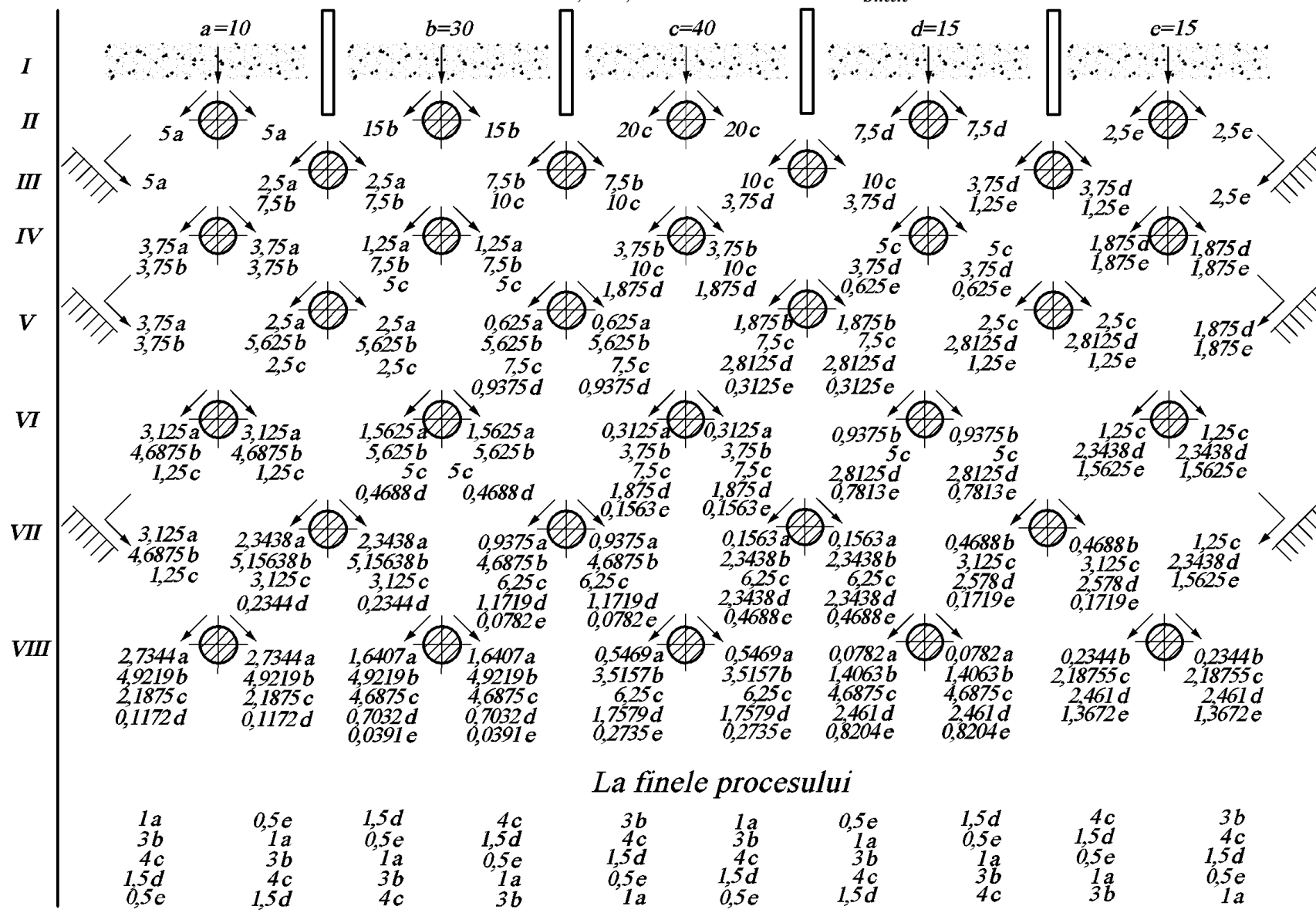
Numărul de rânduri longitudinale de bare $n$ care au trecut prin amestec	Numărul minimal de bare radiale în rândurile longitudinale $n_{\text{bmin}}$							
	5		6		7		8	
	$n_{\text{șu}}$	$\sum n_{\text{șu}}$	$n_{\text{șu}}$	$\sum n_{\text{șu}}$	$n_{\text{șu}}$	$\sum n_{\text{șu}}$	$n_{\text{șu}}$	$\sum n_{\text{șu}}$
1	10	10	12	12	14	14	16	16
2	20	30	24	36	28	42	32	48
3	40	70	48	84	56	98	64	112
4	80	150	96	180	112	210	128	240
5	160	310	192	372	224	434	256	496
6	320	630	384	756	448	882	512	1008
7	640	1270	768	1524	896	1778	1024	2032
8	1280	2550	1536	3060	1792	3570	2048	4080
9	2560	5110	3072	6132	3584	7154	4096	8176
10	5120	10230	6144	12276	7168	14322	8192	16368
11	10240	20470	12288	24564	14336	28658	16384	32752
12	20480	40950	24576	49140	28672	57330	32768	65520
13	40960	81910	49152	98292	57344	114674	65536	131056
14	81920	163830	98304	196596	114688	229362	131072	262128
15	163840	327670	196608	393204	229376	458738	262144	524272
16	327680	655350	393216	786420	458752	917490	524288	1048560
17	655360	1310710	786432	1572852	917504	1834994	1048576	2097136
18	1310720	2621430	1572864	3145716	1835008	3670002	2097152	4194288
19	2621440	5242870	3145728	6291444	3670016	7340018	4194304	8388592
20	5242880	10485750	6291456	12582900	7340032	14680050	8388608	16777200
21	10485760	20971510	12582912	25165812	14680064	29360114	16777216	33554416
22	20971520	41943030	25165824	50331636	29360128	58720242	33554432	67108848
23	41943040	83886070	50331648	100663284	58720256	117440498	67108864	134217712
24	83886080	167772150	100663296	201326580	117440512	234881010	134217728	268435440



Anexa 4. Schema formării şuvoaielor unice în malaxorul cu  $n_{bmin} = 4$ .

$n_r$										$n_{su}$	$\Sigma n_{su}$
1										8	8
		0,125s	0,125d	0,125s	0,125d	0,125s	0,125d	0,125s	0,125d		
2										16	24
	2×0,0625 sd	0,625 ds 0,625 ss	0,625 dd 0,625 sd	0,625 ds 0,625 ss	0,625 dd 0,625 sd	0,625 ds 0,625 ss	0,625 dd 0,625 sd	2×0,0625 ds			
3										32	56
	2×0,03125 sds 0,03125 dss 0,03125 sss	2×0,03125 sdd 0,03125 dsd 0,03125 sss	0,03125 dds 0,03125 sds 0,03125 sss	0,03125 ddd 0,03125 sdd 0,03125 dsd 0,03125 sss	0,03125 dds 0,03125 sds 0,03125 dss 0,03125 sss	0,03125 ddd 0,03125 sdd 0,03125 dsd 0,03125 sss	0,03125 dds 0,03125 sds 2×0,03125 dss	0,03125 ddd 0,03125 sdd 2×0,03125 dsd			
4										64	120
	4×0,015625 sdsd 2×0,015625 dssd 2×0,015625 sssd	2×0,015625 sdds 0,015625 dsds 0,015625 ssds	2×0,015625 sddd 0,015625 dsdd 0,015625 ssdd	0,015625 ddds 0,015625 sdds 0,015625 dsds 0,015625 ssds	0,015625 dddd 0,015625 sddd 0,015625 dsdd 0,015625 ssdd	0,015625 ddds 0,015625 sdds 0,015625 dsds 0,015625 ssds	0,015625 dddd 0,015625 sddd 0,015625 dsdd 0,015625 ssdd	2×0,015625 ddds 2×0,015625 sdds 4×0,015625 dsds			
5										128	248
		16	16	16	16	16	16	16	16		
6										256	504
	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
18										1048576	2097144
	131072	131072	131072	131072	131072	131072	131072	131072	131072		

**Anexa 5. Schema procesului de amestecare a componentelor amestecului situate separat în zone transversale  
cu diferite cantități inițiale în malaxorul cu  $n_{bmin} = 5$ .**



**Anexa 6. Schema procesului de distribuire a probabilităților deplasării bilei în malaxorul  
cu  $n_{bmin} = 4$  (șuvoiul inițial este turnat în centru).**

$n_r$	1									
1 \ \										
2				0,500000	0,500000					
3 \ \				0,250000	0,250000					
4		0,125000	0,125000	0,250000	0,250000	0,125000	0,125000			
5 \ \	0,062500	0,062500	0,187500	0,187500	0,187500	0,187500	0,062500	0,062500		
6	0,062500	0,125000	0,125000	0,187500	0,187500	0,125000	0,125000	0,062500		
7 \ \	0,093750	0,093750	0,156250	0,156250	0,156250	0,156250	0,093750	0,093750		
8	0,093750	0,125000	0,125000	0,156250	0,156250	0,125000	0,125000	0,093750		
9 \ \	0,109375	0,109375	0,140625	0,140625	0,140625	0,140625	0,109375	0,109375		
10	0,109375	0,125000	0,125000	0,140625	0,140625	0,125000	0,125000	0,109375		
11 \ \	0,117188	0,117188	0,132813	0,132813	0,132813	0,132813	0,117188	0,117188		
12	0,117188	0,125000	0,125000	0,132813	0,132813	0,125000	0,125000	0,117188		
13 \ \	0,121094	0,121094	0,128906	0,128906	0,128906	0,128906	0,121094	0,121094		
14	0,121094	0,125000	0,125000	0,128906	0,128906	0,125000	0,125000	0,121094		
15 \ \	0,123047	0,123047	0,126953	0,126953	0,126953	0,126953	0,123047	0,123047		
16	0,123047	0,125000	0,125000	0,126953	0,126953	0,125000	0,125000	0,123047		
17 \ \	0,124023	0,124023	0,125977	0,125977	0,125977	0,125977	0,124023	0,124023		
18	0,124023	0,125000	0,125000	0,125977	0,125977	0,125000	0,125000	0,124023		
19 \ \	0,124512	0,124512	0,125488	0,125488	0,125488	0,125488	0,124512	0,124512		
19 \ \	0,124512	0,125000	0,125000	0,125488	0,125488	0,125000	0,125000	0,124512		

20	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124756	0,124756	0,125244	0,125244	0,125244	0,125244	0,124756	0,124756	
21	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124756	0,125000	0,125000	0,125244	0,125244	0,125000	0,125000	0,124756	↙0↘
22	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124878	0,124878	0,125122	0,125122	0,125122	0,125122	0,124878	0,124878	
23	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124878	0,125000	0,125000	0,125122	0,125122	0,125000	0,125000	0,124878	↙0↘
24	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124939	0,124939	0,125061	0,125061	0,125061	0,125061	0,124939	0,124939	
25	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124939	0,125000	0,125000	0,125061	0,125061	0,125000	0,125000	0,124939	↙0↘
26	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124969	0,124969	0,125031	0,125031	0,125031	0,125031	0,124969	0,124969	
27	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124969	0,125000	0,125000	0,125031	0,125031	0,125000	0,125000	0,124969	↙0↘
28	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124985	0,124985	0,125015	0,125015	0,125015	0,125015	0,124985	0,124985	
29	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124985	0,125000	0,125000	0,125015	0,125015	0,125000	0,125000	0,124985	↙0↘
30	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124992	0,124992	0,125008	0,125008	0,125008	0,125008	0,124992	0,124992	
31	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124992	0,125000	0,125000	0,125008	0,125008	0,125000	0,125000	0,124992	↙0↘
32	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124996	0,124996	0,125004	0,125004	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	
33	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124996	0,125000	0,125000	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	↙0↘
34	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124998	0,124998	0,125002	0,125002	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	
35	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124998	0,125000	0,125000	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	↙0↘
36	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124999	0,124999	0,125001	0,125001	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	
37	↘↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,124999	0,125000	0,125000	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	↙0↘
38	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘	↙0↘
	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	

**Anexa 7. Schema procesului de distribuire a probabilităților deplasării bilei în malaxorul  
cu  $n_{bmin} = 4$  (șuvoiul inițial este turnat la prima bară din stânga).**

1	\↘										↙/
2		↙0↘									
		1									
2		↙0↘									
3	\↘	0,500000	0,500000								↙/
4		↙0↘									
3	\↘	0,500000	0,250000	0,250000							↙/
4		↙0↘									
4	\↘	0,375000	0,375000	0,125000	0,125000						↙/
5		↙0↘									
5	\↘	0,375000	0,250000	0,250000	0,062500	0,062500					↙/
6		↙0↘									
6	\↘	0,312500	0,312500	0,156250	0,156250	0,031250	0,031250				↙/
7		↙0↘									
7	\↘	0,312500	0,234375	0,234375	0,093750	0,093750	0,015625	0,015625			↙/
8		↙0↘									
8	\↘	0,273438	0,273438	0,164063	0,164063	0,054688	0,054688	0,007813	0,007813		↙/
9		↙0↘									
9	\↘	0,273438	0,218750	0,218750	0,109375	0,109375	0,031250	0,031250	0,007813		↙/
10		↙0↘									
10	\↘	0,246094	0,246094	0,164063	0,164063	0,070313	0,070313	0,019531	0,019531		↙/
11		↙0↘									
11	\↘	0,246094	0,205078	0,205078	0,117188	0,117188	0,044922	0,044922	0,019531		↙/
12		↙0↘									
12	\↘	0,225586	0,225586	0,161133	0,161133	0,081055	0,081055	0,032227	0,032227		↙/
13		↙0↘									
13	\↘	0,225586	0,193359	0,193359	0,121094	0,121094	0,056641	0,056641	0,032227		↙/
14		↙0↘									
14	\↘	0,209473	0,209473	0,157227	0,157227	0,088867	0,088867	0,044434	0,044434		↙/
15		↙0↘									
15	\↘	0,209473	0,183350	0,183350	0,123047	0,123047	0,066650	0,066650	0,044434		↙/
16		↙0↘									
16	\↘	0,196411	0,196411	0,153198	0,153198	0,094849	0,094849	0,055542	0,055542		↙/
17		↙0↘									
17	\↘	0,196411	0,174805	0,174805	0,124023	0,124023	0,075195	0,075195	0,055542		↙/
18		↙0↘									
18	\↘	0,185608	0,185608	0,149414	0,149414	0,099609	0,099609	0,065369	0,065369		↙/
19		↙0↘									
19	\↘	0,185608	0,167511	0,167511	0,124512	0,124512	0,082489	0,082489	0,065369		↙/
20		↙0↘									

21	\	0,176559	0,176559	0,146011	0,146011	0,103500	0,103500	0,073929	0,073929	↙/
22		↙0	0,161285	0,161285	0,124756	0,124756	0,088715	0,088715	0,073929	
23	\	0,168922	0,168922	0,143021	0,143021	0,106735	0,106735	0,081322	0,081322	↙/
24		↙0	0,155972	0,155972	0,124878	0,124878	0,094028	0,094028	0,081322	
25	\	0,162447	0,162447	0,140425	0,140425	0,109453	0,109453	0,087675	0,087675	↙/
26		↙0	0,151436	0,151436	0,124939	0,124939	0,098564	0,098564	0,087675	
27	\	0,156941	0,156941	0,138187	0,138187	0,111752	0,111752	0,093120	0,093120	↙/
28		↙0	0,147564	0,147564	0,124969	0,124969	0,102436	0,102436	0,093120	
29	\	0,152253	0,152253	0,136267	0,136267	0,113703	0,113703	0,097778	0,097778	↙/
30		↙0	0,144260	0,144260	0,124985	0,124985	0,105740	0,105740	0,097778	
31	\	0,148256	0,148256	0,134622	0,134622	0,115362	0,115362	0,101759	0,101759	↙/
32		↙0	0,141439	0,141439	0,124992	0,124992	0,108561	0,108561	0,101759	
33	\	0,144848	0,144848	0,133216	0,133216	0,116776	0,116776	0,105160	0,105160	↙/
34		↙0	0,139032	0,139032	0,124996	0,124996	0,110968	0,110968	0,105160	
35	\	0,141940	0,141940	0,132014	0,132014	0,117982	0,117982	0,108064	0,108064	↙/
36		↙0	0,136977	0,136977	0,124998	0,124998	0,113023	0,113023	0,108064	
37	\	0,139458	0,139458	0,130988	0,130988	0,119011	0,119011	0,110543	0,110543	↙/
38		↙0	0,135223	0,135223	0,124999	0,124999	0,114777	0,114777	0,110543	
39	\	0,137341	0,137341	0,130111	0,130111	0,119888	0,119888	0,112660	0,112660	↙/
40		↙0	0,133726	0,133726	0,125000	0,125000	0,116274	0,116274	0,112660	
			0,135533	0,135533	0,129363	0,129363	0,120637	0,120637	0,114467	

41	\	0,135533	0,132448	0,132448	0,125000	0,125000	0,117552	0,117552	0,114467	/
42		0,133991	0,133991	0,128724	0,128724	0,121276	0,121276	0,116010	0,116010	
43	\	0,133991	0,131357	0,131357	0,125000	0,125000	0,118643	0,118643	0,116010	/
44		0,132674	0,132674	0,128179	0,128179	0,121821	0,121821	0,117326	0,117326	
45	\	0,132674	0,130426	0,130426	0,125000	0,125000	0,119574	0,119574	0,117326	/
46		0,131550	0,131550	0,127713	0,127713	0,122287	0,122287	0,118450	0,118450	
47	\	0,131550	0,129632	0,129632	0,125000	0,125000	0,120368	0,120368	0,118450	/
48		0,130591	0,130591	0,127316	0,127316	0,122684	0,122684	0,119409	0,119409	
49	\	0,130591	0,128953	0,128953	0,125000	0,125000	0,121047	0,121047	0,119409	/
50		0,129772	0,129772	0,126977	0,126977	0,123023	0,123023	0,120228	0,120228	
51	\	0,129772	0,128374	0,128374	0,125000	0,125000	0,121626	0,121626	0,120228	/
52		0,129073	0,129073	0,126687	0,126687	0,123313	0,123313	0,120927	0,120927	
53	\	0,129073	0,127880	0,127880	0,125000	0,125000	0,122120	0,122120	0,120927	/
54		0,128477	0,128477	0,126440	0,126440	0,123560	0,123560	0,121523	0,121523	
55	\	0,128477	0,127458	0,127458	0,125000	0,125000	0,122542	0,122542	0,121523	/
56		0,127968	0,127968	0,126229	0,126229	0,123771	0,123771	0,122032	0,122032	
57	\	0,127968	0,127098	0,127098	0,125000	0,125000	0,122902	0,122902	0,122032	/
58		0,127533	0,127533	0,126049	0,126049	0,123951	0,123951	0,122467	0,122467	
59	\	0,127533	0,126791	0,126791	0,125000	0,125000	0,123209	0,123209	0,122467	/
60		0,127162	0,127162	0,125896	0,125896	0,124104	0,124104	0,122838	0,122838	
61	\									/

62	0,127162	0,126529	0,126529	0,125000	0,125000	0,123471	0,123471	0,122838
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
63	0,126845	0,126845	0,125764	0,125764	0,124236	0,124236	0,123155	0,123155
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
64	0,126845	0,126305	0,126305	0,125000	0,125000	0,123695	0,123695	0,123155
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
65	0,126575	0,126575	0,125652	0,125652	0,124348	0,124348	0,123425	0,123425
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
66	0,126575	0,126114	0,126114	0,125000	0,125000	0,123886	0,123886	0,123425
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
67	0,126344	0,126344	0,125557	0,125557	0,124443	0,124443	0,123656	0,123656
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
68	0,126344	0,125951	0,125951	0,125000	0,125000	0,124049	0,124049	0,123656
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
69	0,126148	0,126148	0,125475	0,125475	0,124525	0,124525	0,123852	0,123852
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
70	0,126148	0,125811	0,125811	0,125000	0,125000	0,124189	0,124189	0,123852
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
71	0,125980	0,125980	0,125406	0,125406	0,124594	0,124594	0,124020	0,124020
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
72	0,125980	0,125693	0,125693	0,125000	0,125000	0,124307	0,124307	0,124020
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
73	0,125836	0,125836	0,125346	0,125346	0,124654	0,124654	0,124164	0,124164
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
74	0,125836	0,125591	0,125591	0,125000	0,125000	0,124409	0,124409	0,124164
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
75	0,125714	0,125714	0,125296	0,125296	0,124704	0,124704	0,124286	0,124286
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
76	0,125714	0,125505	0,125505	0,125000	0,125000	0,124495	0,124495	0,124286
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
77	0,125609	0,125609	0,125252	0,125252	0,124748	0,124748	0,124391	0,124391
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
78	0,125609	0,125431	0,125431	0,125000	0,125000	0,124569	0,124569	0,124391
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
79	0,125520	0,125520	0,125215	0,125215	0,124785	0,124785	0,124480	0,124480
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
80	0,125520	0,125368	0,125368	0,125000	0,125000	0,124632	0,124632	0,124480
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
81	0,125444	0,125444	0,125184	0,125184	0,124816	0,124816	0,124556	0,124556
	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	0,125444	0,125314	0,125314	0,125000	0,125000	0,124686	0,124686	0,124556



82		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125379	0,125379	0,125157	0,125157	0,124843	0,124843	0,124621	0,124621	
83	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125379	0,125268	0,125268	0,125000	0,125000	0,124732	0,124732	0,124621	
84		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125323	0,125323	0,125134	0,125134	0,124866	0,124866	0,124677	0,124677	
85	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125323	0,125229	0,125229	0,125000	0,125000	0,124771	0,124771	0,124677	
86		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125276	0,125276	0,125114	0,125114	0,124886	0,124886	0,124724	0,124724	
87	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125276	0,125195	0,125195	0,125000	0,125000	0,124805	0,124805	0,124724	
88		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125236	0,125236	0,125098	0,125098	0,124902	0,124902	0,124764	0,124764	
89	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125236	0,125167	0,125167	0,125000	0,125000	0,124833	0,124833	0,124764	
90		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125201	0,125201	0,125083	0,125083	0,124917	0,124917	0,124799	0,124799	
91	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125201	0,125142	0,125142	0,125000	0,125000	0,124858	0,124858	0,124799	
92		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125172	0,125172	0,125071	0,125071	0,124929	0,124929	0,124828	0,124828	
93	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125172	0,125121	0,125121	0,125000	0,125000	0,124879	0,124879	0,124828	
94		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125146	0,125146	0,125061	0,125061	0,124939	0,124939	0,124854	0,124854	
95	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125146	0,125104	0,125104	0,125000	0,125000	0,124896	0,124896	0,124854	
96		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125125	0,125125	0,125052	0,125052	0,124948	0,124948	0,124875	0,124875	
97	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125125	0,125088	0,125088	0,125000	0,125000	0,124912	0,124912	0,124875	
98		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125107	0,125107	0,125044	0,125044	0,124956	0,124956	0,124893	0,124893	
99	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125107	0,125075	0,125075	0,125000	0,125000	0,124925	0,124925	0,124893	
100		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125091	0,125091	0,125038	0,125038	0,124962	0,124962	0,124909	0,124909	
101	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125091	0,125064	0,125064	0,125000	0,125000	0,124936	0,124936	0,124909	
102		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125078	0,125078	0,125032	0,125032	0,124968	0,124968	0,124922	0,124922	



127	\	0,125012	0,125012	0,125005	0,125005	0,124995	0,124995	0,124988	0,124988	✓/
128		0,125012	0,125008	0,125008	0,125000	0,125000	0,124992	0,124992	0,124988	✓0\
129	\	0,125010	0,125010	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	0,124990	0,124990	✓/
130		0,125010	0,125007	0,125007	0,125000	0,125000	0,124993	0,124993	0,124990	✓0\
131	\	0,125008	0,125008	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	0,124992	0,124992	✓/
132		0,125008	0,125006	0,125006	0,125000	0,125000	0,124994	0,124994	0,124992	✓0\
133	\	0,125007	0,125007	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124993	0,124993	✓/
134		0,125007	0,125005	0,125005	0,125000	0,125000	0,124995	0,124995	0,124993	✓0\
135	\	0,125006	0,125006	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124994	0,124994	✓/
136		0,125006	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	0,124996	0,124994	✓0\
137	\	0,125005	0,125005	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124995	0,124995	✓/
138		0,125005	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	0,124996	0,124995	✓0\
139	\	0,125004	0,125004	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124996	0,124996	✓/
140		0,125004	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124996	✓0\
141	\	0,125004	0,125004	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124996	0,124996	✓/
142		0,125004	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124996	✓0\
143	\	0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997	✓/
144		0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997	✓0\
145	\	0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997	✓/
146		0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997	✓0\
147	\	0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	✓/
148		0,125002	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124998	✓0\
149	\	0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	✓/
		0,125002	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124998	✓0\

150		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125002		0,125002		0,125001		0,125001		0,124999		0,124998
151	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125002		0,125001		0,125001		0,125000		0,124999		0,124998
152		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125001		0,124999		0,124999
153	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,124999
154		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125001		0,124999		0,124999
155	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,124999
156		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,124999
157	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,124999
158		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,124999
159	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,124999
160		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,124999
161	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,124999
162		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,124999
163	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000
164		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125001		0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,124999
165	↘↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
	0,125001		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000
166		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125000		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000		0,125000



21	\	0,161285	0,161285	0,140030	0,140030	0,109970	0,109970	0,088715	0,088715	
22		0,161285	0,150658	0,150658	0,125000	0,125000	0,099342	0,099342	0,088715	↙/
23	\	0,155972	0,155972	0,137829	0,137829	0,112171	0,112171	0,094028	0,094028	
24		0,155972	0,146900	0,146900	0,125000	0,125000	0,103100	0,103100	0,094028	↙/
25	\	0,151436	0,151436	0,135950	0,135950	0,114050	0,114050	0,098564	0,098564	
26		0,151436	0,143693	0,143693	0,125000	0,125000	0,106307	0,106307	0,098564	↙/
27	\	0,147564	0,147564	0,134346	0,134346	0,115654	0,115654	0,102436	0,102436	
28		0,147564	0,140955	0,140955	0,125000	0,125000	0,109045	0,109045	0,102436	↙/
29	\	0,144260	0,144260	0,132978	0,132978	0,117022	0,117022	0,105740	0,105740	
30		0,144260	0,138619	0,138619	0,125000	0,125000	0,111381	0,111381	0,105740	↙/
31	\	0,141439	0,141439	0,131809	0,131809	0,118191	0,118191	0,108561	0,108561	
32		0,141439	0,136624	0,136624	0,125000	0,125000	0,113376	0,113376	0,108561	↙/
33	\	0,139032	0,139032	0,130812	0,130812	0,119188	0,119188	0,110968	0,110968	
34		0,139032	0,134922	0,134922	0,125000	0,125000	0,115078	0,115078	0,110968	↙/
35	\	0,136977	0,136977	0,129961	0,129961	0,120039	0,120039	0,113023	0,113023	
36		0,136977	0,133469	0,133469	0,125000	0,125000	0,116531	0,116531	0,113023	↙/
37	\	0,135223	0,135223	0,129234	0,129234	0,120766	0,120766	0,114777	0,114777	
38		0,135223	0,132229	0,132229	0,125000	0,125000	0,117771	0,117771	0,114777	↙/
39	\	0,133726	0,133726	0,128614	0,128614	0,121386	0,121386	0,116274	0,116274	
40		0,133726	0,131170	0,131170	0,125000	0,125000	0,118830	0,118830	0,116274	↙/

41	\	0,132448	0,132448	0,128085	0,128085	0,121915	0,121915	0,117552	0,117552	
42		0,132448	0,130267	0,130267	0,125000	0,125000	0,119733	0,119733	0,117552	↙/
43	\	0,131357	0,131357	0,127633	0,127633	0,122367	0,122367	0,118643	0,118643	
44		0,131357	0,129495	0,129495	0,125000	0,125000	0,120505	0,120505	0,118643	↙/
45	\	0,130426	0,130426	0,127248	0,127248	0,122752	0,122752	0,119574	0,119574	
46		0,130426	0,128837	0,128837	0,125000	0,125000	0,121163	0,121163	0,119574	↙/
47	\	0,129632	0,129632	0,126918	0,126918	0,123082	0,123082	0,120368	0,120368	
48		0,129632	0,128275	0,128275	0,125000	0,125000	0,121725	0,121725	0,120368	↙/
49	\	0,128953	0,128953	0,126638	0,126638	0,123362	0,123362	0,121047	0,121047	
50		0,128953	0,127795	0,127795	0,125000	0,125000	0,122205	0,122205	0,121047	↙/
51	\	0,128374	0,128374	0,126398	0,126398	0,123602	0,123602	0,121626	0,121626	
52		0,128374	0,127386	0,127386	0,125000	0,125000	0,122614	0,122614	0,121626	↙/
53	\	0,127880	0,127880	0,126193	0,126193	0,123807	0,123807	0,122120	0,122120	
54		0,127880	0,127037	0,127037	0,125000	0,125000	0,122963	0,122963	0,122120	↙/
55	\	0,127458	0,127458	0,126018	0,126018	0,123982	0,123982	0,122542	0,122542	
56		0,127458	0,126738	0,126738	0,125000	0,125000	0,123262	0,123262	0,122542	↙/
57	\	0,127098	0,127098	0,125869	0,125869	0,124131	0,124131	0,122902	0,122902	
58		0,127098	0,126484	0,126484	0,125000	0,125000	0,123516	0,123516	0,122902	↙/
59	\	0,126791	0,126791	0,125742	0,125742	0,124258	0,124258	0,123209	0,123209	
60		0,126791	0,126266	0,126266	0,125000	0,125000	0,123734	0,123734	0,123209	↙/
61	\	0,126529	0,126529	0,125633	0,125633	0,124367	0,124367	0,123471	0,123471	





82	0,125314	0,125222	0,125222	0,125000	0,125000	0,124778	0,124778	0,124686
83	\↘ 0,125268	↙0↘ 0,125268	↙0↘ 0,125111	↙0↘ 0,125111	↙0↘ 0,124889	↙0↘ 0,124889	↙0↘ 0,124732	↙0↘ 0,124732
84	0,125268	↙0↘ 0,125189	↙0↘ 0,125189	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124811	↙0↘ 0,124811	↙0↘ 0,124732
85	\↘ 0,125229	↙0↘ 0,125229	↙0↘ 0,125095	↙0↘ 0,125095	↙0↘ 0,124905	↙0↘ 0,124905	↙0↘ 0,124771	↙0↘ 0,124771
86	0,125229	↙0↘ 0,125162	↙0↘ 0,125162	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124838	↙0↘ 0,124838	↙0↘ 0,124771
87	\↘ 0,125195	↙0↘ 0,125195	↙0↘ 0,125081	↙0↘ 0,125081	↙0↘ 0,124919	↙0↘ 0,124919	↙0↘ 0,124805	↙0↘ 0,124805
88	0,125195	↙0↘ 0,125138	↙0↘ 0,125138	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124862	↙0↘ 0,124862	↙0↘ 0,124805
89	\↘ 0,125167	↙0↘ 0,125167	↙0↘ 0,125069	↙0↘ 0,125069	↙0↘ 0,124931	↙0↘ 0,124931	↙0↘ 0,124833	↙0↘ 0,124833
90	0,125167	↙0↘ 0,125118	↙0↘ 0,125118	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124882	↙0↘ 0,124882	↙0↘ 0,124833
91	\↘ 0,125142	↙0↘ 0,125142	↙0↘ 0,125059	↙0↘ 0,125059	↙0↘ 0,124941	↙0↘ 0,124941	↙0↘ 0,124858	↙0↘ 0,124858
92	0,125142	↙0↘ 0,125101	↙0↘ 0,125101	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124899	↙0↘ 0,124899	↙0↘ 0,124858
93	\↘ 0,125121	↙0↘ 0,125121	↙0↘ 0,125050	↙0↘ 0,125050	↙0↘ 0,124950	↙0↘ 0,124950	↙0↘ 0,124879	↙0↘ 0,124879
94	0,125121	↙0↘ 0,125086	↙0↘ 0,125086	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124914	↙0↘ 0,124914	↙0↘ 0,124879
95	\↘ 0,125104	↙0↘ 0,125104	↙0↘ 0,125043	↙0↘ 0,125043	↙0↘ 0,124957	↙0↘ 0,124957	↙0↘ 0,124896	↙0↘ 0,124896
96	0,125104	↙0↘ 0,125073	↙0↘ 0,125073	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124927	↙0↘ 0,124927	↙0↘ 0,124896
97	\↘ 0,125088	↙0↘ 0,125088	↙0↘ 0,125037	↙0↘ 0,125037	↙0↘ 0,124963	↙0↘ 0,124963	↙0↘ 0,124912	↙0↘ 0,124912
98	0,125088	↙0↘ 0,125063	↙0↘ 0,125063	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124937	↙0↘ 0,124937	↙0↘ 0,124912
99	\↘ 0,125075	↙0↘ 0,125075	↙0↘ 0,125031	↙0↘ 0,125031	↙0↘ 0,124969	↙0↘ 0,124969	↙0↘ 0,124925	↙0↘ 0,124925
100	0,125075	↙0↘ 0,125053	↙0↘ 0,125053	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124947	↙0↘ 0,124947	↙0↘ 0,124925
101	\↘ 0,125064	↙0↘ 0,125064	↙0↘ 0,125027	↙0↘ 0,125027	↙0↘ 0,124973	↙0↘ 0,124973	↙0↘ 0,124936	↙0↘ 0,124936
102	0,125064	↙0↘ 0,125046	↙0↘ 0,125046	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,125000	↙0↘ 0,124954	↙0↘ 0,124954	↙0↘ 0,124936

103	\	0,125055	0,125055	0,125023	0,125023	0,124977	0,124977	0,124945	0,124945
104		0,125055	0,125039	0,125039	0,125000	0,125000	0,124961	0,124961	0,124945
105	\	0,125047	0,125047	0,125019	0,125019	0,124981	0,124981	0,124953	0,124953
106		0,125047	0,125033	0,125033	0,125000	0,125000	0,124967	0,124967	0,124953
107	\	0,125040	0,125040	0,125017	0,125017	0,124983	0,124983	0,124960	0,124960
108		0,125040	0,125028	0,125028	0,125000	0,125000	0,124972	0,124972	0,124960
109	\	0,125034	0,125034	0,125014	0,125014	0,124986	0,124986	0,124966	0,124966
110		0,125034	0,125024	0,125024	0,125000	0,125000	0,124976	0,124976	0,124966
111	\	0,125029	0,125029	0,125012	0,125012	0,124988	0,124988	0,124971	0,124971
112		0,125029	0,125021	0,125021	0,125000	0,125000	0,124979	0,124979	0,124971
113	\	0,125025	0,125025	0,125010	0,125010	0,124990	0,124990	0,124975	0,124975
114		0,125025	0,125018	0,125018	0,125000	0,125000	0,124982	0,124982	0,124975
115	\	0,125021	0,125021	0,125009	0,125009	0,124991	0,124991	0,124979	0,124979
116		0,125021	0,125015	0,125015	0,125000	0,125000	0,124985	0,124985	0,124979
117	\	0,125018	0,125018	0,125008	0,125008	0,124992	0,124992	0,124982	0,124982
118		0,125018	0,125013	0,125013	0,125000	0,125000	0,124987	0,124987	0,124982
119	\	0,125015	0,125015	0,125006	0,125006	0,124994	0,124994	0,124985	0,124985
120		0,125015	0,125011	0,125011	0,125000	0,125000	0,124989	0,124989	0,124985
121	\	0,125013	0,125013	0,125005	0,125005	0,124995	0,124995	0,124987	0,124987
122		0,125013	0,125009	0,125009	0,125000	0,125000	0,124991	0,124991	0,124987
123	\	0,125011	0,125011	0,125005	0,125005	0,124995	0,124995	0,124989	0,124989

124	0,125011	0,125008	0,125008	0,125000	0,125000	0,124992	0,124992	0,124989
125	\ 0,125010	0,125010	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	0,124990	0,124990
126	0,125010	0,125007	0,125007	0,125000	0,125000	0,124993	0,124993	0,124990
127	\ 0,125008	0,125008	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124992	0,124992
128	0,125008	0,125006	0,125006	0,125000	0,125000	0,124994	0,124994	0,124992
129	\ 0,125007	0,125007	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124993	0,124993
130	0,125007	0,125005	0,125005	0,125000	0,125000	0,124995	0,124995	0,124993
131	\ 0,125006	0,125006	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124994	0,124994
132	0,125006	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	0,124996	0,124994
133	\ 0,125005	0,125005	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124995	0,124995
134	0,125005	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	0,124996	0,124995
135	\ 0,125004	0,125004	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124996	0,124996
136	0,125004	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124996
137	\ 0,125004	0,125004	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124996	0,124996
138	0,125004	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124996
139	\ 0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997
140	0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997
141	\ 0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997
142	0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997
143	\ 0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998
144	0,125002	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124998
145	\ 0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998
146	0,125002	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124998

147	\	0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	
148		0,125002	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124998	/
149	\	0,125001	0,125001	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124999	0,124999	/
150		0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999	/
151	\	0,125001	0,125001	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124999	0,124999	/
152		0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999	/
153	\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	/
154		0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999	/
155	\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	/
156		0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999	/
157	\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	/
158		0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999	/
159	\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	/
160		0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	/
161	\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	/
162		0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	/
163	\	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	

**Anexa 9. Schema procesului de distribuire a probabilităților deplasării bilei în malaxorul  
cu  $n_{bmin} = 4$  (șuvoiul inițial este turnat la bara a treia din stânga).**

1	\↘			1						↙/
2				↙						
			0,500000	0,500000						
3	\↘									↙/
		0,250000	0,250000	0,250000	0,250000					
4										
	0,125000	0,125000	0,250000	0,250000	0,125000	0,125000				
5	\↘									↙/
	0,125000	0,187500	0,187500	0,187500	0,187500	0,062500	0,062500			
6										
	0,156250	0,156250	0,187500	0,187500	0,125000	0,125000	0,031250	0,031250		
7	\↘									↙/
	0,156250	0,171875	0,171875	0,156250	0,156250	0,078125	0,078125	0,031250		
8										
	0,164063	0,164063	0,164063	0,164063	0,117188	0,117188	0,054688	0,054688		
9	\↘									↙/
	0,164063	0,164063	0,164063	0,140625	0,140625	0,085938	0,085938	0,054688		
10										
	0,164063	0,164063	0,152344	0,152344	0,113281	0,113281	0,070313	0,070313		
11	\↘									↙/
	0,164063	0,158203	0,158203	0,132813	0,132813	0,091797	0,091797	0,070313		
12										
	0,161133	0,161133	0,145508	0,145508	0,112305	0,112305	0,081055	0,081055		
13	\↘									↙/
	0,161133	0,153320	0,153320	0,128906	0,128906	0,096680	0,096680	0,081055		
14										
	0,157227	0,157227	0,141113	0,141113	0,112793	0,112793	0,088867	0,088867		
15	\↘									↙/
	0,157227	0,149170	0,149170	0,126953	0,126953	0,100830	0,100830	0,088867		
16										
	0,153198	0,153198	0,138062	0,138062	0,113892	0,113892	0,094849	0,094849		
17	\↘									↙/
	0,153198	0,145630	0,145630	0,125977	0,125977	0,104370	0,104370	0,094849		
18										
	0,149414	0,149414	0,135803	0,135803	0,115173	0,115173	0,099609	0,099609		
19	\↘									↙/
	0,149414	0,142609	0,142609	0,125488	0,125488	0,107391	0,107391	0,099609		
20										

21	\	0,146011	0,146011	0,134048	0,134048	0,116440	0,116440	0,103500	0,103500	↙/
22		0,146011	0,140030	0,140030	0,125244	0,125244	0,109970	0,109970	0,103500	
23	\	0,143021	0,143021	0,132637	0,132637	0,117607	0,117607	0,106735	0,106735	↙/
24		0,143021	0,137829	0,137829	0,125122	0,125122	0,112171	0,112171	0,106735	
25	\	0,140425	0,140425	0,131475	0,131475	0,118647	0,118647	0,109453	0,109453	↙/
26		0,140425	0,135950	0,135950	0,125061	0,125061	0,114050	0,114050	0,109453	
27	\	0,138187	0,138187	0,130506	0,130506	0,119555	0,119555	0,111752	0,111752	↙/
28		0,138187	0,134346	0,134346	0,125031	0,125031	0,115654	0,115654	0,111752	
29	\	0,136267	0,136267	0,129689	0,129689	0,120342	0,120342	0,113703	0,113703	↙/
30		0,136267	0,132978	0,132978	0,125015	0,125015	0,117022	0,117022	0,113703	
31	\	0,134622	0,134622	0,128996	0,128996	0,121019	0,121019	0,115362	0,115362	↙/
32		0,134622	0,131809	0,131809	0,125008	0,125008	0,118191	0,118191	0,115362	
33	\	0,133216	0,133216	0,128409	0,128409	0,121599	0,121599	0,116776	0,116776	↙/
34		0,133216	0,130812	0,130812	0,125004	0,125004	0,119188	0,119188	0,116776	
35	\	0,132014	0,132014	0,127908	0,127908	0,122096	0,122096	0,117982	0,117982	↙/
36		0,132014	0,129961	0,129961	0,125002	0,125002	0,120039	0,120039	0,117982	
37	\	0,130988	0,130988	0,127481	0,127481	0,122520	0,122520	0,119011	0,119011	↙/
38		0,130988	0,129234	0,129234	0,125001	0,125001	0,120766	0,120766	0,119011	
39	\	0,130111	0,130111	0,127118	0,127118	0,122883	0,122883	0,119888	0,119888	↙/
40		0,130111	0,128614	0,128614	0,125000	0,125000	0,121386	0,121386	0,119888	
		0,129363	0,129363	0,126807	0,126807	0,123193	0,123193	0,120637	0,120637	

41	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,129363	0,128085	0,128085	0,125000	0,125000	0,121915	0,121915	0,120637
42		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,128724	0,128724	0,126543	0,126543	0,123458	0,123458	0,121276	0,121276
43	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,128724	0,127633	0,127633	0,125000	0,125000	0,122367	0,122367	0,121276
44		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,128179	0,128179	0,126317	0,126317	0,123683	0,123683	0,121821	0,121821
45	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,128179	0,127248	0,127248	0,125000	0,125000	0,122752	0,122752	0,121821
46		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,127713	0,127713	0,126124	0,126124	0,123876	0,123876	0,122287	0,122287
47	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,127713	0,126918	0,126918	0,125000	0,125000	0,123082	0,123082	0,122287
48		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,127316	0,127316	0,125959	0,125959	0,124041	0,124041	0,122684	0,122684
49	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,127316	0,126638	0,126638	0,125000	0,125000	0,123362	0,123362	0,122684
50		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,126977	0,126977	0,125819	0,125819	0,124181	0,124181	0,123023	0,123023
51	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,126977	0,126398	0,126398	0,125000	0,125000	0,123602	0,123602	0,123023
52		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,126687	0,126687	0,125699	0,125699	0,124301	0,124301	0,123313	0,123313
53	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,126687	0,126193	0,126193	0,125000	0,125000	0,123807	0,123807	0,123313
54		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,126440	0,126440	0,125597	0,125597	0,124403	0,124403	0,123560	0,123560
55	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,126440	0,126018	0,126018	0,125000	0,125000	0,123982	0,123982	0,123560
56		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,126229	0,126229	0,125509	0,125509	0,124491	0,124491	0,123771	0,123771
57	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,126229	0,125869	0,125869	0,125000	0,125000	0,124131	0,124131	0,123771
58		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,126049	0,126049	0,125435	0,125435	0,124565	0,124565	0,123951	0,123951
59	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/
		0,126049	0,125742	0,125742	0,125000	0,125000	0,124258	0,124258	0,123951
60		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125896	0,125896	0,125371	0,125371	0,124629	0,124629	0,124104	0,124104
61	\↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙/

62		0,125896	0,125633	0,125633	0,125000	0,125000	0,124367	0,124367	0,124104
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125764	0,125764	0,125317	0,125317	0,124683	0,124683	0,124236	0,124236
63	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125764	0,125541	0,125541	0,125000	0,125000	0,124459	0,124459	0,124236
64		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125652	0,125652	0,125270	0,125270	0,124730	0,124730	0,124348	0,124348
65	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125652	0,125461	0,125461	0,125000	0,125000	0,124539	0,124539	0,124348
66		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125557	0,125557	0,125231	0,125231	0,124769	0,124769	0,124443	0,124443
67	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125557	0,125394	0,125394	0,125000	0,125000	0,124606	0,124606	0,124443
68		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125475	0,125475	0,125197	0,125197	0,124803	0,124803	0,124525	0,124525
69	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125475	0,125336	0,125336	0,125000	0,125000	0,124664	0,124664	0,124525
70		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125406	0,125406	0,125168	0,125168	0,124832	0,124832	0,124594	0,124594
71	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125406	0,125287	0,125287	0,125000	0,125000	0,124713	0,124713	0,124594
72		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125346	0,125346	0,125143	0,125143	0,124857	0,124857	0,124654	0,124654
73	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125346	0,125245	0,125245	0,125000	0,125000	0,124755	0,124755	0,124654
74		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125296	0,125296	0,125122	0,125122	0,124878	0,124878	0,124704	0,124704
75	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125296	0,125209	0,125209	0,125000	0,125000	0,124791	0,124791	0,124704
76		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125252	0,125252	0,125105	0,125105	0,124895	0,124895	0,124748	0,124748
77	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125252	0,125178	0,125178	0,125000	0,125000	0,124822	0,124822	0,124748
78		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125215	0,125215	0,125089	0,125089	0,124911	0,124911	0,124785	0,124785
79	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125215	0,125152	0,125152	0,125000	0,125000	0,124848	0,124848	0,124785
80		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
		0,125184	0,125184	0,125076	0,125076	0,124924	0,124924	0,124816	0,124816
81	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘
		0,125184	0,125130	0,125130	0,125000	0,125000	0,124870	0,124870	0,124816



82		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125157	0,125157	0,125065	0,125065	0,124935	0,124935	0,124843	0,124843	
83	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125157	0,125111	0,125111	0,125000	0,125000	0,124889	0,124889	0,124843	
84		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125134	0,125134	0,125055	0,125055	0,124945	0,124945	0,124866	0,124866	
85	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125134	0,125095	0,125095	0,125000	0,125000	0,124905	0,124905	0,124866	
86		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125114	0,125114	0,125047	0,125047	0,124953	0,124953	0,124886	0,124886	
87	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125114	0,125081	0,125081	0,125000	0,125000	0,124919	0,124919	0,124886	
88		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125098	0,125098	0,125040	0,125040	0,124960	0,124960	0,124902	0,124902	
89	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125098	0,125069	0,125069	0,125000	0,125000	0,124931	0,124931	0,124902	
90		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125083	0,125083	0,125034	0,125034	0,124966	0,124966	0,124917	0,124917	
91	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125083	0,125059	0,125059	0,125000	0,125000	0,124941	0,124941	0,124917	
92		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125071	0,125071	0,125029	0,125029	0,124971	0,124971	0,124929	0,124929	
93	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125071	0,125050	0,125050	0,125000	0,125000	0,124950	0,124950	0,124929	
94		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125061	0,125061	0,125025	0,125025	0,124975	0,124975	0,124939	0,124939	
95	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125061	0,125043	0,125043	0,125000	0,125000	0,124957	0,124957	0,124939	
96		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125052	0,125052	0,125021	0,125021	0,124979	0,124979	0,124948	0,124948	
97	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125052	0,125037	0,125037	0,125000	0,125000	0,124963	0,124963	0,124948	
98		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125044	0,125044	0,125018	0,125018	0,124982	0,124982	0,124956	0,124956	
99	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125044	0,125031	0,125031	0,125000	0,125000	0,124969	0,124969	0,124956	
100		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
	0,125038	0,125038	0,125016	0,125016	0,124984	0,124984	0,124962	0,124962	
101	↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↘/
	0,125038	0,125027	0,125027	0,125000	0,125000	0,124973	0,124973	0,124962	
102		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	

103	\	0,125032	0,125032	0,125013	0,125013	0,124987	0,124987	0,124968	0,124968	✓/
104		0,125032	0,125023	0,125023	0,125000	0,125000	0,124977	0,124977	0,124968	
105	\	0,125027	0,125027	0,125011	0,125011	0,124989	0,124989	0,124973	0,124973	✓/
106		0,125027	0,125019	0,125019	0,125000	0,125000	0,124981	0,124981	0,124973	
107	\	0,125023	0,125023	0,125010	0,125010	0,124990	0,124990	0,124977	0,124977	✓/
108		0,125023	0,125017	0,125017	0,125000	0,125000	0,124983	0,124983	0,124977	
109	\	0,125020	0,125020	0,125008	0,125008	0,124992	0,124992	0,124980	0,124980	✓/
110		0,125020	0,125014	0,125014	0,125000	0,125000	0,124986	0,124986	0,124980	
111	\	0,125017	0,125017	0,125007	0,125007	0,124993	0,124993	0,124983	0,124983	✓/
112		0,125017	0,125012	0,125012	0,125000	0,125000	0,124988	0,124988	0,124983	
113	\	0,125015	0,125015	0,125006	0,125006	0,124994	0,124994	0,124985	0,124985	✓/
114		0,125015	0,125010	0,125010	0,125000	0,125000	0,124990	0,124990	0,124985	
115	\	0,125012	0,125012	0,125005	0,125005	0,124995	0,124995	0,124988	0,124988	✓/
116		0,125012	0,125009	0,125009	0,125000	0,125000	0,124991	0,124991	0,124988	
117	\	0,125011	0,125011	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	0,124989	0,124989	✓/
118		0,125011	0,125008	0,125008	0,125000	0,125000	0,124992	0,124992	0,124989	
119	\	0,125009	0,125009	0,125004	0,125004	0,124996	0,124996	0,124991	0,124991	✓/
120		0,125009	0,125006	0,125006	0,125000	0,125000	0,124994	0,124994	0,124991	
121	\	0,125008	0,125008	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124992	0,124992	✓/
122		0,125008	0,125005	0,125005	0,125000	0,125000	0,124995	0,124995	0,124992	
		0,125007	0,125007	0,125003	0,125003	0,124997	0,124997	0,124993	0,124993	

123	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125007	0,125005	0,125005	0,125000	0,125000	0,124995	0,124995	0,124993	
124		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125006	0,125006	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124994	0,124994	
125	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125006	0,125004	0,125004	0,125000	0,125000	0,124996	0,124996	0,124994	
126		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125005	0,125005	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124995	0,124995	
127	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125005	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124995	
128		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125004	0,125004	0,125002	0,125002	0,124998	0,124998	0,124996	0,124996	
129	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125004	0,125003	0,125003	0,125000	0,125000	0,124997	0,124997	0,124996	
130		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125004	0,125004	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124996	0,124996	
131	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125004	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124996	
132		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997	
133	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997	
134		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125003	0,125003	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124997	0,124997	
135	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125003	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124997	
136		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	
137	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125002	0,125002	0,125002	0,125000	0,125000	0,124998	0,124998	0,124998	
138		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	
139	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125002	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124998	
140		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125002	0,125002	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124998	0,124998	
141	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/
		0,125002	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124998	
142		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
		0,125001	0,125001	0,125001	0,125001	0,124999	0,124999	0,124999	0,124999	
143	\		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	↙/

144	0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
145	↘\	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
146	0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
147	↘\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
148	0,125001	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
149	↘\	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
150	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
151	↘\	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
152	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
153	↘\	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
154	0,125001	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999	0,124999
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	
155	↘\	0,125001	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,124999
		↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘
156	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000	0,125000
	↙0↘		↙0↘		↙0↘		↙0↘	



MD 583 Z 2013.08.31

## REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **583** (13) **Z**  
(51) Int.Cl: *B01F 7/02* (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ**

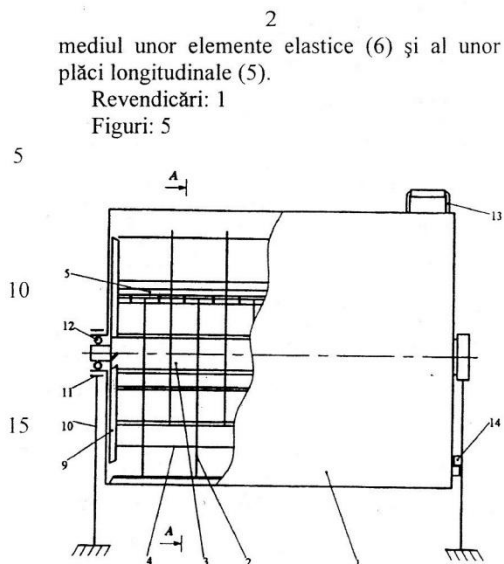
<p>(21) Nr. depozit: s 2012 0084 (22) Data depozit: 2012.06.11</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2013.01.31, BOPI nr. 1/2013</p>
<p>(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: ANDRIEVSCHI Serghei, MD; LOZAN Alexandr, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD</p>	

## (54) Malaxor cu acțiune ciclică

## (57) Rezumat:

Invenția se referă la industria construcțiilor de mașini, în special la malaxoare, și poate fi utilizată la prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton plastic sau vârtos.

Malaxorul cu acțiune ciclică conține un corp (1) cu fund semicilindric, instalat pe niște suporturi (10), în pereții frontali ai căruia este montat un arbore (3) cu organe de amestecare, executate în formă de bare radiale (2). La capetele arborelui (3) sunt fixate răzuitoare radiale (9). Pe barele radiale (2) sunt fixate niște bare longitudinale (4), iar pe capetele barelor radiale (2) sunt montate răzuitoare longitudinale. Barele radiale (2) sunt executate în formă de arc și sunt orientate cu partea concavă în direcția de rotație a arborelui (3), formând un unghi de atac mai mic de 90°, iar răzuitoarele longitudinale conțin niște cuțite (7) cu un unghi de atac egal cu 30°, fixate pe partea frontală a barelor radiale (2) prin inter-





MD 883 Z 2015.09.30

## REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) 883 (13) Z  
(51) Int.Cl: B01F 7/02 (2006.01)

(12) BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ

<p>(21) Nr. depozit: s 2014 0084 (22) Data depozit: 2014.06.06</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2015.02.28, BOPI nr. 2/2015</p>
<p>(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: ANDRIEVSCHI Serghei, MD; LOZAN Alexandr, MD; BRANIȘTE Igor, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD</p>	

## (54) Malaxor cu acțiune ciclică

## (57) Rezumat:

1

Invenția se referă la industria construcțiilor de mașini, în special la malaxoare cu acțiune ciclică, și poate fi utilizată la prepararea amestecurilor semiuscate, de mortar și de beton.

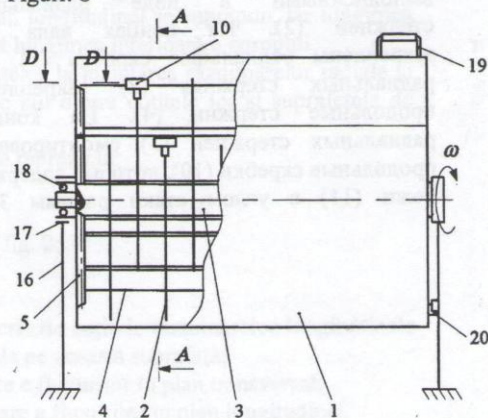
Malaxorul cu acțiune ciclică conține un corp (1) cu fund semicilindric, instalat pe niște suporturi (16), în pereții frontali ai căruia este montat un arbore (3) cu organe de amestecare, executate în formă de bare radiale (2). La capetele arborelui (3) sunt fixate niște răzuitoare radiale (5). Pe barele radiale (2) sunt fixate niște bare longitudinale (4). Pe capetele barelor radiale (2) sunt montate niște răzuitoare longitudinale (10), care conțin niște cuțite (11) cu un unghi de atac egal cu 30°. Fiecare răzuitoare radială (5) este unită articulat cu un pivot radial (7) cu o bucă (6), fixat pe arbore (3) lângă peretele lateral în așa mod, încât răzuitoarea radială (5) formează cu peretele lateral un unghi de atac egal cu 30°. La capătul liber al pivotului (7) este fixat un șplint limitator (8), iar la mijlocul bucei (6) este

2

fixat un sprijin (9), care contactează cu peretele lateral. Răzuitoarele longitudinale (10) sunt fixate articulat pe capetele barelor radiale (2) prin intermediul unor tuburi (15) și bolțuri (13), protejate prin buce elastice (12).

Revendicări: 1

Figuri: 8



MD 883 Z 2015.09.30





MD 747 Z 2014.10.31

## REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) 747 (13) Z  
(51) Int.Cl: B01F 7/02 (2006.01)

(12) BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ

(21) Nr. depozit: s 2013 0095  
(22) Data depozit: 2013.05.31

(45) Data publicării hotărârii de  
acordare a brevetului:  
2014.03.31, BOPI nr. 3/2014

(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD

(72) Inventatori: ANDRIEVSCHI Serghei, MD; LOZAN Alexandr, MD; VASCAN Oleg, MD

(73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD

(54) Malaxor cu acțiune ciclică

(57) Rezumat:

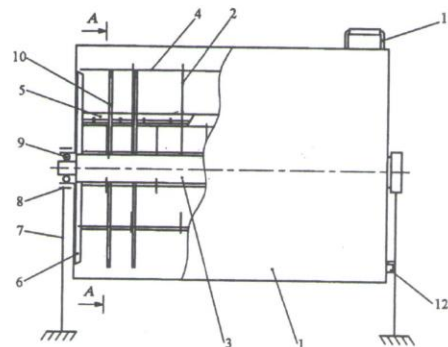
Invenția se referă la industria construcțiilor de mașini, în special la malaxoare, și poate fi utilizată la prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton plastic sau vârtos.

Malaxorul cu acțiune ciclică conține un corp (1) cu fund semicilindric, instalat pe niște suporturi (7), în pereții frontali ai căruia este montat un arbore (3) cu organe de amestecare, executate în formă de bare radiale arcuite (2), fixate pe arbore (3) în secții. La capetele arborelui (3) sunt fixate niște răzuitoare radiale (6). Pe barele radiale arcuite (2) ale fiecărei secții sunt fixate niște bare longitudinale (4) paralele cu axa arborelui (3). Pe capetele barelor radiale arcuite (2) sunt montate niște răzuitoare longitudinale (5). Câte două secții

de bare radiale arcuite (2) de la ambele capete ale arborelui (3) sunt consolidate cu niște inele de rigidizare (10). Răzuitoarele longitudinale (5) sunt amplasate în așa ordine, încât să acopere întreaga lungime a corpului (1).

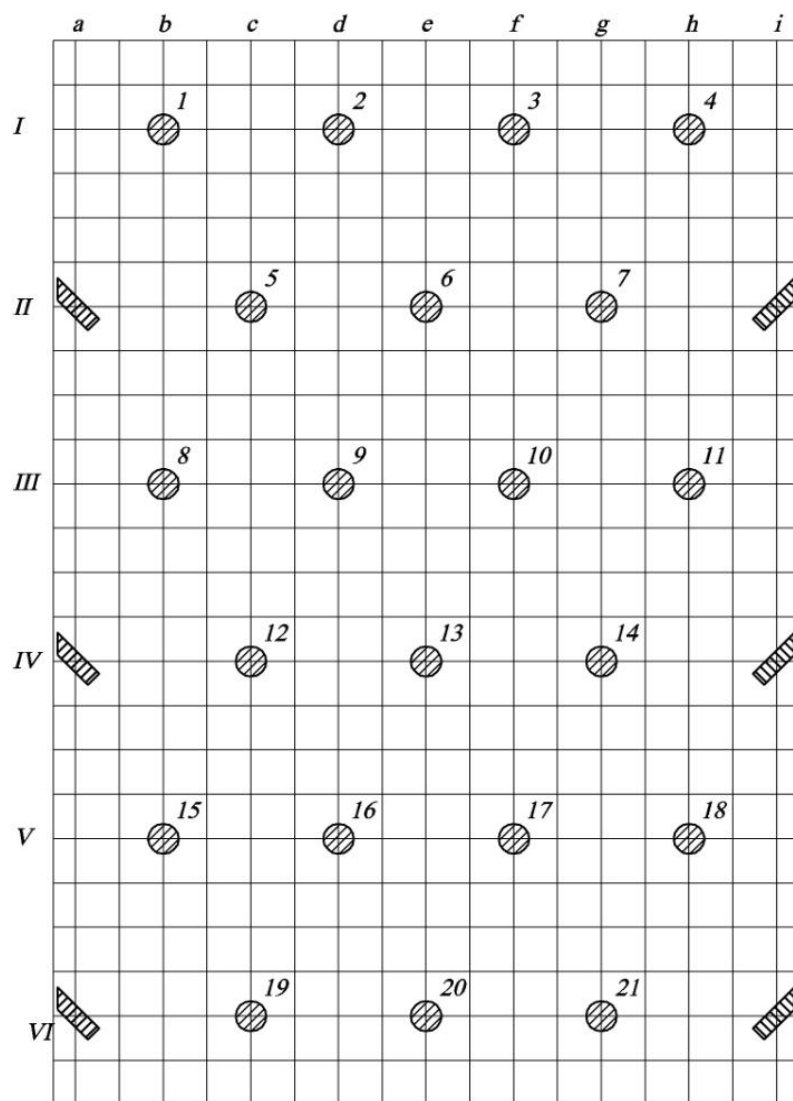
Revendicări: 1

Figuri: 4

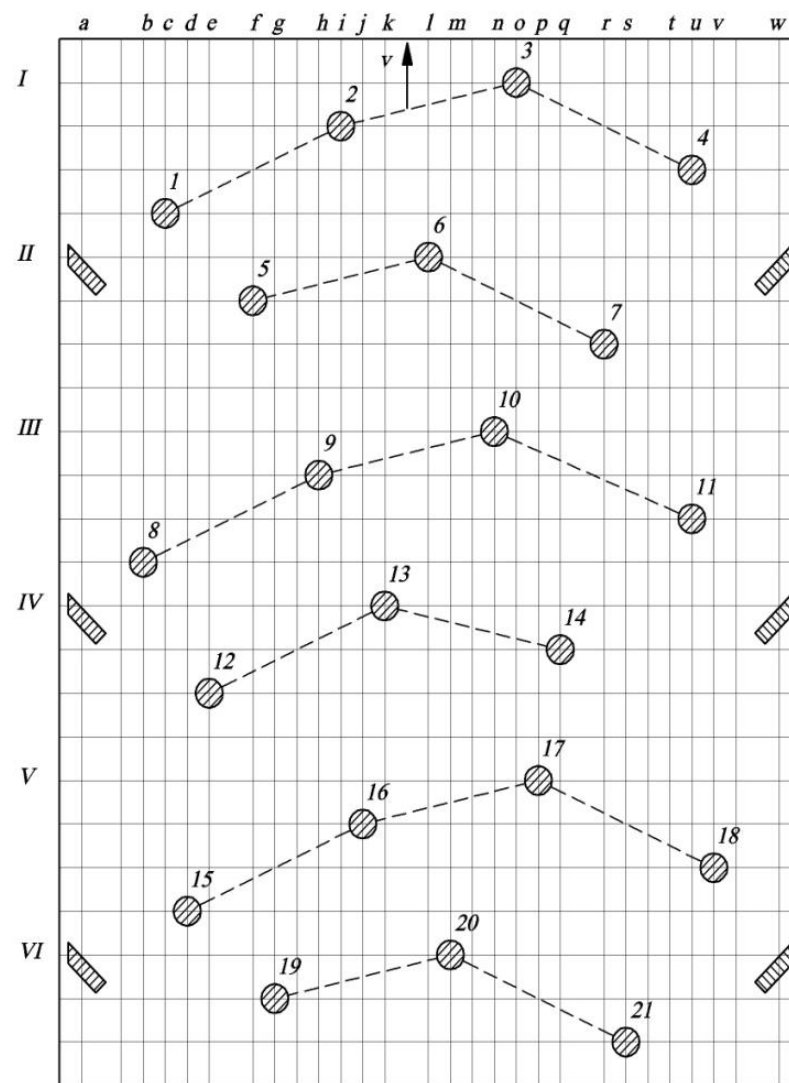


MD 747 Z 2014.10.31

Anexa 13. Situarea barelor pe suprafața desfășurată a arborelui în mod tradițional (a) și cu decalaj circular și longitudinal (b).



a)



b)





MD 815 Z 2015.06.30

## REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **815** (13) **Z**  
(51) Int.Cl: **B01F 7/00** (2006.01)  
**B01F 7/02** (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ**

<p>(21) Nr. depozit: s 2014 0009 (22) Data depozit: 2014.01.21</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2014.09.30, BOPI nr. 9/2014</p>
<p>(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: ANDRIEVSCHI Serghei, MD; LOZAN Alexandr, MD; GUȘTIUC Igor, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD</p>	

## (54) Malaxor cu acțiune ciclică

## (57) Rezumat:

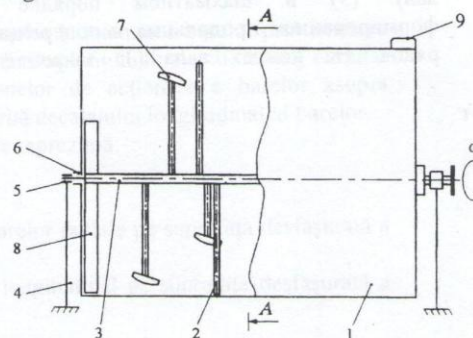
Invenția se referă la industria construcțiilor de mașini, în special la malaxoare, și poate fi utilizată la prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton plastic sau vârtos.

Malaxorul cu acțiune ciclică conține un corp (1) cu fund semicilindric, instalat pe niște suporturi (4), în pereții frontali ai căruia este montat un arbore (3) rotativ cu organe de amestecare, executate în formă de bare radiale (2), fixate pe arbore (3) în șah cu formarea rândurilor longitudinale și transversale. La capetele arborelui (3) sunt fixate niște răzuitoare radiale (8) diametral opuse. Pe capetele barelor radiale (2) sunt montate niște răzuitoare longitudinale (7), înclinate față de axa arborelui (3). Fiecare bară (2) a rândurilor longitudinale, începând de la mijlocul rândului, este amplasată cu alternanță, cu decalaj circular față de bara (2) de mijloc în direcție inversă rotirii arborelui (3). Fiecare bară (2) a

rândurilor transversale este amplasată cu decalaj longitudinal în stânga și în dreapta față de poziția inițială.

Revendicări: 1

Figuri: 4





MD 748 Z 2014.10.31

## REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) 748 (13) Z  
(51) Int.Cl: B01F 11/00 (2006.01)

(12) BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ

<p>(21) Nr. depozit: s 2013 0096 (22) Data depozit: 2013.05.31</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2014.03.31, BOPI nr. 3/2014</p>
<p>(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: ANDRIEVSCHI Serghei, MD; LOZAN Alexandr, MD; FUȘTEI Denis, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD</p>	

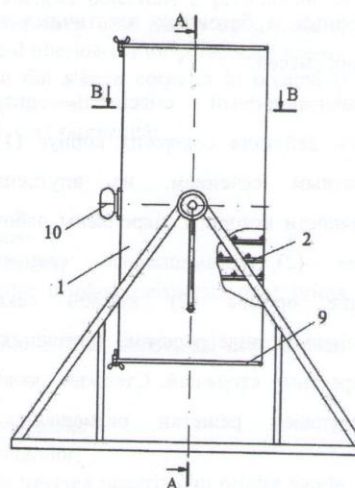
## (54) Malaxor gravitațional cu acțiune ciclică

## (57) Rezumat:

Invenția se referă la industria construcțiilor de mașini, în special la malaxoare, și poate fi utilizată la prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton plastic sau vârtos.

Malaxorul gravitațional cu acțiune ciclică include un corp (1) cu secțiune pătrată, pe suprafața interioară a căruia sunt fixate organe de lucru (2), amplasate în secții. Organele de lucru (2) ale fiecărei secții sunt executate în formă de grătare compuse din bare încrucișate. Barele fiecărui grătar următor sunt amplasate cu decalaj în plan. Organele de lucru (2) sunt fixate în partea centrală a corpului (1), cu formarea la capetele corpului (1) a unor pâlnii cu orificii de evacuare de capăt, închise cu capace (9) demontabile. Corpul (1) în partea exterioară centrală este dotat cu două fusuri coaxiale. Corpul (1) este înzestrat la mijloc, pe partea exterioară, liberă de fusuri, cu un vibrator (10) cu oscilații armonice.

Revendicări: 1  
Figuri: 7



Anexa 16. Coeficientul neomogenității amestecului  $v_c$  pentru cazul așezării componentelor amestecului în două straturi suprapuse, % –

a) și în două straturi alăturate, % - b)

Numărul rotației	Concentrația componentului cheie în probe C, %																Media, $\bar{C}$ , %	Coeficientul neomogenității, $v_c$ , %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
<b>a)</b>																		
1	79,2	78,8	91,8	73,7	86,8	85,2	74,2	75,1	54,0	50,0	33,5	37,2	42,1	43,6	39,3	50,2	62,2	32,5
2	56,6	55,9	51,4	57,0	57,8	57,1	50,7	51,7	42,9	36,7	42,5	41,3	46,4	37,8	33,3	38,9	47,4	17,7
3	46,7	41,5	43,4	43,4	36,5	48,2	44,4	45,8	38,1	45,0	40,8	39,3	38,0	44,4	46,9	50,0	43,3	9,1
4	41,0	46,0	47,6	48,9	47,9	42,3	48,9	47,4	48,7	44,0	51,4	46,6	47,0	51,2	47,2	52,4	47,4	6,5
5	50,0	47,6	48,6	47,6	54,9	51,5	47,9	46,2	47,7	45,1	52,4	46,8	46,6	47,9	51,1	45,0	48,5	5,7
6	47,6	47,3	47,3	48,8	51,0	46,7	50,8	50,5	51,1	55,8	54,7	51,9	51,9	46,6	46,0	50,0	49,9	5,8
9	50,6	47,1	49,7	52,5	47,2	50,7	50,6	50,2	54,8	51,1	45,8	52,2	51,4	53,5	49,3	54,1	50,7	5,0
12	50,6	55,6	48,7	50,0	53,9	49,1	44,3	50,8	52,7	44,7	48,8	49,6	49,6	53,4	49,6	46,6	49,9	6,2
15	48,1	47,4	51,1	49,6	48,6	50,4	45,9	52,9	51,3	54,0	49,1	50,3	50,7	47,8	54,7	51,9	50,2	4,8
<b>b)</b>																		
1	54,0	68,2	44,6	52,6	27,1	52,9	48,2	46,6	7,8	13,7	12,6	10,2	6,2	11,9	16,4	14,8	30,5	69,1
2	32,1	50,2	52,4	43,7	33,3	38,9	45,7	41,8	29,7	40,8	42,9	37,9	34,0	39,2	40,4	46,5	40,6	15,7
3	42,2	38,4	50,9	48,2	44,6	44,9	44,5	45,9	51,3	57,2	56,1	55,7	55,5	52,5	58,2	50,0	49,8	11,9
4	53,0	51,3	53,8	46,1	46,1	55,6	42,1	56,1	46,2	49,3	53,0	53,2	53,2	53,7	51,0	48,2	50,7	7,9
5	52,2	44,0	50,6	49,4	51,7	46,7	51,7	48,5	50,3	53,2	45,5	46,0	55,2	54,6	50,2	45,8	49,7	6,8
6	47,1	50,0	51,8	50,2	48,3	49,8	55,1	46,5	50,2	47,5	48,2	45,1	48,1	49,0	52,7	47,0	49,2	5,2
9	48,8	49,0	51,1	51,9	51,4	56,9	50,2	48,2	50,5	50,2	46,2	50,7	48,2	45,7	47,4	55,2	50,1	5,9
12	48,4	48,3	52,8	46,6	45,8	53,8	46,9	50,4	54,9	45,6	52,2	51,6	54,1	50,4	46,4	47,6	49,7	6,4
15	51,9	51,1	48,1	54,1	47,2	51,1	50,2	48,6	52,5	49,5	49,7	52,9	49,0	50,5	53,4	53,9	50,8	4,2

**Anexa 17. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha + \beta = \gamma$  pentru ecuația**

$$\lg Z_m = \lg Z + \lg K_1 + \lg K_2 + \lg K_3 + \lg K_4 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_7$$

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha = \lg K_1 + \lg K_7$	$\beta = \lg K_2 + \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_4$	$\gamma = \lg Z_m - 2,114$
2.	Limitele argumentelor	$K_1 = 0,18 \dots 1;$ $K_7 = 0,46 \dots 1.$	$K_2 = 1 \dots 2,68; K_3 = 1 \dots 1,38;$ $K_5 = 1 \dots 1,23; K_6 = 1 \dots 2,25;$ $K_4 = 1 \dots 12,31.$	$Z_m = 10,764 \dots 16380$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha = -1,082 \dots 0$	$\beta = 0 \dots 2,1$	$\gamma = -1,08 \dots 2,1$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha = 1,082$	$\Delta\beta = 2,1$	$\Delta\gamma = 3,18$
5.	Modulele	Pentru $L_\alpha = 100 \text{ mm}$ $m = \frac{100}{1,082} = 92,42$	Pentru $L_\beta = 100 \text{ mm}$ $n = \frac{100}{2,1} = 47,62$	$S = \frac{mn}{m+n} = \frac{92,42 \cdot 47,62}{92,42 + 47,62} = 31,43;$ $k = \frac{m}{m+n} = \frac{92,42}{92,42 + 47,62} = 0,66.$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha} = 0$	$Y_{0\beta} = m\alpha_{med} - n\beta_{med} = 92,42 \cdot 0,541 -$ $-47,62 \cdot 1,05 = 0$	$Y_{0\gamma} = kY_{0\beta} = 0$
7.	Ecuțiile scărilor	$Y_\alpha = Y_{0\alpha} + m\alpha =$ $= 92,42(\lg K_1 + \lg K_7)$	$Y_\beta = Y_{0\beta} + n\beta = 16,058 + 47,62(\lg K_2 +$ $+ \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_7)$	$Y_\gamma = Y_{0\gamma} + S\gamma = 31,43(\lg Z_m - 2,114)$
8.	Abscisele scărilor	$X_\alpha = 0$	$X_\beta = 170$	$X_\gamma = kX_\beta = 0,66 \cdot 170 = 112,2$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha min} = 92,42(-1,082) = -100$ $Y_{\alpha max} = 92,42 \cdot 0 = 0$	$Y_{\beta min} = 47,62(0 + 0 + 0 + 0 + 0) = 0$ $Y_{\beta max} = 47,62 \cdot 2,1 = 100$	$Y_{\gamma min} = 31,43(-1,08) = -34,$ $Y_{\gamma max} = 31,43 \cdot 2,1 = 66$

Anexa 18. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha^I + \beta^I = \gamma^I$  pentru ecuația  $\alpha = \lg K_1 + \lg K_7$

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha^I = \lg K_1$	$\beta^I = \lg K_7$	$\gamma^I = \alpha = \lg K_1 + \lg K_7$
2.	Limitele argumentelor	$K_1 = 0,18 \dots 1$	$K_7 = 0,46 \dots 1$	$K_1 = 0,18 \dots 1; K_7 = 0,46 \dots 1.$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha^I = -0,745 \dots 0,428$	$\beta^I = -0,337 \dots 0$	$\gamma^I = -1,082 \dots 0$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha^I = 0,745$	$\Delta\beta^I = 0,337$	$\Delta\gamma^I = 1,082$
5.	Modulele	$m^I = 140$	$n^I = \frac{m^I S^I}{m^I - S^I} = \frac{140 \cdot 92,42}{140 - 92,42} = 271,9$	$S^I = 92,42;$ $k^I = 1 - \frac{S^I}{m^I} = 1 - \frac{92,42}{140} = 0,34$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha^I} = 0$	$Y_{0\beta^I} = 0$	$Y_{0\gamma^I} = k^I Y_{0\beta^I}$
7.	Ecuațiile scărilor	$Y_{\alpha^I} = Y_{0\alpha^I} + m^I \alpha^I = 140(\lg K_1)$	$Y_{\beta^I} = n^I \beta^I = 271,9(\lg K_7)$	$Y_{\gamma^I} = S^I \gamma^I = 92,42(\lg K_1 + \lg K_7)$
8.	Abscisele scărilor	$X_{\alpha^I} = 0$	$X_{\beta^I} = 80$	$X_{\gamma^I} = k^I X_{\beta^I} = 0,34 \cdot 80 = 27,2$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha^I \min} = 140(-0,745) = -104,3$ $Y_{\alpha^I \max} = 140 \cdot 0 = 0$	$Y_{\beta^I \min} = 271,9(-0,337) = -91,63$ $Y_{\beta^I \max} = 0$	$Y_{\gamma^I \min} = 92,42(-1,082) = -100$ $Y_{\gamma^I \max} = 0$

**Anexa 19. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha^{II} + \beta^{II} = \gamma^{II}$   
 pentru ecuația  $\beta = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_4 + \lg K_2$**

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha^{II} = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6$	$\beta^{II} = \lg K_4 + \lg K_2$	$\gamma^{II} = \beta = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_4 + \lg K_2$
2.	Limitele argumentelor	$K_3 = 1 \dots 1,38; K_5 = 1 \dots 1,23;$ $K_6 = 1 \dots 2,25.$	$K_4 = 1 \dots 12,31; K_2 = 1 \dots 2,68$	$K_3 = 1 \dots 1,38; K_5 = 1 \dots 1,23; K_6 = 1 \dots 2,25;$ $K_4 = 1 \dots 12,31; K_2 = 1 \dots 2,68.$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha^{II} = 0 \dots 0,582$	$\beta^{II} = 0 \dots 1,518$	$\gamma^{II} = 0 \dots 2,1$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha^{II} = 0,582$	$\Delta\beta^{II} = 1,518$	$\Delta\gamma^{II} = 2,1$
5.	Modulele	$m^{II} = 171,82$	$n^{II} = \frac{m^{II} S^{II}}{m^{II} - S^{II}} = \frac{171,82 \cdot 47,62}{171,82 - 47,62} = 65,88$	$S^{II} = 47,62;$ $k^{II} = 1 - \frac{S^{II}}{m^{II}} = 1 - \frac{47,62}{171,82} = 0,72$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha^{II}} = 0$	$Y_{0\beta^{II}} = m^{II} \alpha_{med}^{II} - n S^{II} \beta_{med}^{II} = 171,82 \cdot 0,291 - 65,88 \cdot 0,759 = 0$	$Y_{0\gamma^{II}} = 0$
7.	Ecuațiile scărilor	$Y_{\alpha^{II}} = Y_{0\alpha^{II}} + m^{II} \alpha^{II} = 171,82(\lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6)$	$Y_{\beta^{II}} = n^{II} \beta^{II} = 65,88(\lg K_4 + \lg K_2)$	$Y_{\gamma^{II}} = S^{II} \gamma^{II} = 47,62(\lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6 + \lg K_4 + \lg K_2)$
8.	Abscisele scărilor	$X_{\alpha^{II}} = 0$	$X_{\beta^{II}} = 40$	$X_{\gamma^{II}} = k X_{\beta^{II}} = 0,72 \cdot 40 = 28,8$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha_{min}^{II}} = 171,82(0 + 0 + 0) = 0$ $Y_{\alpha_{max}^{II}} = 171,82(0,14 + 0,09 + 0,352) = 171,82 \cdot 0,582 = 100$	$Y_{\beta_{min}^{II}} = 65,88(0 + 0) = 0$ $Y_{\beta_{max}^{II}} = 65,88(1,09 + 0,428) = 65,88 \cdot 1,518 = 100$	$Y_{\gamma_{min}^{II}} = 47,62 \cdot 0 = 0$ $Y_{\gamma_{max}^{II}} = 47,62(0,14 + 0,09 + 0,352 + 1,09 + 0,428) = 47,62 \cdot 2,1 = 100$



**Anexa 20. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha^{III} + \beta^{III} = \gamma^{III}$**

**pentru ecuația  $\beta^{II} = \lg K_4 + \lg K_2$**

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha^{III} = \lg K_2$	$\beta^{III} = \lg K_4$	$\gamma^{III} = \beta^{II} = \lg K_4 + \lg K_2$
2.	Limitele argumentelor	$K_2 = 1 \dots 2,68$	$K_4 = 1 \dots 12,31$	$K_2 = 1 \dots 2,68; K_4 = 1 \dots 12,31.$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha^{III} = 0 \dots 0,428$	$\beta^{III} = 0 \dots 1,09$	$\gamma^{III} = 0 \dots 1,518$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha^{III} = 0,428$	$\Delta\beta^{III} = 1,09$	$\Delta\gamma^{III} = 1,518$
5.	Modulele	$m^{III} = 233,65$	$n^{III} = \frac{m^{III} S^{III}}{m^{III} - S^{III}} = \frac{233,65 \cdot 65,88}{233,65 - 65,88} = 91,75$	$S^{III} = 65,88;$ $k^{III} = 1 - \frac{S^{III}}{m^{III}} = 1 - \frac{65,88}{233,65} = 0,718$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha^{III}} = 0$	$Y_{0\beta^{III}} = m^{III} \alpha_{med}^{III} - n^{III} \beta_{med}^{III} =$ $= 233,65 \cdot 0,214 - 91,75 \cdot 0,545 = 0$	$Y_{0\gamma^{III}} = k^{III} Y_{0\beta^{III}} = 0,718 \cdot 0 = 0$
7.	Ecuațiile scărilor	$Y_{\alpha^{III}} = Y_{0\alpha^{III}} + m^{III} \alpha^{III}$ $= 233,65(\lg K_2)$	$Y_{\beta^{III}} = Y_{0\beta^{III}} + n^{III} \beta^{III} = 91,75(\lg K_4)$	$Y_{\gamma^{III}} = Y_{0\gamma^{III}} + S^{III} \gamma^{III} =$ $= 65,88(\lg K_2 + \lg K_4)$
8.	Abscisele scărilor	$X_{\alpha^{III}} = 0$	$X_{\beta^{III}} = 20$	$X_{\gamma^{III}} = k^{III} X_{\beta^{III}} = 0,718 \cdot 20 = 14,36$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha_{min}^{III}} = 0$ $Y_{\alpha_{max}^{III}} = 233,65 \cdot 0,428 = 100$	$Y_{\beta_{min}^{III}} = 91,75 \cdot 0 = 0$ $Y_{\beta_{max}^{III}} = 91,75 \cdot 1,09 = 100$	$Y_{\gamma_{min}^{III}} = 65,88(0 + 0) = 0$ $Y_{\gamma_{max}^{III}} = 65,88(0,428 + 1,09) = 100$

Anexa 21. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha^{IV} + \beta^{IV} = \gamma^{IV}$  pentru ecuația  $\alpha^{II} = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6$

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5$	$\beta^{IV} = \lg K_6$	$\gamma^{IV} = \alpha^{II} = \lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6$
2.	Limitele argumentelor	$K_3 = 1 \dots 1,38;$ $K_5 = 1 \dots 1,23.$	$K_6 = 1 \dots 2,25$	$K_3 = 1 \dots 1,38; K_5 = 1 \dots 1,23;$ $K_6 = 1 \dots 2,25.$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha^{IV} = 0 \dots 0,23$	$\beta^{IV} = 0 \dots 0,352$	$\gamma^{IV} = 0 \dots 0,582$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha^{IV} = 0,23$	$\Delta\beta^{IV} = 0,352$	$\Delta\gamma^{IV} = 0,582$
5.	Modulele	$m^{IV} = 434,78$	$n^{IV} = \frac{m^{IV} S^{IV}}{m^{IV} - S^{IV}} = \frac{434,78 \cdot 171,82}{434,78 - 171,82} = 284,1$	$S^{IV} = 171,82;$ $k^{IV} = 1 - \frac{S^{IV}}{m^{IV}} = 1 - \frac{171,82}{434,78} = 0,605$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha^{IV}} = 0$	$Y_{0\beta^{IV}} = m^{IV} \alpha_{med}^{IV} - n^{IV} \beta_{med}^{IV} =$ $= 434,78 \cdot 0,115 - 284,1 \cdot 0,176 = 0$	$Y_{0\gamma^{IV}} = 0$
7.	Ecuațiile scărilor	$Y_{\alpha^{IV}} = Y_{0\alpha^{IV}} + m\alpha^{IV} =$ $= 434,78(\lg K_3 + \lg K_5)$	$Y_{\beta^{IV}} = Y_{0\beta^{IV}} + n\beta^{IV} =$ $= 284,1(\lg K_6)$	$Y_{\gamma^{IV}} = Y_{0\gamma^{IV}} + S^{IV} \gamma^{IV} =$ $= 171,82(\lg K_3 + \lg K_5 + \lg K_6)$
8.	Abscisele scărilor	$X_{\alpha^{IV}} = 0$	$X_{\beta^{IV}} = 33,05$	$X_{\gamma^{IV}} = k^{IV} X_{\beta^{IV}} = 0,605 \cdot 33,05 = 20$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha_{min}^{IV}} = 434,78(0 + 0) = 0$ $Y_{\alpha_{max}^{IV}} = 434,78 \cdot 0,23 = 100$	$Y_{\beta_{min}^{IV}} = 284,1 \cdot 0 = 0$ $Y_{\beta_{max}^{IV}} = 284,1 \cdot 0,352 = 100$	$Y_{\gamma_{min}^{IV}} = 171,82(0 + 0 + 0) = 0$ $Y_{\gamma_{max}^{IV}} = 171,82 \cdot 0,582 = 100$

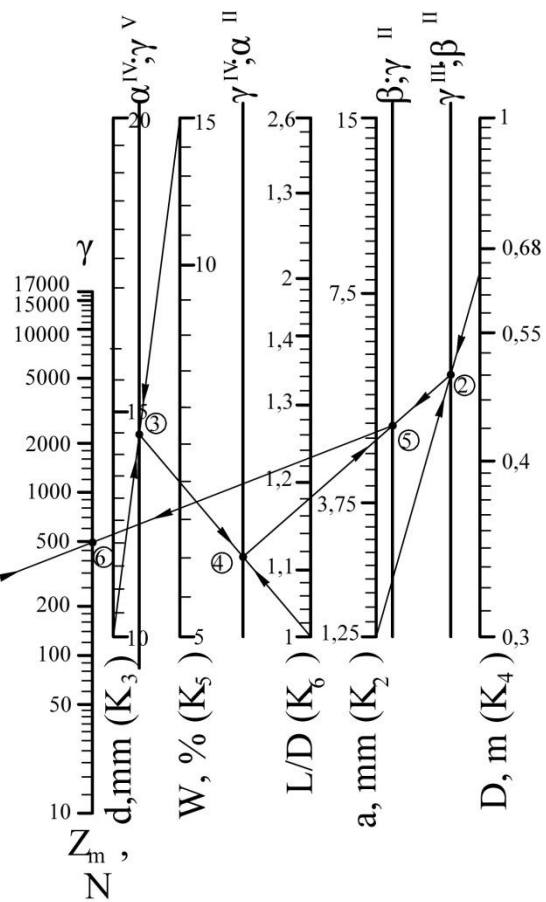
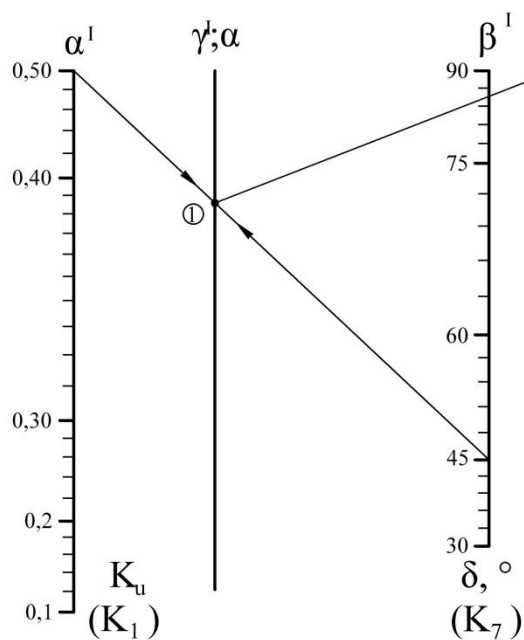


**Anexa 22. Borderoul de calcul pentru elaborarea nomogramei detipul III  $\alpha^V + \beta^V = \gamma^V$  pentru ecuația  $\alpha^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5$**

Nr. ord.	Operațiile și rezultatele			
1.	Substituirea	$\alpha^V = \lg K_3$	$\beta^V = \lg K_5$	$\gamma^V = \alpha^{IV} = \lg K_3 + \lg K_5$
2.	Limitele argumentelor	$K_3 = 1 \dots 1,38;$	$K_5 = 1 \dots 1,23$	$K_3 = 1 \dots 1,38; K_5 = 1 \dots 1,23.$
3.	Limitele funcțiilor	$\alpha^V = 0 \dots 0,14$	$\beta^V = 0 \dots 0,09$	$\gamma^V = 0 \dots 0,23$
4.	Diferența valorilor limite	$\Delta\alpha^V = 0,14$	$\Delta\beta^V = 0,09$	$\Delta\gamma^V = 0,689$
5.	Modulele	$m^V = 714,3$	$n^V = \frac{m^V S^V}{m^V - S^V} = \frac{714,3 \cdot 434,78}{714,3 - 434,78} = 1111,06$	$S^V = 434,78;$ $k^V = 1 - \frac{S^V}{m^V} = 1 - \frac{434,78}{714,3} = 0,39$
6.	Ordonatele punctelor zero	$Y_{0\alpha^V} = 0$	$Y_{0\beta^V} = m^V \alpha_{med}^V - n^V \beta_{med}^V =$ $= 714,3 \cdot 0,07 - 1111,06 \cdot 0,045 = 0$	$Y_{0\gamma^V} = k^V Y_{0\beta^V} = 0,39 \cdot 0 = 0$
7.	Ecuațiile scărilor	$Y_{\alpha^V} = Y_{0\alpha^V} + m\alpha^V$ $= 714,3(\lg K_3)$	$Y_{\beta^V} = Y_{0\beta^V} + n\beta^V = 1111,06(\lg K_5)$	$Y_{\gamma^V} = Y_{0\gamma^V} + S^V \gamma^V =$ $434,78(\lg K_3 + \lg K_5)$
8.	Abscisele scărilor	$X_{\alpha^V} = 0$	$X_{\beta^V} = 12,82$	$X_{\gamma^{IV}} = k^V X_{\beta^V} = 0,39 \cdot 12,82 = 5$
9.	Limitele scărilor	$Y_{\alpha_{min}^V} = 714,3 \cdot 0 = 0$ $Y_{\alpha_{max}^V} = 714,3 \cdot 0,14 = 100$	$Y_{\beta_{min}^V} = 1111,06 \cdot 0 = 0$ $Y_{\beta_{max}^V} = 1111,06 \cdot 0,09 = 100$	$Y_{\gamma_{min}^V} = 434,78 \cdot 0 = 0$ $Y_{\gamma_{max}^V} = 434,78 \cdot 0,23 = 100$

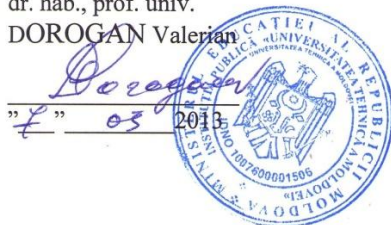
**Anexa 23. Optimizarea malaxorului cu bare cu volumul amestecului 80 l produs la SA „INCOMAȘ” utilizând nomograma inginerască**

- Cheia: ① ( $K_1$ )  $\rightarrow \gamma^I; \alpha \leftarrow (K_7)$   
 ② ( $K_2$ )  $\rightarrow \gamma^{II}; \beta^{II} \leftarrow (K_4)$   
 ③ ( $K_3$ )  $\rightarrow \gamma^V; \alpha^{IV} \leftarrow (K_5)$   
 ④  $\alpha^{IV} \rightarrow \gamma^{IV}; \alpha^{II} \leftarrow (K_6)$   
 ⑤  $\alpha^{II} \rightarrow \beta \leftarrow \beta^{II}$   
 ⑥  $\alpha \rightarrow Z_m \leftarrow \beta$



"Aprob "

Prorector U.T.M.  
 pentru muncă științifică  
 dr. hab., prof. univ.  
 DOROGAN Valerian



" 7 " 03 2013

"Aprob "

Directorul Institutului de  
 Genetică și Fiziologie a Plantelor  
 al AȘM BOTNARI Vasile, dr. hab



" 7 " mai 2013

### ACT

**despre utilizarea în producție a brevetelor de invenție  
 nr. 479, 2301, hotărârii pozitive nr.7356 din 2012.11.12 a AGEPI MD  
 "Malaxor cu acțiune ciclică" a autorilor Andrievschi Serghei, Lungu  
 Valeriu, Lozan Alexandru**

Comisia în componența reprezentantului Universității Tehnice a Moldovei șefului de laborator al catedrei C.F.D.P. Victor Cucuș, reprezentantului Institutului de Genetică și Fiziologie a Plantelor al AȘM dr., cercetător științific coordonator Nadejda Mihnea și autorilor brevetelor Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu și Alexandru Lozan a întocmit acest act despre utilizarea în producție în corespundere cu revendicările brevetelor nr. 479, 2301, hotărârii pozitive nr. 7356 din 2012.11.12 a AGEPI MD "Malaxor cu acțiune ciclică" la prepararea amestecului de pământ cu turbă în următoarea componență: cernoziom – trei părți, turbă – o parte. Parametrii malaxorului: diametrul tobei - 400 mm, lungimea tobei- 400 mm, numărul de rotații al arborelui- 60 rot/min, coeficientul de umplere a tobei - 0,5, forța depusă la mâner -130 N, durata amestecării – 12 s.

Utilizarea malaxorului cu bare cu acționare manuală la procesul de preparare a amestecului de pământ cu turbă dă posibilitate de a micșora de trei ori durata de amestecare în comparație cu procesul manual de amestecare și de a obține o omogenitate înaltă a amestecului. Efectul economic anual la funcționarea malaxorului într-un schimb constituie 5000 lei.

Reprezentantul  
 U.T.M.

Victor Cucuș Sef. laborator  
 Catedra C.F.D.P.

Reprezentantul  
 Institutului de Genetică și Fiziologie a  
 Plantelor al AȘM

Nadejda Mihnea  
 dr., cercetător științific coordonator

Autorii invențiilor:

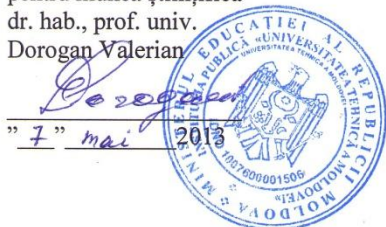
Serghei Andrievschi

Valeriu Lungu

Alexandru Lozan

Lozan

"Aprob"  
 Prorector U.T.M.  
 pentru muncă științifică  
 dr. hab., prof. univ.  
 Dorogan Valerian



"Aprob"  
 Managerul Societății cu  
 Răspundere Limitată "Coltan-TTD"  
 comuna Bălțața, r-ful Criuleni  
 Gaureac Andrei



**ACT**

**despre utilizarea în producție a brevetelor de invenție  
 nr. 479, 2301, hotărârii pozitive nr.7356 din 2012.11.12 a AGEPI MD  
 "Malaxor cu acțiune ciclică" a autorilor Andrievschi Serghei, Lungu  
 Valeriu, Lozan Alexandr**

Comisia în componența reprezentantului Universității Tehnice a Moldovei șefului de laborator al catedrei C.F.D.P. Victor Cucoș, reprezentantului SRL "Coltan-TTD" inginerul Serghei Iariomenco și autorilor Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu și Alexandr Lozan a întocmit acest act despre utilizarea în producție în corespundere cu revendicările brevetelor nr. 479, 2301, hotărârii pozitive nr. 7356 din 2012.11.12 a AGEPI MD a malaxorului cu bare cu acțiune ciclică la prepararea nutrețurilor combinate care conțin nouă componente: crupe de porumb, crupe de grâu, crupe de orz, șroturi de floarea soarelui mărunțite, șroturi de soie mărunțite, adaosuri biologice, făină de oase și carne, făină de pești, făină de lucernă. Masa componentelor variază de la 2 până la 32%. Parametrii malaxorului: diametrul tobei - 310 mm, lungimea tobei- 930 mm, numărul de rotații al arborelui- 60 rot/min, coeficientul de umplere a tobei - 0,5, forța depusă la mâner -80 N, durata amestecării – 12-20 s.

Utilizarea malaxorului cu bare cu acționare manuală la procesul de preparare a nutrețurilor combinate dă posibilitate de a micșora de trei ori durata de amestecare în comparație cu procesul manual de amestecare și de a obține o omogenitate înaltă a amestecului. Efectul economic anual la funcționarea malaxorului într-un schimb constituie 36000 lei.

Reprezentantul  
 U.T.M.

Victor Cucoș  
 Sef. laborator  
 Catedra C.F.D.P.

Reprezentantul  
 SRL "Coltan-TTD"

Serghei Iariomenco  
 inginer

Autorii invențiilor:

Serghei Andrievschi

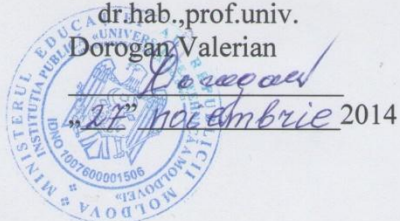
Valeriu Lungu

Alexandr Lozan

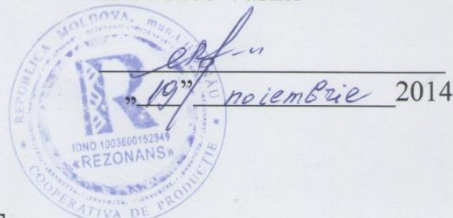
Lozan



„Aprob”  
 Prorector U.T.M.  
 pentru muncă științifică  
 dr.hab.,prof.univ.  
 Dorogan Valerian



„Aprob”  
 Președintele Cooperativei  
 de Producere „Rezonans”  
 Martînenco Vasiliu



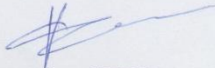
### ACT

**despre utilizarea în producție a brevetelor de invenție nr. 479, 2301,  
 583Z „Malaxor cu acțiune ciclică” a autorilor Andrievschi Serghei,  
 Lungu Valeriu, Lozan Alexandr**

Comisia în componența reprezentantului Universității Tehnice a Moldovei șefului de laborator al catedrei Căi ferate, drumuri și poduri Victor Cucoș, reprezentantului Cooperativei de Producere „Rezonans” Serghei Iariomenco și autorilor brevetelor de invenție Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu și Alexandr Lozan a întocmit acest act despre utilizarea în producție în corespundere cu revendicările brevetelor nr.479, 2301, 583Z „Malaxor cu acțiune ciclică” la prepararea amestecului de combustibil organic în următoarea componență: rumeguș de lemn sau rămășițe de materiale organice mărunțite, fus, ulei uzat mineral sau sintetic. Parametrii malaxorului: diametrul tobei 400 mm, lungimea tobei 400 mm, numărul de rotații al arborelui 60 rot/min, coeficientul de umplere 0,5, durata amestecării 12 secunde. Forța depusă la mâner 80 N.

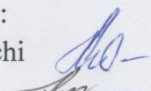
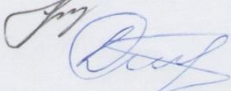
Utilizarea malaxorului cu organe de lucru în formă de bare cu acționare manuală la procesul de preparare a amestecului de deșeuri organici cu ulei uzat dă posibilitate de a micșora durata de amestecare de 4 ori, în comparație cu procesul manual de amestecare și de a obține o omogenitate înaltă. Efectul economic anual la funcționarea malaxorului într-un schimb constituie 5000 lei.

Reprezentantul U.T.M.

Victor Cucoș   
 Șef laborator catedra CFDP

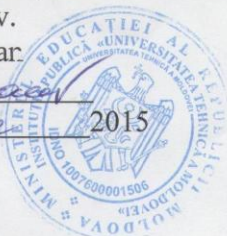
Reprezentantul Cooperativei  
 de Producere „Rezonans”

Serghei Iariomenco 

Autorii invențiilor:  
 Serghei Andrievschi   
 Valeriu Lungu   
 Alexandr Lozan

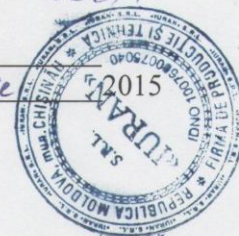
„Aprob”  
 Prorector U.T.M.  
 pentru muncă științifică  
 dr.hab.,prof.univ.  
 Dorogan Valerian

„30” octombrie 2015



„Aprob”  
 Directorul firmei „IURAN”,  
 mun. Chișinău  
 Parascheev Iurie

„29” octombrie



**ACT**

**despre utilizarea în producție a brevetului de invenție de scurtă durată nr. 747 „Malaxor cu acțiune ciclică” al autorilor Andrievschi Serghei, Lozan Alexandr și Vascan Oleg**

Comisia în componența reprezentantului Universității Tehnice a Moldovei șefului de laborator al departamentului „Drumuri, materiale și mașini pentru construcții” Victor Cucos, reprezentantului firmei „IURAN” Serghei Iariomenco și autorilor brevetelor de invenție Serghei Andrievschi, Alexandr Lozan și Vascan Oleg a întocmit acest act despre utilizarea în producție în corespundere cu revendicările brevetului de scurtă durată nr.747 „Malaxor cu acțiune ciclică” la prepararea amestecului de mortar, beton și uscate. Parametrii malaxorului: diametrul tobei 300 mm, lungimea tobei 300 mm, numărul de rotații al arborelui 60 rot/min, coeficientul de umplere 0,4, durata amestecării 12 secunde. Forța depusă la mâner 80 N.

Utilizarea malaxorului cu organe de lucru în formă de bare cu acționare manuală la procesul de preparare a amestecului dă posibilitate de a micșora durata de amestecare de 4 ori, în comparație cu procesul manual de amestecare și de a obține o omogenitate înaltă. Efectul economic anual la funcționarea malaxorului într-un schimb constituie 5000 lei.

Reprezentantul U.T.M.  
 Victor Cucos  
 Șef laborator  
 departament D.M.M.C.

Reprezentantul firmei  
 „IURAN”  
 Serghei Iariomenco

Autorii invențiilor:  
 Serghei Andrievschi  
 Alexandr Lozan  
 Vascan Oleg

## **DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII**

Subsemnatul, Lozan Alexandr, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Lozan Alexandr

Semnătura

Data



## CURRICULUM VITAE



### **LOZAN ALEXANDR**

**Data și locul nașterii:** 10. 08. 1987, or. Soroca, Republica Moldova

**Cetățenia:** Republica Moldova

**Telefon de contact:** +37368014777

**Adresa serviciu:** FUA, UTM, bd. Dacia, 39, mun. Chișinău

**e-mail:** sashalozan1@mail.ru

### **STUDII**

**Licență:** Universitatea Tehnică a Moldovei, 2006 – 2010, specialitatea Inginerie Mecanică în Construcții, calificarea Inginer licențiat.

**Masterat:** Universitatea Tehnică a Moldovei, 2010 – 2012, specialitatea Drumuri, Materiale și Mecanizare în Construcții, calificarea Master în Arhitectură și Construcții.

**Doctorat:** Universitatea Tehnică a Moldovei, 2012 – 2015, specialitatea 242.07-Mașini și echipamente tehnice, tema tezei de doctor „Optimizarea malaxoarelor cu bare cu acțiune intermitentă”

### **ACTIVITATEA PROFESIONALĂ**

- februarie 2010 – noiembrie 2011 – inginer mecanic la întreprinderea SA „Dimecon-11”, mun. Chișinău.
- septembrie 2011 – până în prezent – Universitatea Tehnică a Moldovei, lector universitar (prelegeri, lucrări practice, seminare, lucrări de laborator).

### **DOMENIUL DE ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ – Științe inginerești și tehnologii**

### **PARTICIPĂRI LA CONFERINȚE**

- Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM la edițiile anilor 2011, 2013, 2014 și 2015
- Conferința Tehnico-Științifică Internațională Probleme Actuale ale Urbanismului și Amenajării Teritoriului”, Chișinău, la a VI-a și a VII-a ediție în anii 2012 și respectiv 2014



- Conferința Internațională „DeDuCoN – INCERCOM” (Dezvoltarea Durabilă în Construcții), ediția a II-a, Chișinău 2015.

#### **PARTICIPĂRI LA EXPOZIȚII**

- Expoziția Internațională Specializată „INFOINVENT-2013” Chișinău, 19.11.2013 – 22.11.2013. Am obținut medalie de argint și trei diplome.
- Expoziția Internațională de Invenții INOVA – 2014, ediția a 39-a desfășurată la Osijek, Croația în perioada 6-8 noiembrie, 2014. Am obținut medalie de aur și o diplomă.
- Expoziția Internațională „Construct-Home”, Chișinău, 22-25 septembrie 2016. Am obținut 2 diplome.

**PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE** – 13 articole științifice, din care două în reviste recenzate, 5 brevete de invenție.

**PREMII** – am fost premiat cu medalia de aur a senatului Universității Tehnice a Moldovei pentru rezultate marcante în activitatea profesională și contribuții esențiale în dezvoltarea și consolidarea universității

#### **CUNOAȘTEREA LIMBILOR**

Română – maternă bine, rusă – bine, engleză și franceză – citesc și traduc cu dicționarul.

### **MULȚUMIRI**

Aduc deosebite mulțumiri conducătorului științific Serghei Andrievschi, dr. conf. univ. pentru îndrumarea în cercetările științifice și realizarea tezei de doctor. De asemenea mulțumesc pentru sprijin și ajutor în activitatea științifică și organizatorică dlui Mircea Andriuță, dr. hab., prof. univ., Ion Rusu, dr. hab., prof. univ. și decanului Facultății Urbanism și Arhitectură Lungu Valeriu. dr., conf. univ. O mare recunoștință aduc familiei mele, în deosebi soției Olga pentru susținere, înțelegere și încurajare.