

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

FACULTATEA URBANISM ȘI ARHITECTURĂ
CATEDRA CĂI FERATE, DRUMURI ȘI PODURI

SERGHEI ANDRIEVSCHI

**INTENSIFICAREA PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN
MALAXOARELE CU
ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE**

Chișinău
U.T.M.
2008

CZU 693.542.5

A 54

În monografie sunt prezentate construcțiile și principiul de funcționare a malaxoarelor de tip nou cu organe de lucru în formă de bare, teoria procesului de amestecare, rezultatele cercetărilor efectuate bazate pe concepția probabilistico – statistică și metodele statistice de modelare, sunt determinați parametrii geometrici și tehnologici optimali ai malaxoarelor și ai procesului de preparare a amestecurilor de mortar și de beton care asigură o calitate înaltă a produsului și cheltuieli minime de energie.

Lucrarea va fi de folos specialiștilor din activitatea inginerescă de producție, proiectare și cercetare în domeniul mecanic, precum și pentru doctoranzii, masteranzii și studenții specializărilor “Ingineria mecanică în construcție”, “Ingineria materialelor și articolelor de construcție”, “Tehnologia produselor de ceramică și sticlă”.

Recenzenți:

Doctor habilitat în științe tehnice, profesorul universitar Mircea Andriuță;

Doctor habilitat în științe tehnice, conferențiarul universitar Ion Rusu

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Andrievschi, Serghei

Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare/
Serghei Andrievschi; Univ. Tehn. a Moldovei.-Ch.:
UTM, 2008.- 176p.

Bibliogr. p. 173-175 (59tit.). 100 ex.

ISBN 978-9975-45-088-1

*În cinstea memoriei
părinților mei
Parascovia și Petru
Andrievschi*

P R E F A Ț Ă

Lipsa surselor energetice proprii în Republica Moldova pune problema, în primul rând, de economisire pe toate căile a energiei și, în al doilea rând, de utilizare a proceselor tehnologice cu minimum consum de energie. Unul din procesele tehnologice cu capacitate mare de absorbție a energiei este prepararea amestecurilor utilizate în diferite domenii ale economiei naționale: construcție, agricultură, industria constructoare de mașini, industria alimentară etc.

Malaxoarele pentru beton și mortar sunt importate din alte țări la un preț foarte mare. Malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă a componentelor, ca fiind mai ieftine, se utilizează și pentru prepararea mixturilor care necesită amestecare forțată. Aceasta conduce la majorarea duratei de amestecare și creșterea consumului de energie. Amestecul vârtos de beton se înlocuiește cu amestecul plastic ceea ce conduce la creșterea consumului de ciment și micșorarea rezistenței mecanice, înrăutățirea altor caracteristici ale articolelor fabricate.

Amestecarea componentelor mixturilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton care sunt unele din materialele de bază în construcție, proiectarea și confecționarea malaxoarelor se bazează pe principiile tradiționale și anume, pe acțiunea volumetrică a organului de amestecare în formă de paletă asupra mediului de lucru.

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

Intensificarea procesului de amestecare conduce la majorarea productivității mașinilor de preparare a amestecurilor fără majorarea puterii lor, micșorarea cheltuielilor specifice de energie, micșorarea parametrilor geometrici ai malaxoarelor cu acțiune continuă, obținerea unui volum de producție mai mare la o unitate de putere a motorului mașinii, micșorarea prețului de cost al articolelor fabricate.

Majorarea gradului de omogenizare a amestecului conduce la majorarea rezistenței mecanice a articolelor fabricate, la micșorarea consumului de lianți, la micșorarea devierii parametrilor mecanici și fizici ai articolelor și majorarea fiabilității lor.

Malaxoarele existente sunt echipate cu organe de lucru în formă de palete, situate sub diferite unghiuri față de direcția de deplasare a lor. În procesul funcționării, paletetele formează șuvoaie de material în interiorul cărora amestecarea nu se produce – toată masa de material din fața paletetelelor este împinsă înainte sau înainte și lateral. Din această cauză cheltuielile de energie în procesul amestecării sunt neeficiente. Pentru obținerea calității necesare a amestecului, durata de amestecare se majorează semnificativ.

Monografia este dedicată malaxoarelor cu organe de amestecare în formă de bare care asigură intensificarea procesului de amestecare, micșorarea consumului de energie și îmbunătățirea calității amestecului. Aceasta se datorează faptului că în procesul amestecării incontinuu are loc divizarea multiplă a componentelor amestecului în șuvoaie și recombinarea ulterioară a lor, majorarea zonei volumetrice active a organelor de amestecare și excluderea blocării organelor de amestecare.

Sunt analizate procesele de amestecare în malaxoarele pentru prepararea amestecurilor uscate, semiuscate de mortar și de beton echipate cu organe de amestecare în formă de palete. Sunt prezentate principiile de construire a malaxoarelor cu bare și de intensificare a procesului de amestecare, se descriu procesele de amestecare în malaxoarele de tip nou. Sunt aduse

rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale ale organelor de amestecare și ale malaxoarelor cu bare, și anume, dependența rezistenței de înaintare a barelor prin mediul de lucru, rezistența de amestecare a malaxorului de parametrii geometrici și tehnologici, analiza interacțiunii barelor cu mediul de lucru, analiza blocării organelor de amestecare și cercetarea influenței luftului dintre capetele barelor și corpul malaxorului asupra rezistenței de amestecare, determinarea productivității malaxorului, cercetarea calității amestecării. Sunt prezentate calculele de rezistență ale elementelor malaxorului cu organe de lucru în formă de bare, calculul eficienței economice a malaxoarelor cu bare.

Autorul își manifestă deosebita recunoștință față de dl Andrei Istru, Director General al Centrului Interdepartamental Științific de Producție "Materiale noi", care este inițiatorul multor direcții noi în tehnologia materialelor de construcție și a utilajului respectiv, dl conf. univ. dr. Victor Ursu, colaboratorul catedrei "Căi ferate, drumuri și poduri", pentru participarea activă la dezvoltarea direcției Malaxoare de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare, dl lector superior Valeriu Lungu, pentru aportul adus la cercetarea și promovarea în viață a malaxoarelor cu bare, diplomanții catedrei Sergiu Doni, Ion Popușoi, Eugen Țurcan, Ștefan Usatiuc, Sergiu Diacon, Viorel Iușan, Oleg Spânu, Andrei Daniță și a. care au contribuit cu cercetările efectuate la dezvoltarea acestei direcții.

Mulțumiri deosebite autorul oferă șefului catedrei prof. univ. dr. Mihai Vangheli și prof. univ. dr. hab. Mircea Andriuță pentru atenția acordată zi de zi în rezolvarea problemelor științifice.

1. Analiza construcției malaxoarelor și a procesului de amestecare

Problema intensificării procesului de amestecare, majorării gradului de omogenizare a amestecului și micșorării consumului specific de energie a fost tratată în lucrările savanților Șarapov I.K. [1], Martânov V.D. [2], Mihăilescu Șt. [3], Koroliiov K.M. [4] și a multor alora, care au studiat foarte minuțios procesele de amestecare și au pus bazele calculului și proiectării malaxoarelor cu organe de lucru în formă de palete, utilizate la prepararea amestecurilor de mortar și de beton.

Prezintă interes studierea și cercetarea malaxoarelor de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare elaborate la catedra Căi ferate, drumuri și poduri a Universității Tehnice a Moldovei, care se deosebesc esențial prin modul de efectuare a procesului de amestecare și se caracterizează cu o productivitate mai mare și calitate mai înaltă a amestecurilor preparate, obținute cu un consum de energie specific mai mic.

1.1. Clasificarea malaxoarelor cu palete

Amestecarea este o operație de omogenizare a două sau a mai multor substanțe cu scopul obținerii aceleiași compoziții în întreg volumul ocupat de substanțe. Dacă substanțele amestecate au viscozități foarte mari, utilajul corespunzător pentru amestecare se numește malaxor [5].

Malaxoarele se clasifică funcție de destinația tehnologică în mașini pentru prepararea diverselor amestecuri de beton (grele, de silicat, celulare și a.) și pentru prepararea amestecurilor de mortar. Funcție de modul de acționare - în mașini cu acționare ciclică, în care durata de amestecare se poate regla, iar porția nouă de componente se încarcă numai după descărcarea amestecului gata preparat, și mașini cu acționare continuă în care introducerea componentelor, amestecarea lor și descărcarea amestecului se petrec concomitent. Funcție de metoda de amestecare - în mașini cu amestecare prin căderea liberă a componentelor (gravitațională) și cu amestecare forțată și funcție de gradul de mobilitate - în mașini staționare și mobile.

Malaxoarele cu acționare ciclică dau posibilitate de a regla durata amestecării și în așa mod de a prepara diferite amestecuri ceea ce nu este posibil în malaxoarele cu acțiune continuă, care au productivitate mare, însă servesc pentru prepararea amestecurilor cu componență constantă.

În malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă (fig.1.1,a,b) amestecul se prepară într-o tobă rotativă pe suprafața interioară a căreia sunt fixate palete destinate ridicării materialului care apoi cade sub acțiunea forțelor de gravitație. Aceste malaxoare sunt utilizate pentru prepararea amestecurilor cu viscozitate medie sau mică și au un consum specific de energie mic.

Ele se caracterizează prin construcție, deservire și exploatare simplă, posibilitatea preparării amestecurilor cu agregate mari (până la 120...150 mm).

În malaxoarele cu amestecare forțată (fig.1.1,c-g) amestecul se prepară într-o tobă fixă sau rotitoare cu ajutorul paletelor care se mișcă în interiorul ei. Aceste malaxoare servesc pentru prepararea amestecurilor de beton cu viscozitate medie și mare și a mortarelor. Consumul de energie este mai mare, iar paletetele sunt supuse unei uzuri rapide.

Malaxoarele cu amestecare forțată pot fi cu arbori orizontali sau verticali. Amestecarea se efectuează la rotirea arborilor pe care sunt fixate palete înclinate față de direcția de deplasare. Aceste malaxoare se folosesc la prepararea amestecurilor de beton și de mortar practic cu orice mobilitate și consistență și cu mărimea agregatelor nu mai mare de 70 mm.

Malaxorul turbulent (fig.1.1, e) cu turație înaltă ($n \approx 500$ rot/min) este compus dintr-un rotor cu palete care se rotește într-un corp cilindric vertical, partea de jos a căruia este conică.

Acest malaxor este destinat preparării mortarelor de construcție cu mobilitate înaltă, are productivitate înaltă, însă și consum specific de energie foarte mare, circa $1,026 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ [6].

Malaxorul cu acțiune continuă și amestecare forțată cu doi arbori orizontali (fig.1.1, f) conține un jgheab dublu în care arborii se rotesc în direcții diferite. Paletele sunt fixate pe arbori sub un unghi de $40\dots45^\circ$ față de axa lor, ceea ce asigură și deplasarea circulară și axială a amestecurilor de beton și de mortar în centrale cu productivitatea de $5,10$ și $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pentru prepararea mortarelor de construcție se folosesc malaxoare cu acțiune ciclică cu arbore orizontal și două palete elicoidale (fig.1.1, g): una de stânga, alta de dreapta. Paletele antrenează particulele în mișcare de rotație și totodată în direcții axiale: o paletă de la stânga la dreapta, alta-invers.

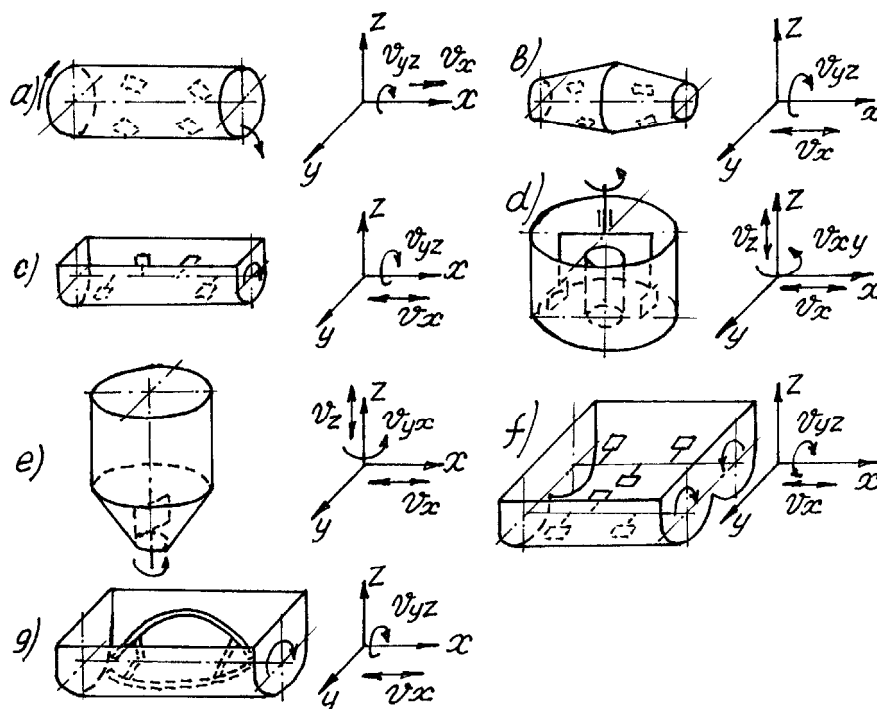


Fig. 1.1. Schemele malaxoarelor pentru mortar și beton: a - gravitațional cu acționare continuă; b-gravitațional cu acționare ciclică; c - cu amestecare forțată și arbore orizontal; d - idem cu arbore vertical; e - turbulent; f-cu doi arbori orizontali; g - cu un arbore orizontal și două paletă elicoidale

Malaxoarele staționare au productivitate mare și se folosesc la utilarea centralelor și fabricilor de beton și mortar cu perioade mari de funcționare. Malaxoarele mobile pe roți au productivitate redusă și sunt folosite pe șantiere cu perioadă limitată de funcționare.

În lucrarea [7] se propune o nouă metodă de clasificare a mașinilor de amestecat care ține seama de tipul, caracterul și clasa mișcării particulelor (fig.1.1). Se analizează trei tipuri de mișcări ale particulelor: T-de translație, R-rotativă; C-combinată. În funcție de caracterul modificării lor în timp, mișcările se împart în: constante, periodice și arbitrare. Orice mișcare arbitrară a particulei în spațiu este în funcție de șase vectori: componentele v_x, v_y, v_z ale mișcării de translație în direcția axelor carteziene și componentele v_{xy}, v_{xz}, v_{yz} ale mișcării de rotație în planurile formate de axele carteziene corespunzătoare. Mișcările particulelor în funcție de combinația deplasărilor elementare caracterizate cu numărul vectorilor, mișcărilor posibile (T,R,C) și de felul mișcării se pot împărți în șase clase (I,...,VI). Se menționează că este dificil de a confecționa malaxoare cu cinci sau șase componente ale mișcării particulelor.

1.2. Organe de amestecare

Paletelile sunt cele mai răspândite organe de amestecare ale malaxoarelor gravitaționale și cu amestecare forțată și mixtă. La unele malaxoare ele se numesc palete de schimb, deoarece în rezultatul uzurii sporite ele nu asigură executarea calitativă a procesului de amestecare și se înlocuiesc cu altele noi sau recondiționate. Unele palete îndeplinesc funcția numai de curățare a pereților cupei și a cilindrului interior la malaxoarele cu arbore vertical și la malaxoarele turbulente. Paletelile se confecționează din oțel rezistent la uzură 110G13L sau din tablă de oțel. Cupele, tobele, jgheburile malaxoarelor sunt captușite cu plăci de schimb rezistente la uzură de oțel 50G, 30HGS [8].

1.3. Procesul de amestecare

Pentru obținerea unei omogenități înalte este necesar ca în procesul amestecării traiectoriile unor componente să se întretaie cu orbitele altor componente. Cu cât mai multe particule vor fi antrenate în așa mișcării cu atât mai intensiv va fi procesul de amestecare [9].

Procesului de amestecare i se impun următoarele cerințe: repartizarea uniformă în tot volumul amestecului a granulațiilor, lianților și a apei; repartizarea omogenă a adaosurilor; preîntâmpinarea formării cocloașelor și a golurilor în amestec; evitarea fărâmițării agregatelor și deci modificării compoziției granulometrice inițiale; scoaterea de pe suprafața particulelor de lianți a peliculelor neactive.

Amestecarea materialelor nisipoase, lichide, vâscoplastice ce compun amestecul în diferite combinații se efectuează utilizând procedee mecanice, pneumatice și combinate. Cel mai răspândit este procedeul mecanic de preparare a amestecurilor.

Procesul de amestecare reprezintă următoarele procese elementare [7]: deplasarea unui grup de particule dintr-o poziție în alta (amestecare convectivă), redistribuirea particulelor prin suprafața de desprindere reînnoită (amestecare prin difuziune) și deformațiile de forfecare.

Pentru a intensifica procesul de amestecare este necesar de a majora cantitativ aceste trei procese elementare.

Cinetica caracteristică a procesului de amestecare este prezentată în fig.1.2 [7]. La început (zona I) predomină amestecarea convectivă când se micșorează brusc neomogenitatea distribuirii componentelor. În zona a II-a calitatea amestecului se îmbunătățește, mai ales, ca rezultat al amestecării prin difuziune. Zona a III-a se caracterizează cu un echilibru dinamic între elementele procesului de amestecare și separare, de aceea amestecarea de mai departe în așa condiții nu este oportună.

În malaxoarele gravitaționale (fig. 1.1,a,b) amestecarea componentelor se efectuează în tobe cu palete fixate pe partea interioară. La rotirea tobei componentele se ridică la o înălțime oarecare cu ajutorul paletelor și în rezultatul acționării forțelor de frecare dintre amestec și tobă, apoi cad în jos sub acțiunea forțelor de gravitație. Totodată, amestecul este deplasat în lungul tobei de către palete care formează un unghi cu axa tobei și din cauza formei conice a pereților tobei.

Frecvența de rotație a tobelor este limitată de valoarea la care forțele centrifugale împiedică căderea liberă a amestecului și, deci, intensitatea amestecării în aceste malaxoare este mai joasă decât în betonierele cu amestecare forțată.

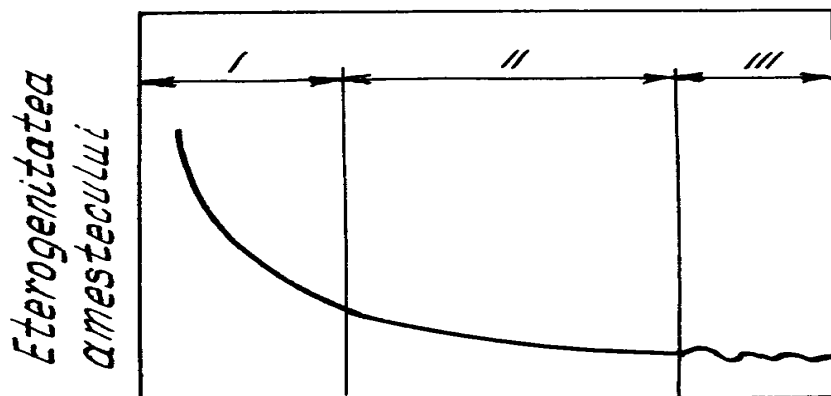


Fig.1.2. Dependenta eterogenității amestecului de durata amestecării

Pentru malaxoarele cu acțiune continuă (fig. 1.1,c) trebuie să se asigure deplasarea generală și totală a amestecului în lungul jgheabului. Cinetica mișcării materialului în aceste malaxoare este destul de complexă.

La intrarea în material paleta mai întâi presează materialul (fig. 1.3) ceea ce conduce la acționarea unei zone mari de amestec care este deplasat tot în aceeași direcție și concomitent în stânga față de această direcție. Paleta în procesul mișcării face în material un canal arcuit deplasând totodată un volum oarecare de amestec în direcție circulară și axială. Pe măsura înaintării paletii acest canal iarăși se umple cu amestec. În primul rând, în el cade amestec din partea dreaptă. Marginea din stânga a paletii este presată de șuvoiul de amestec care alunecă pe planul frontal al paletii, totodată o parte a lui tot cade în canal. Datorită acestor deplasări ale porțiunilor de amestec care se transmit consecutiv de la paletă la paletă se obține amestecarea și deplasarea totală a amestecului în lungul jgheabului.

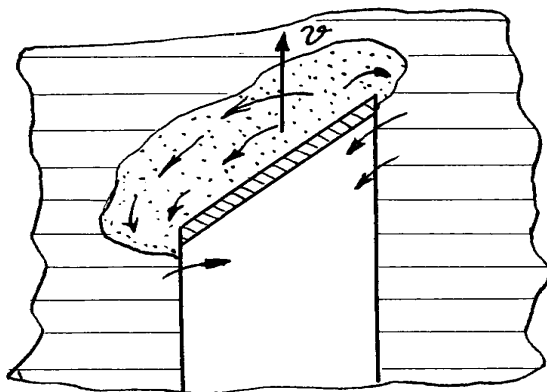


Fig.1.3. Cinetica în malaxoarele cu palete

Forța maximă necesară pentru înaintarea paletii prin masa de argilă [10] se determină cu formula

$$P = kA = klb \sin \alpha, \quad (1.1)$$

unde k – rezistența specifică la înaintare a argilei, Pa;

A – proiecția paletii pe un plan care trece prin axa arborelui și axa suportului paletii, m^2 (fig.1.4);

l – lungimea paletii, m;

b – lățimea paletii, m;

α - unghiul dintre paletă și planul perpendicular pe axa arborelui, grade.

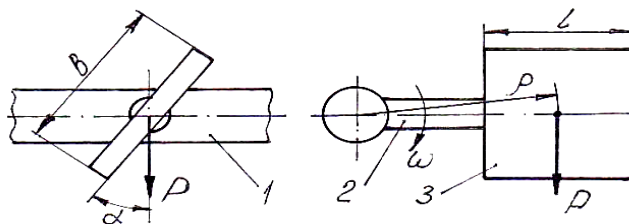


Fig. 1.4. Schema situării paletii față de arbore: 1 – arbore;
2 – suport; 3 – paletă

După cum se menționează în lucrarea [10] rezistența care apare la introducerea paletii în masa de argilă pe măsura adâncirii se va mări până când nu s-a atinge valoarea la care se va începe procesul de înaintare a paletii prin argilă (tăierea). Începutul acestui proces apare în momentul când masa de argilă se va comprima de o forță la care sarcina specifică asupra masei va fi egală cu valoarea lui k – rezistența specifică la înaintare a argilei. Valoarea lui k pentru masa de argilă cu umiditatea de 17...20% constituie 0,25 MPa.

Pentru i palete forța va fi

$$P_{tot} = kiA = kilb \sin \alpha. \quad (1.2)$$

Reiese că rezistența totală se determină prin însumarea rezistențelor tuturor paletelor care se află în material.

Lucrul efectuat la o rotație a arborelui se determină cu relația

$$L = P_{tot}S, \quad (1.3)$$

unde S – calea parcursă de paletă la o rotație a arborelui, m.

În malaxoarele cu amestecare forțată (fig. 1.1,d) cu arbore vertical (malaxoare cu rotor sau turbulente) paletele de amestecare au diferite unghiuri de situare în plan orizontal, diferite raze de rotire și diferite unghiuri în plan vertical (fig. 1.5). Aceasta asigură deplasarea circulară, radială și verticală a componentelor amestecului. În procesul amestecării apar forțe centrifugale care conduc la migrarea particulelor din partea centrală a cuvei spre periferie. Acest proces contribuie dintr-o parte la amestecarea particulelor, iar din altă parte - la segregarea amestecului datorită faptului că particulele mai mari capătă o forță centrifugală mai mare.

La o anumită viteză de rotire a organelor de amestecare forțele centrifugale au o așa valoare care nu provoacă segregarea, însă deplasarea radială a întregii mase totuși are loc. Pentru distribuția uniformă a amestecului pe toată suprafața cuvei este necesară situarea răzuitoarelor la periferia cuvei care nu numai curăță suprafața cilindrului exterior, dar și deplasează amestecul spre partea centrală a cuvei.

Amestecarea în malaxorul turbulent (fig. 1.1,e) are loc sub acțiunea forțelor centrifugale formate la rotirea rotorului cu palete cu viteză mare. Traectoria particulelor este compusă: mai întâi particulele sunt aruncate de către palete spre partea conică a corpului, apoi se mișcă pe ea în sus trecând pe partea cilindrică, trec în partea centrală a corpului și prin gravitație cad în partea centrală a rotorului totodată efectuând deplasări circulare.

În malaxorul cu acțiune continuă și amestecare forțată cu doi arbori orizontali care se rotesc în direcții diferite (fig. 1.1,f) amestecul este ridicat de către palete și totodată împins în direcție axială spre ieșire. Parțial amestecul trece dintr-un jgheab în altul.

Amestecarea în malaxorul cu acțiune ciclică și amestecare forțată cu un arbore orizontal și două palete elicoidale (fig. 1.1,g) se deosebește de alte procese prin aceea că la prima jumătate de rotație a arborelui amestecul este ridicat și deplasat în stânga, iar la a doua jumătate iarăși este ridicat și deplasat în dreapta.

După cum menționează academicianul V.Voznesenschi, regimul de amestecare a componentelor în cel mai simplu caz trebuie să fie caracterizat cu timpul și viteza de malaxare și, de asemenea, cu energia specifică de amestecare [11].

Durata amestecării în malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă constituie: 60...150 s pentru amestecuri de beton obișnuit cu raportul apă-ciment A/C = 0,4; 240 s - amestec de beton vârtos cu raportul A/C = 0,32...0,35 și agregate mici; 60...90 s – mortare de var sau mixte, 120...150 s – mortare normale. Conform [12] durata amestecării betonului în malaxoarele gravitaționale constituie 75...12 s pentru mobilitatea de 3...8 cm și 60...9 s pentru mobilitatea mai mare de 8 cm, în malaxoarele cu amestecare forțată 50 s. La prepararea amestecurilor cu mobilitate mică și puțin vârhoase durata amestecării trebuie mărită de 1,5...2 ori. În malaxoarele cu amestecare forțată, prepararea amestecurilor cu granule mari durează de obicei 2...3 min, iar cu granule mici - 3...5 min.

Analiza parametrilor tehnici ai malaxoarelor de diferite tipuri [13,14] demonstrează că consumul de energie al lor la un metru cub de amestec este diferit. În betoniera SB-93 [13] cu amestecare forțată și arbore vertical consumul de energie la amestecare constituie 1,05 kW.h/m³, iar în betoniera gravitațională SB-94 – numai 0,65 kW.h/m³.

La malaxoarele pentru mortar S-289V, S-209, S-290 [14] cu două palete elicoidale și amestecare forțată consumul de energie variază de la 0,75 până la 1,05 kW.h/m³.

În malaxoarele turbulente [6] materialul este aruncat continuu de jos în sus, și ca rezultat cheltuielile de energie sunt mari (W=1,026 kW.h/m³).

1.4. Analiza cantitativă a șuvoaielor în malaxoarele cu palete

Intensificarea procesului de amestecare, pe de o parte, conduce la micșorarea duratei malaxării și, pe de altă parte, la îmbunătățirea calității amestecului. Micșorarea duratei de malaxare contribuie la economisirea energiei și la majorarea productivității, iar îmbunătățirea calității amestecului – la micșorarea consumului de lianți și la majorarea rezistenței mecanice a articolelor fabricate din aceste amestecuri.

Proiectarea și confecționarea malaxoarelor de tip nou necesită cunoașterea numărului de șuvoaie formate de organele de lucru în procesul amestecării suficiente pentru obținerea calității garantate a amestecului. S-a analizat majoritatea tipurilor de malaxoare cu palete utilizate pentru prepararea amestecurilor de mortar, de beton, asfaltice și, de asemenea, a malaxoarelor pentru argilă.

Malaxoarele utilizate în producție sunt echipate cu un număr diferit de organe de amestecare în formă de palete, au spații de amestecare de diverse forme și diferite rotații ale tobei sau ale arborilor cu organele de amestecare. Cu toate acestea, obținerea calității necesare în aceste malaxoare pentru unul și același tip de amestec trebuie să necesite unul și același număr de acționări ale organelor de amestecare asupra materialului din malaxor.

Numărul de șuvoaie n_s formate de către palete în procesul preparării unui amestec se poate calcula cu formula

$$n_s = t_a n z_p, \quad (1.4)$$

unde t_a – durata amestecării pentru obținerea calității necesare a amestecului, s;

n - turația tobei sau a arborelui, rot/s;

z_p – numărul total de palete ale malaxorului.

Durata amestecării în malaxoarele cu acțiune ciclică se determină cu relația

$$t_a = t_c - t_{inc} - t_{desc} \quad (1.5)$$

unde t_c – durata unui ciclu de preparare a amestecului, s;

t_{inc} – durata încărcării, s

t_{desc} – durata descărcării, s.

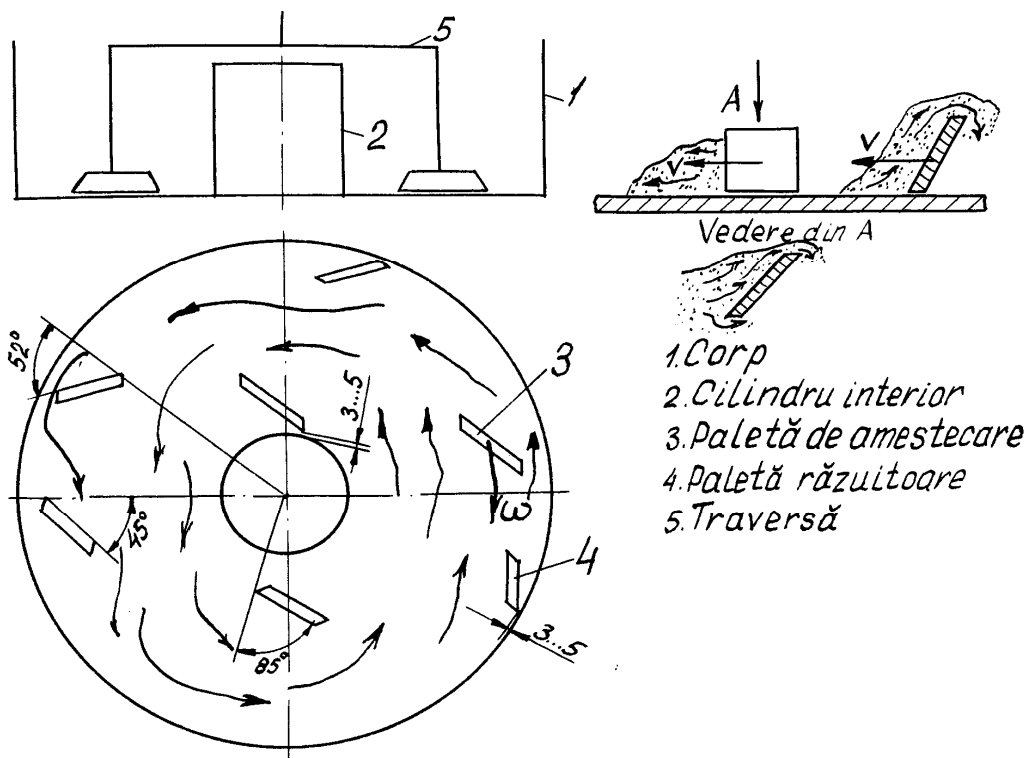


Fig.1.5. Cinetica amestecului în malaxorul cu amestecare forțată și arbore vertical

Durata unui ciclu se determină

$$t_c = \frac{3600V}{Q} \quad (1.6)$$

unde V - volumul amestecului preparat, m^3 ;

Q – productivitatea malaxorului, m^3/h .

Substituim (1.6) în relația (1.5) și obținem

$$t_a = \frac{3600V}{Q} - t_{inc} - t_{desc} \quad (1.7)$$

și atunci

$$n_{\text{ș}} = \left(\frac{3600V}{Q} - t_{inc} - t_{desc} \right) n z_p \quad (1.8)$$

Afară de aceste șuvoaie, în malaxoarele ciclice cu amestecare prin cădere liberă cu tobă rotativă sub acțiunea forțelor de frecare componentii amestecului se ridică până la o înălțime oarecare care depinde de ughiul de taluz natural în mișcare, apoi cad formând un șuvoi continuu care pe parcursul unei rotații a tobei circulă de două ori. Masa șuvoiului continuu constituie 85%, iar a șuvoaielor formate de către palete -15% de la masa amestecului [7].

Numărul de șuvoaie formate de către forțele de frecare se determină cu relația

$$n_{\text{șf}} = 2t_a n \quad (1.9)$$

Deci, pentru malaxoarele ciclice cu amestecare prin cădere liberă numărul total de șuvoaie va fi

$$n_{st} = n_s + n_{sf}, \quad (1.10)$$

$$n_{st} = t_a n z_p + 2 t_a n = t_a n (z_p + 2) \quad (1.11)$$

Substituim (1.7) în (1.11) și obținem

$$n_s = \left[\frac{3600V}{Q} - t_{inc} - t_{desc} \right] n (z_p + 2). \quad (1.12)$$

Numărul de șuvoaie formate în malaxoarele cu acțiune continuă și amestecare prin cădere liberă se determină cu formula (1.11) în care t_a este durata de amestecare sau timpul necesar pentru deplasarea materialului în lungul malaxorului.

$$t_a = \frac{L}{v} \quad (1.13)$$

unde L - calea parcursă de amestec în lungul malaxorului, m;

v - viteza de deplasare a amestecului în lungul tobei, m/s.

Viteza amestecului v se determină din relația

$$v = \frac{Q}{3600F}, \quad (1.14)$$

unde Q - productivitatea malaxorului, m³/h;

F - aria secțiunii materialului din tobă, m².

$$F = \frac{\pi D^2}{4} K_u k_a, \quad (1.15)$$

unde D - diametrul tobei malaxorului, m

K_u - coeficientul de umplere a tobei cu amestec (de obicei $K_u=0,35$);

k_a - coeficientul de afănare și al neuniformității introducerii materialului în tobă, $k_a=0,6$.

Substituind (1.15) în (1.14), apoi (1.14) în (1.13) și (1.13) în (1.11) și având în vedere că

$K_u = 0,35$ și $k_a = 0,6$ obținem

$$n_{st} = \frac{593,46 D^2 L n}{Q} (z_p + 2). \quad (1.16)$$

Numărul de șuvoaie în malaxoarele cu acțiune continuă cu amestecare forțată cu un arbore orizontal cu palete se determină cu formula (1.4) în care t_a se determină cu relația (1.13).

Viteza de deplasare a materialului în lungul jgheabului se determină din formula productivității

$$Q = 3600 F v K_u \beta k_a \quad (1.17)$$

unde Q - productivitatea malaxorului, m³/h;

F - aria secțiunii transversale utile a amestecătorului, m²,

$$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 0,785(D^2 - d^2), \quad (1.18)$$

unde D - diametrul circumferinței descrise de capetele paletelor, m;

d - diametrul arborelui malaxorului, m;

β - coeficientul ce ține seama de curgerea materialului înapoi, $\beta=0,75...0,8$;

K_u - coeficientul de umplere, $K_u = 0,5...0,6$;

k_a - coeficientul de afănare și al neuniformității introducerii materialului în tobă, $k_a = 0,6$.

Din (1.17) obținem

$$v = \frac{Q}{3600 F K_u \beta k_a}. \quad (1.19)$$

Substituind (1.18) în (1.19) și (1.19) în (1.13) obținem

$$t_a = 2826L(D^2 - d^2)K_u \beta k_a / Q; \quad (1.20)$$

Substituind (1.20) în (1.4) obținem

$$n_s = 2826L(D^2 - d^2)K_u \beta k_a n z_p / Q. \quad (1.21)$$

Numărul de șuvoaie în malaxoarele cu doi arbori orizontali cu palete cu acțiune continuă și amestecare forțată se determină cu formula (1.21) în care z_p este numărul de palete pe ambii arbori.

În malaxoarele pentru mortar cu arbore orizontal și două palete elicoidale numărul de șuvoaie este compus din șuvoaiele pe care le formează fiecare paletă cu partea ei frontală și le deplasează circular și concomitent axial și din șuvoaie care trec peste muchia interioară a fiecărei palete. Deci, numărul total se va determina cu formula (1.4) și rezultatul se va mări de două ori. Tot în așa mod se calculează numărul de șuvoaie formate în betonierele cu cuvă și amestecare forțată.

Rezultatele determinării numărului de șuvoaie formate de către palete pentru obținerea unui amestec calitativ pentru diferite tipuri de malaxoare sunt prezentate în tabelul 1.1.

Se constată că în malaxoarele cu amestecare prin cădere liberă și acțiune ciclică (poz. 1-3 din tabelă) numărul de șuvoaie n_s este cu mult mai mic decât în malaxoarele cu acțiune continuă (poz. 4-6) și se explică prin aceea că în ultimele la procesul amestecării iau parte concomitent mai multe palete.

Numărul mare de șuvoaie în malaxoarele cu acțiune continuă și amestecare forțată cu arbori orizontali (poz. 7-12) se explică prin aceea că amestecurile cu mobilitate scăzută necesită un număr mai mare de lopătări, iar în malaxoarele pentru mortar (poz. 13-15) numărul de șuvoaie este mic și se datorează faptului că sunt numai două palete, însă fiecare paletă acționează toată masa de material deplasând-o în direcție circulară și axială în mod forțat. În betonierele cu cuvă (poz. 16-19) numărul de șuvoaie este de asemenea mic, deoarece numărul de palete este mic, însă fiecare paletă formează un șuvoi continuu în mod forțat pe parcursul întregii circumferințe descrise de ea.

În malaxorul cu cupă și arbore vertical fiecare paletă formează un șuvoi de material pe parcursul întregii rotații, iar în malaxoarele cu palete cu amestecare prin cădere liberă, cu arbori orizontali și acționare continuă, sau ciclică – numai atunci când trece prin material. Lungimea arcului circumferinței pe care se găsește materialul depinde de coeficientul de umplere a tobei sau a jgheabului malaxorului.

Pentru a lua în seamă această diferență dintre căile parcurse de paletă prin material pentru diferite malaxoare introducem un coeficient numit coeficient de utilizare a rotației paletei k_{ur} egal cu raportul lungimii arcului circumferinței descrise de capătul paletei la trecerea ei prin material l față de lungimea totală a circumferinței L

$$k_{ur} = \frac{l}{L} = \frac{\varphi R}{2\pi R} = 0,159\varphi, \quad (1.22)$$

unde R - raza circumferinței descrise de capătul paletei, m;

φ - unghiul central al arcului descris de paletă la trecerea ei prin material, rad.

Lungimea arcului ocupat de material depinde de coeficientul de umplere a tobei cu material. Când $K_u < 0,5$ coeficientul de utilizare a rotației paletei k_{ur} este totdeauna mai mare ca K_u . Cea mai mare deosebire se observă pentru $K_u = 0,1$ când k_{ur} este mai mare decât K_u de 2,7 ori. Rezultă, că la coeficienți de umplere mai mici de 0,5 amestecarea va fi mai intensivă decât pentru $K_u > 0,5$. Corespunzător, și energia de amestecare va fi mai mare când coeficientul de umplere va fi mai mic decât 0,5.

Deci, la determinarea numărului de șuvoaie formate de către palete este necesar de a lua în considerație lungimea căii parcurse de paletă prin material caracterizată cu coeficientul k_{ur} care se găsește într-o dependență complexă de coeficientul de umplere K_u . Se determină valoarea lui k_{ur} funcție de K_u , apoi se introduce în formulele de calcul ale numărului de șuvoaie:

pentru malaxoare cu cădere liberă

$$n_{\text{sl}} = t_a n(z_p k_{ur} + 2); \quad (1.23)$$

malaxoare cu amestecare forțată cu doi arbori orizontali

$$n_{\text{sl}} = t_a n z_p k_{ur}; \quad (1.24)$$

Tabelul 1.1. Numărul de șuvoaie formate în malaxoarele cu palete pentru obținerea unui amestec calitativ

Nr. Crt.	Tipul și sursa de informație	Durata amestecării t_a , s	Turația n , rot/s	Numărul de palete z_p	Numărul de șuvoaie $n_{\text{ș}}$	Coeficientul k_{ur}	Numărul de șuvoaie ținând seama de k_{ur}
1	2	3	4	5	6	7	8
Betoniere ciclice cu amestecare prin cădere liberă							
1.	S-336G, [14]	89	0,30	8	267	0,42	143
2.	S-302, [14]	114	0,29	6	265	0,42	149
3.	S-230, [14]	114	0,20	8	228	0,42	122
Betoniere cu acțiune continuă și amestecare prin cădere liberă							
4.	S-473, [14]	56	0,35	28	588	0,42	270
5.	S-314A, [14]	51	0,30	36	581	0,42	262
6.	S-673, [14]	61	0,30	36	695	0,42	313
Betoniere cu acțiune continuă și amestecare forțată cu arbori orizontali							
7.	S-548, [14]	29	1,20	46	800	0,50	400
8.	S-543, [14]	61	0,90	32	878	0,50	439
9.	S-473, [14]	37	0,70	32	414	0,50	207
Betoniere cu acțiune continuă și amestecare forțată pentru argilă							
10.	SM-256, [14]	89	0,50	22	989	0,50	495
11.	SM-296A, [14]	96	0,50	27	1295	0,50	648
12.	SM-460, [14]	105	0,50	27	1415	0,50	708
Malaxoare orizontale pentru mortar cu acțiune ciclică cu două palete elicoidale							
13.	S-289V, [14]	150	0,500	2	300	1,0	300
14.	S-209, [14]	163	0,36	2	234	1,0	234
15.	S-290, [14]	197	0,33	2	260	1,0	260

Betoniere cu cuvă și amestecare forțată

Continuarea tabelului 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
16.	SB-80,[15]	60	0,58	5	348	1,0	348
17.	SB-138, [16]	45	0,38	5	172	1,0	172
18.	SB-141, [6]	45	0,5	5	226	1,0	226
19.	SB-146	60	0,43	5	258	1,0	258

malaxoare cu amestecare forțată cu un arbore orizontal

$$n_{\text{sl}} = t_a n_z p k_{ur}; \quad (1.25)$$

malaxorare ciclice pentru mortar cu două palete elicoidale, și betoniere cu cuvă

$$n_{\text{sl}} = 2 t_a n_z p k_{ur}. \quad (1.26)$$

Valorile coeficienților k_{ur} și numărul de șuvoaie determinat folosind relațiile (1.23 - 1.26) sunt prezentate în tabelul 1.1. Urmează că diferența dintre valorile corectate ale numărului de șuvoaie ale malaxoarelor cu amestecare forțată când se ține seama de k_{ur} (poz. 7 - 12) a devenit mai mică și putem conchide că numărul de șuvoaie raportat poate fi un parametru de bază pentru obținerea și aprecierea calității amestecării.

Concluzii:

1. Malaxoarele pentru prepararea amestecurilor de mortar și de beton cu amestecare prin cădere liberă și forțată a materialelor sunt echipate, de regulă, cu organe de amestecare în formă de palete.

2. Malaxoarele cu organe de amestecare în formă de palete se caracterizează cu o capacitate mare de consum de energie a procesului de amestecare datorită lopătării cu paletele a unei considerabile mase “moarte”, fără amestecarea ei, iar în malaxoarele cu acționare continuă și deplasării axiale a ei, cu o probabilitate mare de blocare a particulelor între capetele paletelor și suprafața interioară a tobei.

3. Malaxoarele gravitaționale nu pot fi utilizate pentru prepararea amestecurilor cu mobilitate mică (amestecuri de beton vârtos și de mortar), deoarece procesul de malaxare a acestor amestecuri decurge foarte lent, iar în interiorul cocloașelor, nu se produce deloc.

4. Malaxorul turbulent cu viteză mare a arborelui poate fi utilizat numai pentru prepararea amestecurilor cu mobilitate înaltă, are un consum specific mare de energie ($0,8...1,0 \text{ kW.h/m}^3$) și în procesul malaxării este posibilă stratificarea amestecului din cauza vitezelor mari care conduc la forțe centrifugale mari.

5. Intensificarea procesului de amestecare în malaxoarele cu cădere liberă este limitată de turația tobei la care mai are loc căderea materialelor. Această limitare nu se impune malaxoarelor cu amestecare forțată.

6. Este propus un nou criteriu pentru aprecierea calității amestecării în malaxoarele pentru beton și mortar, care reprezintă numărul de șuvoaie formate de către organele de amestecare necesare pentru asigurarea calității înalte a amestecului.

7. Sunt propuse formule pentru determinarea numărului de șuvoaie formate de către organele de amestecare în formă de palete în malaxoare de diferite tipuri.

8. Pentru determinarea numărului raportat de șuvoaie formate în malaxor s-a propus un coeficient, numit coeficient de utilizare a rotației paletei k_{ur} cu ajutorul căruia malaxoarele de diferite tipuri se reduc la unele și aceleași condiții de lucru și care reprezintă raportul deplasării organului de amestecare prin material l asupra deplasării totale L parcurse de el la o rotație. Acest coeficient dă posibilitate de a aprecia gradul de utilizare a organului de amestecare în procesul amestecării și de a compara malaxoarele de diferite tipuri în condiții egale.

2. Malaxoare cu organe de amestecare în formă de bare

2.1. Principii de elaborare a malaxoarelor și de intensificare a procesului de amestecare

Elaborarea malaxoarelor de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare se bazează pe următoarele principii:

- în primul rând, divizarea de către organele de amestecare situate într-un mod special pe suprafața arborelui a masei de material din toba malaxorului, constituită din componenții amestecului, într-un număr cât mai mare de șuvoaie, îmbinarea imediată a acestor șuvoaie, și apoi iarăși divizarea și îmbinarea lor ș.a.m.d. Aceasta conduce la intensificarea procesului de amestecare forțată, migrația de întâmpinare a particulelor.

- în rândul al doilea, micșorarea rezistențelor de înaintare prin material a organelor de amestecare datorită efectului de interacțiune a barelor prin intermediul materialului ceea ce conduce la micșorarea consumului de energie necesar pentru prepararea amestecului.

- în rândul al treilea, excluderea din procesul de preparare a amestecului a operațiilor care nu contribuie la amestecarea componentelor, însă majorează consumul specific de energie. La aceste operații se referă transportarea inutilă a masei de material în lungul malaxorului, ridicarea multiplă a materialului în tobă fără amestecarea lui.

- în rândul al patrulea, excluderea blocării particulelor de material între capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a tobei ceea ce conduce la micșorarea cheltuielilor de energie și de materiale necesare pentru confecționarea malaxoarelor.

- în rândul al cincilea, utilizarea funcție de tipul amestecului a proceselor mixte de amestecare: cădere liberă și amestecare forțată; cădere liberă, amestecare forțată și vibrație.

- în rândul al șaselea, simplificarea construcției organelor de amestecare ceea ce conduce la ieftinirea confecționării malaxoarelor.

2.1.1. Malaxoare cu amestecare prin cădere liberă cu elemente fixe

Procesele de amestecare în malaxoarele gravitaționale cu organe de amestecare în formă de bare fixe este bazat pe utilizarea energiei potențiale a componentelor ridicați la înălțimea orificiului de încărcare a malaxorului. Componentele amestecului în cădere liberă se divizează de către bare în șuvoaie, care apoi se îmbină și iarăși se divizează și a.m.d. Consumul de energie este foarte mic și este egal cu energia necesară pentru ridicarea componentelor.

Malaxorul cu bare în formă de corniere [17] (fig. 2.1) se caracterizează cu o productivitate mare și calitate înaltă a amestecului și poate fi utilizat la prepararea amestecurilor uscate. Malaxorul include un buncăr 1 cu pereți înclinați 2 și verticali 3, un corp 4 instalat sub buncăr, organe de amestecare 5 fixate pe pereții corpului, reflectoare 6 și plăci înclinate 7 fixate pe corp și care formează în partea de jos o fantă dreptunghiulară. Corpul 4 cu secțiune pătrată, organele de lucru 5, reflectoarele 6 și plăcile înclinate 7 formează un compartiment. Sub compartimentul de sus sunt situate compartimente analoage, însă cu organe de lucru perpendiculare celor precedente. Pereții înclinați 2 dau posibilitate de a regla productivitatea malaxorului.

Malaxorul funcționează în modul următor: în buncărul 1 se introduc în flux continuu componentele amestecului. Pereții înclinați 2 și cei verticali 3 formează un șuvoi îngust de

material care cade pe organele de amestecare 5. Fiecare organ de amestecare divizează materialul de deasupra lui în două șuvoaie egale (fig. 2.1, b), totodată șuvoaiile megieșe se îmbină și formează șuvoaie care căzând pe organele de amestecare ale rândului al doilea iarăși se divizează și apoi șuvoaiile megieșe formate se îmbină și cad pe rândul al treilea de organe de amestecare și se petrece divizarea în șuvoaie și îmbinarea lor. În șuvoaiile centrale după rândul al treilea de organe de amestecare se conține material care aparține la șapte șuvoaie diferite (*abcbcde* și *bcdedef*). Șuvoaiile *a* și *f* ajung până la pereții corpului 4, cad pe reflectoarele 6 și sunt îndreptate spre mijlocul părții de jos a compartimentului unde are loc îmbinarea lor cu șuvoaiile centrale. Plăcile înclinate 7 situate perpendicular față de organele de lucru direcționează părțile laterale ale șuvoaielor spre fanta de ieșire.

Din primul compartiment materialul cade în cel de-al doilea în care șuvoaiile de material se amestecă în plan perpendicular celui precedent. Apoi materialul trece consecutiv în compartimentul al treilea și al patrulea în care procesul de amestecare este analog. Amestecul preparat iese din fanta de evacuare a compartimentului al patrulea.

Malaxorul gravitațional [18] se deosebește de cel descris mai sus prin aceea că în compartimente sunt amplasate organe de amestecare în formă de platbandă. În fiecare compartiment (fig. 2.2) sunt situate câte trei grupuri de rânduri de organe de amestecare 2 lungimea cărora este egală cu lungimea fantei de ieșire a buncărului 1 și a compartimentelor și sunt instalate în fiecare rând unul după altul cu un pas care asigură formarea între organele de amestecare a găurilor în formă de fantă. Rândurile fiecărui grup de organe de amestecare sunt amplasate unul față de altul pe verticală cu un pas anumit în așa mod că organele de amestecare ale rândului situat mai jos se găsesc față în față cu fantele rândului de mai sus, iar înclinarea rândurilor primului grup de organe de amestecare este spre stânga cu unghiul de înclinare mai mare decât unghiul de taluz natural în mișcare al materialului care se amestecă. Grupul al doilea și al treilea de organe de amestecare au înclinare spre dreapta și corespunzător spre stânga cu același unghi de înclinare. Organele de lucru ale rândurilor superioare ale grupului al doilea și al treilea sunt amplasate față în față cu fantele grupului de mai sus, iar organul de lucru din stânga al rândului al doilea al primului grup, organul din dreapta al rândului de sus al grupului al doilea și organul de lucru din stânga al rândului de sus al grupului al treilea sunt alăturate de corpul amestecătorului.

Procesul de amestecare este prezentat în fig. 2.2. În buncărul 1 se introduc în flux continuu componentele amestecului, care ieșind din fanta buncărului cad pe organul de amestecare superior din stânga 2 al primului rând de organe de amestecare. Materialul alunecă pe suprafața organului de lucru în dreapta și în jos și parțial în stânga (șuvoiul *a*). La trecerea peste fantele dintre organele de amestecare megieșe, o parte de material se varsă printre ele în jos. Astfel în rândul de organe de amestecare de sus materialul se divizează în șase șuvoaie (*a,b,c,d,e,f*), care cad pe organele de amestecare ale rândului al doilea și alunecă în dreapta și în jos. O parte a șuvoiului *a* trece în prima fantă, iar cealaltă parte continuă să alunece mai departe și se îmbină pe al doilea organ de lucru cu șuvoiul *b* deoarece vectorii lor sunt îndreptați sub un unghi unul față de altul. Șuvoiul *ab*, care s-a format, se deplasează în dreapta pe suprafața înclinată și o parte cade în jos prin fantă, iar altă parte trece pe al treilea organ de amestecare, unde se îmbină cu șuvoiul *c* formând șuvoiul *abc*, care apoi trecând în dreapta parțial se varsă în fanta din întâmpinare, iar altă parte alunecă pe al patrulea organ de amestecare pe care se îmbină cu șuvoiul *d* formând șuvoiul *abcd*, care la rândul său, se deplasează în dreapta, parțial trece în fanta din întâmpinare, iar altă parte trece pe al cincilea organ de lucru unde se amestecă cu șuvoiul *e* și se formează șuvoiul *abcde*, care trecând în dreapta se îmbină cu șuvoiul *f* și se formează șuvoiul *A = abcdef*. Pe rândul al treilea de organe de amestecare procesul de amestecare este analog, însă se formează șuvoaie mai complexe. La ieșirea de pe ultimul

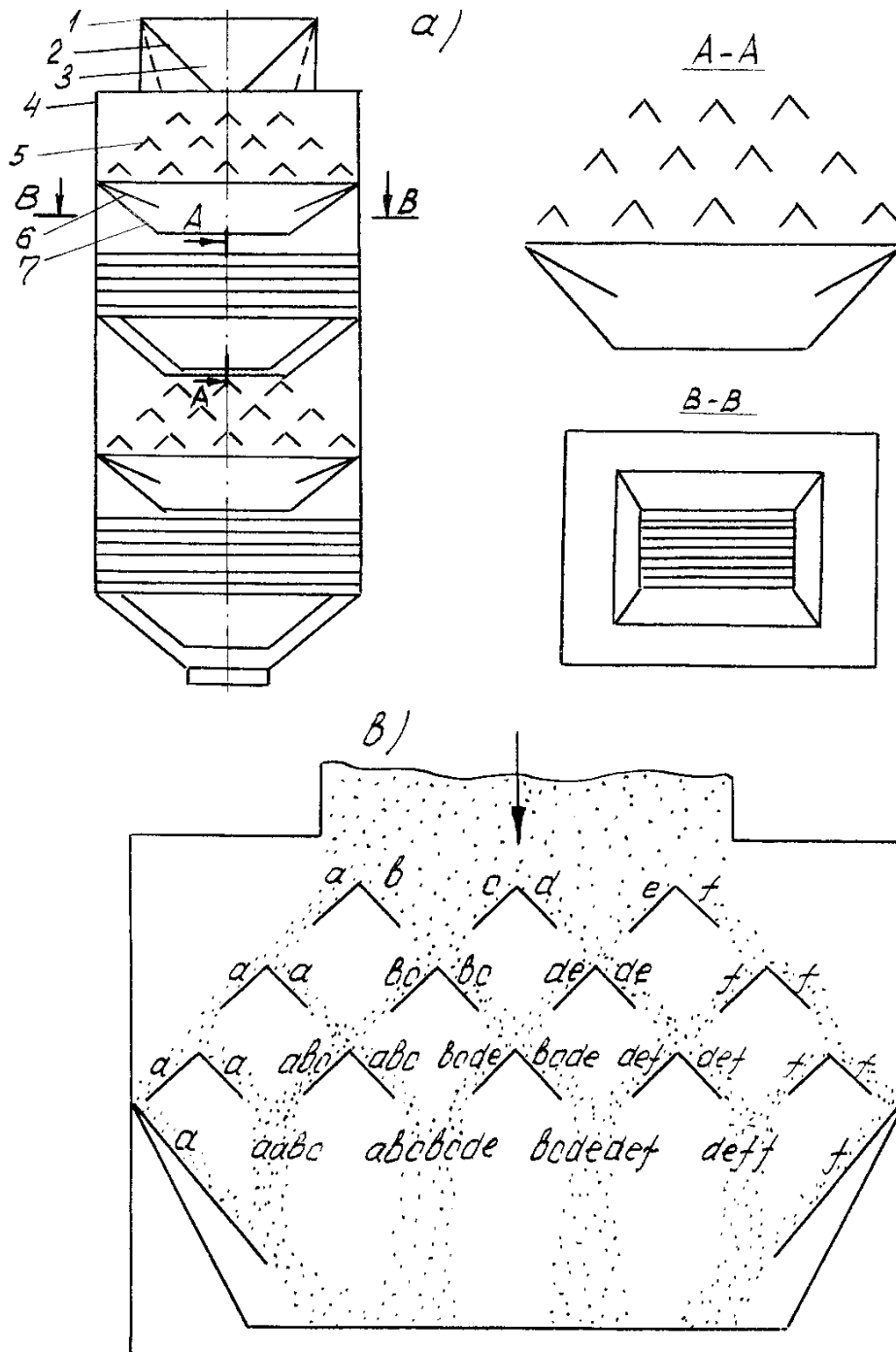


Fig. 2.1. Schema malaxorului cu amestecare prin cădere liberă:
 a – vedere generală în secțiune; b – procesul de amestecare
 într-un compartiment

organ de amestecare al rândului al treilea se formează șuvoiul $B = 5a4b3c2def$.

La căderea materialului pe organele de amestecare ale grupului al doilea care sunt înclinate în dreapta are loc un proces analogic de divizare în șuvoaie și de îmbinare a lor. Tot așa decurge procesul de amestecare la căderea materialului pe organele de amestecare ale grupului al treilea .

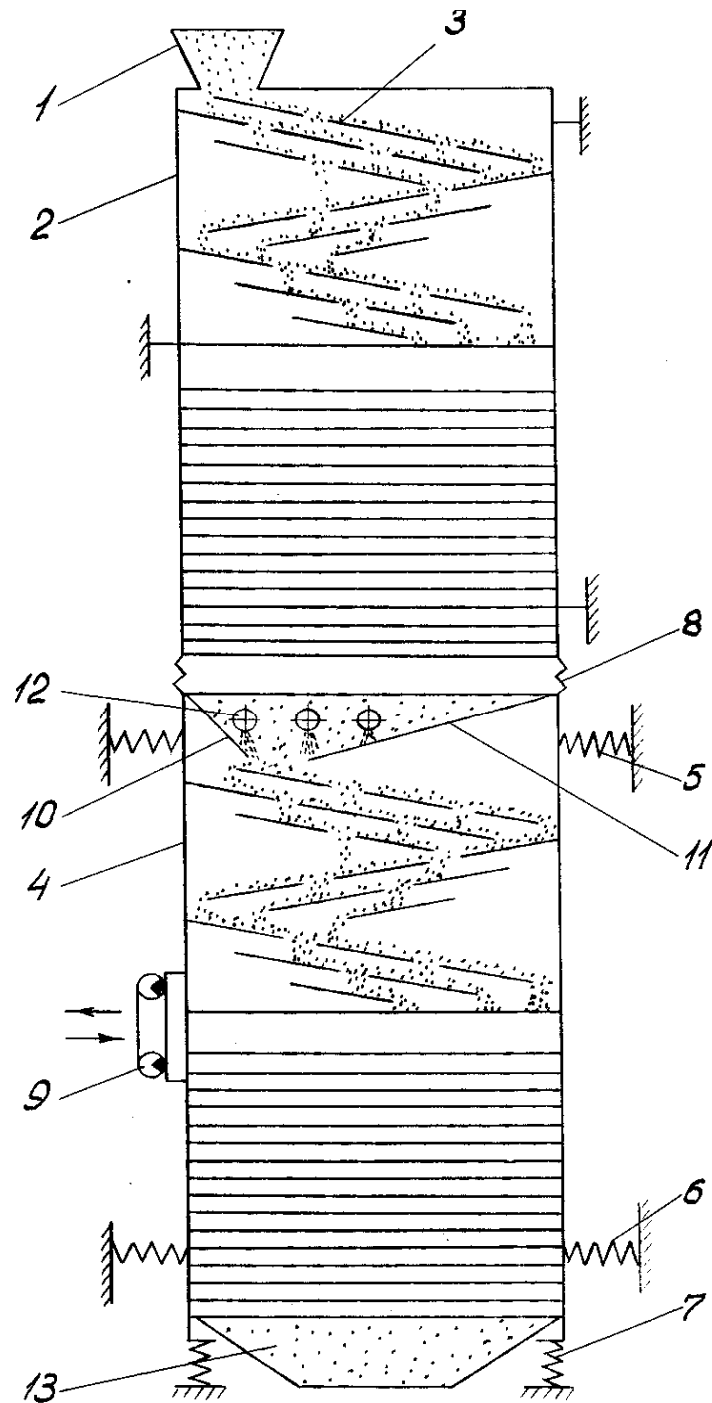


Fig. 2.3. Schema malaxorului cu amestecare prin cădere liberă și vibrare

După amestecarea uscată materialul trece în spațiul în care sunt instalate țevile 12 care injectează uniform de-a lungul șuvoiului de material lichidul liant. Îmbunătățirea umezirii tuturor particulelor amestecului și majorarea mobilității lor este asigurată datorită vibrației compartimentelor de umezire cu ajutorul vibratorului 9 cu oscilații orientate, fixat pe partea exterioară a corpului inferior 4.

Totodată, organele de amestecare ale compartimentului superior al corpului 4 sunt oscilate în planul de deplasare a materialului, dar sub un unghi. Aceasta conduce la majorarea vitezei de deplasare a materialului și la asigurarea divizării materialului în șuvoaie. În compartimentul

superior al corpului 4 are loc umezirea particulelor de material și amestecarea de mai departe a lor. Mobilitatea amestecului crește datorită faptului că între particule se formează un strat de lichid care conduce la micșorarea coeficientului de frecare atât dintre particule cât și dintre particule și organele de amestecare. De aceea, în compartimentul inferior al corpului 4 oscilațiile au direcție perpendiculară direcției de deplasare a amestecului ce conduce la o intensificare de mai departe a umezirii particulelor, iar procesul de amestecare este analogic cu amestecarea în compartimentele de mai sus.

2.1.2. Malaxoare gravitaționale cu elemente mobile

Majorarea productivității malaxorului cu tobă basculantă în formă de pară și sporirea calității amestecului preparat se obțin folosind următoarele procedee [20]. În tobă sunt situate bile, densitatea materialului cărora este mai mare decât densitatea amestecului, iar în gura de evacuare a tobei este instalat un grătar cu dimensiunea interioară a ochiurilor mai mică decât diametrul bilelor, bilele fiind acoperite cu un înveliș elastic (fig. 2.4). Malaxorul include o tobă de amestecare rotativă 1 cu palete 2 fixate pe suprafața ei interioară, bile 3 situate în tobă, un grătar 4, un mecanism de acționare 5 și un mecanism de basculare 6.

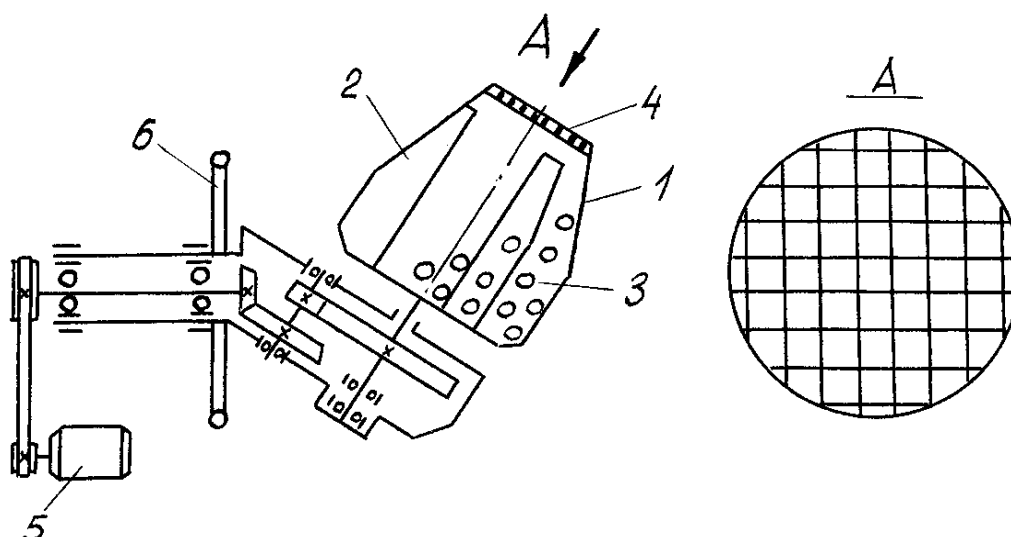


Fig. 2.4. Schema malaxorului cu amestecare prin cădere liberă

Malaxorul funcționează în modul următor: la rotirea cu ajutorul mecanismului de acționare 5 a tobei 1 în care se găsesc componentele amestecului și bilele 3 are loc ridicarea ultimelor de către paletetele 2 până în poziția la care are loc căderea lor liberă. În rezultatul acestor ridicări și căderi libere componentele se amestecă, totodată glomerulele care se formează în procesul amestecării se distrug prin intermediul bilelor. Distrugerea are loc în momentul căderii bilelor în masa de material, în momentul ciocnirii bilelor care cad cu bilele care se găsesc în masa de material și strivirea glomerulelor între aceste bile, precum și între bile și peretele tobei. Astfel, concomitent cu amestecarea componentelor are loc distrugerea glomerulelor formate în procesul amestecării, ceea ce conduce la intensificarea procesului de amestecare și la obținerea unui amestec omogen de mortar într-o perioadă de timp mai mică decât la amestecarea în toba fără bile.

La finele procesului de amestecare toba este basculată cu ajutorul mecanismului de basculare 6 în așa mod ca gura de evacuare să ocupe poziția inferioară – are loc descărcarea amestecului preparat. Bilele 3, având un diametru mai mare decât dimensiunile interioare ale ochiurilor grătarului 4, rămân în tobă.

La prepararea amestecurilor semiuscate are loc același proces de distrugere a glomerulelor care se formează în rezultatul aderenței particulelor cu umiditate și dimensiuni diferite.

Intensificarea procesului de amestecare și majorarea productivității se obțin în malaxorul cu palete și bare [21] (fig. 2.5) datorită situării lor pe suprafața interioară a tobei într-un mod special.

Acest malaxor include un corp cilindric 1 care se sprijină în procesul rotirii pe rolele 4, organe de amestecare 2 fixate pe suprafața interioară a corpului 1 pe o linie elicoidală, plăcile 3 fixate radial pe suprafața interioară a corpului 1 și în direcție longitudinală, pâlnia 5 introdusă cu capătul de jos în centrul corpului 1 și conducta 6.

Organele de amestecare 2 reprezintă bare cilindrice cu lungimea mai mică decât raza interioară a corpului 1. Proiecția p pe axa longitudinală a distanței măsurate pe suprafața interioară a corpului 1 între centrele a două organe de amestecare megieșe și care aparțin unei și aceleiași linii elicoidale este mai mică decât jumătatea pasului liniei elicoidale p_t , $p < p_t/2$. Plăcile 3 au lățimea mai mică decât lungimea organelor de amestecare 2. Pasul plăcilor t măsurat pe suprafața interioară a corpului în direcție transversală este egal cu pasul t al rândurilor longitudinale de organe de amestecare. Plăcile sunt situate între rândurile longitudinale de organe de amestecare.

Malaxorul funcționează în modul următor. La rotirea corpului 1 (mecanismul de acționare nu este indicat) cu organele de amestecare 2 și plăcile 3 fixate pe el materialul (componentele uscate ale amestecului), care se toarnă continuu prin pâlnia 5, este ridicat de către plăcile 3 la o înălțime la care unghiul de înclinare a plăcii devine mai mare decât unghiul de taluz natural al materialului și are loc căderea liberă a lui. Șuvoiul de material în procesul căderii este străpuns de către organele de amestecare 1 care se mișcă în întâmpinarea lui și îl divizează în mai multe șuvoaie. Fiecare șuvoi format la trecerea materialului printre organele de amestecare ale rândului I (fig.2.5,c) este apoi divizat în alte două șuvoaie A și B , și anume, șuvoiul A se deplasează în jos și în stânga, iar șuvoiul B – în jos și în dreapta. Secțiunea șuvoiului A este mai mare decât a șuvoiului B , deoarece organul de amestecare al rândului II, care formează aceste șuvoaie, este situat în direcție longitudinală mai la dreapta de centrul dintre două organe de amestecare ale rândului I (condiția $p < p_t/2$, fig. 2.5,b). La mișcarea de mai departe a șuvoaielor are loc îmbinarea lor și amestecarea componentelor, deoarece vectorii vitezelor lor sunt îndreptați sub un unghi unul față de altul.

Șuvoaiile formate după trecerea materialului printre organele de amestecare ale rândului II iarăși se divizează în alte șuvoaie A și B de către organele de amestecare ale rândului III tot în așa proporții, deoarece fiecare organ de amestecare al rândului al treilea, de asemenea, este situat în direcție longitudinală mai la dreapta de centrul dintre două organe de amestecare ale rândului II. Divizarea materialului în șuvoaie și îmbinarea lor conduce la o amestecare intensivă a componentelor uscate. Deoarece șuvoaiile au o densitate mai mică decât materialul de pe plăci, interstrăpungerea lor se efectuează mai ușor și amestecarea se desfășoară mai efectiv. În plus, la căderea șuvoaielor în partea de jos a corpului are loc amestecarea cu materialul de la fund.

Deoarece secțiunea șuvoaielor A din stânga este mai mare decât a șuvoaielor B din dreapta, materialul care se amestecă se va deplasa în general la stânga spre ieșire.

Plăcile 3 ridică materialul la o înălțime mai mare decât în cazul când ele lipsesc și aceasta conduce la sporirea energiei potențiale a materialului și obținerea unei viteze mai mari de cădere, și la amestecarea mai intensivă a șuvoaielor formate la divizarea materialului de către organele de amestecare.

După amestecarea componentelor în stare uscată amestecul ajunge în zona introducerii continue a lichidului prin conducta 6. Se petrece amestecarea umedă analogic ca și cea descrisă mai sus. Amestecul preparat iese liber din corpul cilindric 1 prin partea lui din stânga. În procesul rotirii, corpul cilindric 1 se sprijină pe rolele 4.

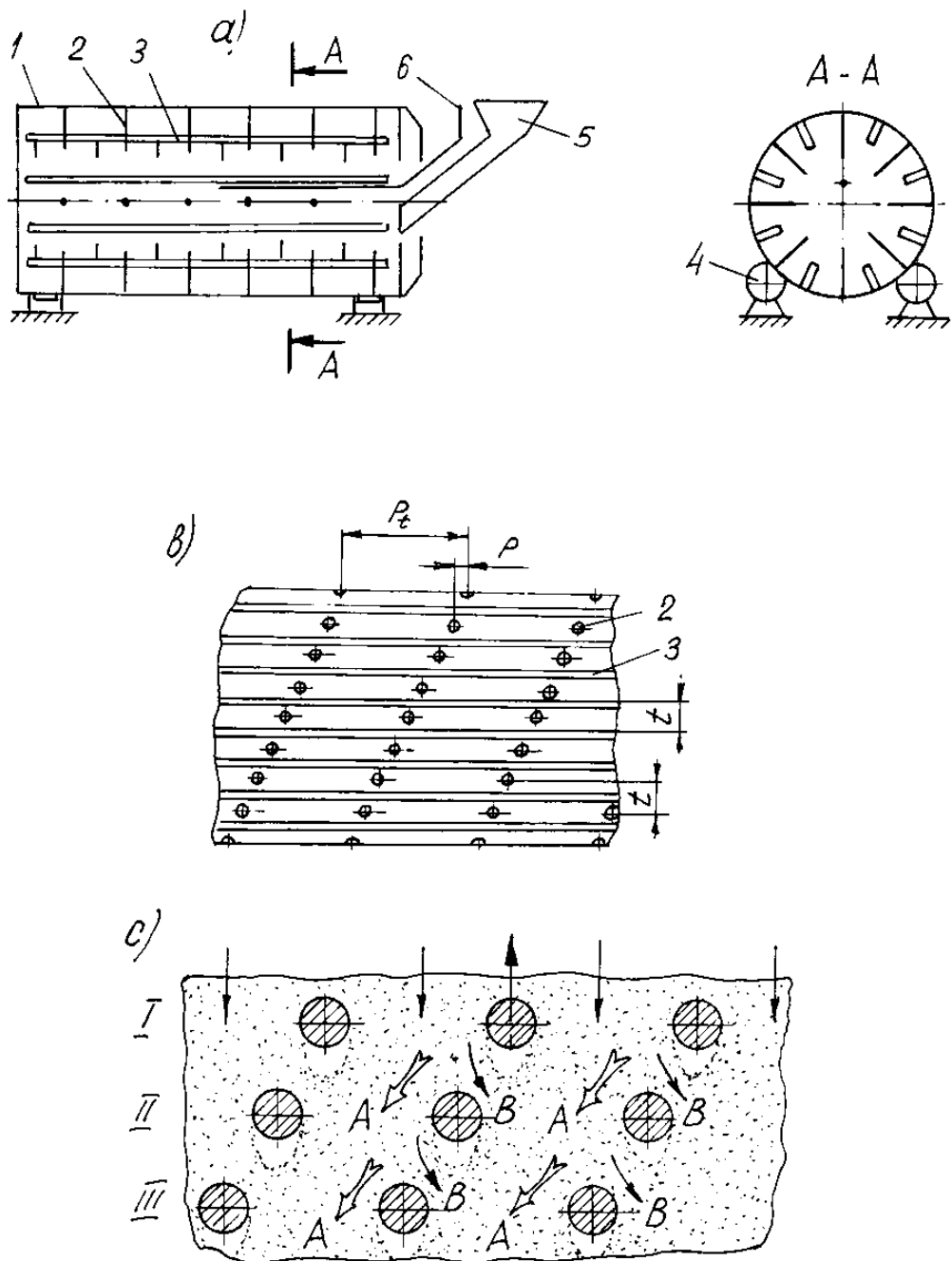


Fig. 2.5. Schema malaxorului cu bare cu acționare continuă și amestecare prin cădere liberă: a - vederea generală în secțiune; b - situarea locurilor de fixare a barelor pe suprafața corpului; c - procesul divizării materialului în șuvoaie

2.1.3. Malaxoare cu amestecare forțată

În aceste malaxoare amestecarea forțată se efectuează la trecerea barelor prin masa de material în rezultatul căreia are loc divizarea forțată a materialului în șuvoaie apoi recombinația în viteză a lor. Repetarea multiplă a acestor procese conduce la o amestecare omogenă a tuturor particulelor componentelor amestecului.

Malaxorul cu acțiune continuă și amestecare forțată (fig. 2.6) [22] include un arbore 1 pe suprafața căruia sunt fixate pe o linie elicoidală organe de amestecare 2 în formă de bare cilindrice, un corp 3 cu orificiul de încărcare 4 și de descărcare 5 și suporturile de capăt 6 și intermediare 7 pentru arborele 1. Corpul 3 include trei tronsoane. În primul tronson pasul organelor de amestecare este mai mic decât în al doilea și al treilea. În tronsonul al doilea în partea superioară a corpului sunt fixate pulverizatoare 9. În tronsonul al treilea pe suprafața interioară a corpului sunt fixate radial în rânduri longitudinale bare 8 cu secțiunea transversală în formă de linte. Rândurile de bare 8 sunt situate pe suprafața interioară a corpului 3 diametral opus. Între organele de amestecare 2 și barele 8 în tronsonul al treilea este luft care asigură trecerea particulelor de material. Lungimea barei 8 este mai mică decât suma lungimii organului de amestecare 2 și luftul dintre capătul lui și suprafața interioară a corpului 3. Proiecțiile organelor de amestecare 2 și a barelor 8 pe orice plan care trece în lungul axei arborelui nu se suprapun.

Malaxorul funcționează în modul următor. La rotirea arborelui 1 (mecanismul de acționare nu este indicat) cu organele de amestecare 2 componente ale amestecului, care se introduc prin orificiul de încărcare 4, sunt antrenați de organele de amestecare 2, se ridică și totodată se deplasează în lungul corpului 3. În același timp materialul care se găsește în fața organelor de amestecare se divizează în șuvoaie grosimea cărora t este egală cu distanța dintre proiecțiile organelor de amestecare pe orice plan care trece prin axa arborelui 1. Deoarece această distanță este mai mică decât diametrul organelor de amestecare 2, grosimea totală a șuvoaielor este mai mică decât lățimea șuvoiului întreg B , care se găsește în fața organelor de amestecare 2. Din această cauză o parte de material trece printre organele de amestecare 2, iar altă parte, cea mai mare, trece în lungul malaxorului și continuă să fie divizată în șuvoaie de către alte organe de amestecare. În așa mod materialul se divizează în șuvoaie care apoi se îmbină. La trecerea a doua a organelor de amestecare (la a doua rotație a arborelui 1) prin material șuvoaielor care mai înainte s-au îmbinat iarăși se divizează în șuvoaie care trec printre organele de amestecare 2 și șuvoi care se deplasează în lungul malaxorului. În rezultatul multiplelor divizări în șuvoaie și îmbinări ulterioare a lor se petrece amestecarea particulelor componentelor și deplasarea concomitentă a amestecului în lungul corpului 3. Deoarece viteza periferică a organului de amestecare 2 crește cu majorarea razei lui, caracterul deplasării șuvoaielor care se formează după organele de amestecare este diferit. La viteză mică (fig. 2.6, secțiunea C-C, stânga) direcțiile de deplasare a șuvoaielor sunt perpendiculare pe axa arborelui 1, la viteză mare (fig. 2.6, secțiunea C-C, dreapta) șuvoaielor își schimbă direcția în așa mod că ele se deplasează sub un unghi față de axa arborelui 1 în direcție inversă deplasării totale a amestecului. Aceasta conduce la intensificarea procesului de amestecare deoarece ultimul are loc datorită amestecării șuvoaielor în lungul malaxorului. Materialul se amestecă parțial datorită surpării particulelor din partea de sus în spațiul gol care se formează în spatele organului de amestecare (fig. 2.6,b) când el trece din poziția verticală în stânga.

Procesul de amestecare se petrece cu cheltuieli mici de energie deoarece este exclusă lopătarea materialului (așa cum se petrece în malaxoarele cu palete), tot materialul este străpuns de organele de amestecare și divizat în șuvoaie ceea ce contribuie la intensificarea procesului de amestecare.

După amestecarea componentelor în stare uscată materialul trece în tronsonul al doilea unde din pulverizatoarele 9 se injectează uniform lichid liant. Procesul de amestecare este analog cu cel din primul tronson. În tronsonul al treilea se petrece distrugerea glomerulelor de amestec și amestecarea de mai departe. Glomerulele se distrug la trecerea organelor de amestecare 2 pe lângă barele fixe 8. Glomerulele sunt presate în spațiul dintre organele de amestecare 2, barele 8 și masa fixă de material (fig. 2.6,c) și se distrug din cauza blocării și, de asemenea, la intrarea organelor de amestecare 2 în material datorită comprimării lor. La repetarea multiplă a acestor procese amestecul capătă o structură uniformă de granulație fină și este evacuat din malaxor prin orificiul de descărcare 5.

Acest malaxor poate fi utilizat la prepararea amestecurilor în care se formează glomerule, el asigură îmbunătățirea calității amestecului datorită intensificării procesului de amestecare și distrugerii glomerulelor, micșorarea consumului specific de energie datorită lipsei masei „moarte” de material în procesul malaxării. Organele de amestecare sunt simple și reprezintă bare cilindrice care nu necesită prelucrări mecanice.

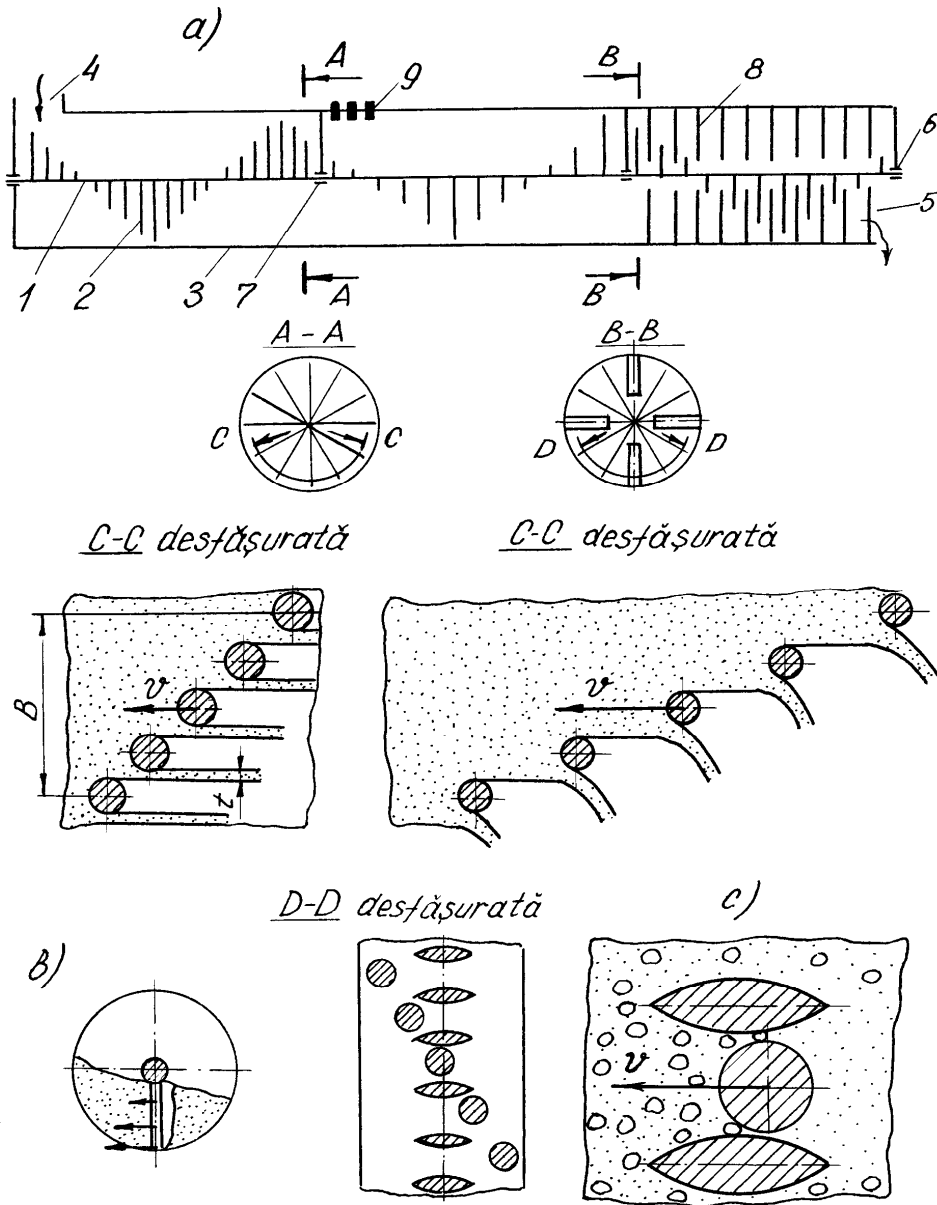


Fig. 2.6. Schema malaxorului cu amestecare forțată și acțiune continuă

Malaxorul cu acțiune ciclică și amestecare forțată (fig. 2.7,a) [23] include corpul 1, organele de amestecare 2 fixate radial pe arborele 3, suporturile 4, rulmenții 5 în care se sprijină bucșele corpului 1, rulmenții 6 pe care se sprijină capetele arborelui 3, sita 7 instalată deasupra corpului 1, mânerul 8, fixat de partea superioară a corpului 1, proeminența 9 fixată pe suprafața exterioară a corpului și rezemată pe ramă.

Locurile de fixare a organelor de amestecare 2 pe suprafața arborelui 3 sunt situate în ordine de șah (fig. 2.7,b), și anume, linia care leagă centrele organelor de amestecare ale rândului longitudinal este paralelă cu axa arborelui, iar ale rândului transversal – perpendiculară

pe axa arborelui. Pasul locurilor de fixare a organelor de amestecare în lungul axei arborelui S_l și transversal față de ea S_t depășește diametrul organelor de amestecare.

Malaxorul funcționează în modul următor. La rotirea arborelui 3 (mecanismul de acționare nu este indicat) cu organele de amestecare 2 fixate pe el componentii amestecului turnat în corpul 1 se străpung de organele de amestecare 2 și se divizează în șuvoaie. Apoi fiecare șuvoi format se divizează în două șuvoaie (stâng și drept) de următorul organ de amestecare, deoarece el străpunge șuvoiul inițial la mijloc. Șuvoaiele stâng și drept se întâlnesc respectiv cu șuvoaiele drept și stâng, formate de organele de amestecare stâng și drept alăturate. Deoarece vectorii vitezelor șuvoaielor stâng și drept sunt îndreptați unul față de altul sub un unghi, are loc amestecarea în forță a acestor șuvoaie. Apoi șuvoaiele formate iarăși se divizează în șuvoaie de către organele de amestecare ale următorului rând longitudinal de bare etc. Schema procesului de amestecare este prezentată în fig. 2.7,c unde șuvoaiele inițiale formate la străpungerea materialului de către primul rând longitudinal de organe de amestecare sunt indicate cu “ a “, “ b”, “c”, “d” și “e”. La trecerea rândului al doilea de organe de amestecare are loc divizarea șuvoailor și îmbinarea lor și ca rezultat se formează șuvoaie care conțin material a două șuvoaie precedente, și anume:”ab”, “bc”, “cd”, “de”. După traversarea rândului al treilea de organe de amestecare se formează șuvoaie care includ componenți ai șuvoaielor precedente dar în proporții diferite, și anume “(2a)b”, ”a(2b)c”, “b(2c)d”, “c(2d)e”, “de”. După traversarea rândului al patrulea de organe de amestecare se formează șuvoaie care includ componenți ai șuvoaielor precedente:“(2a)b”, “(3a)(3b)c”, “a(3b)(3c)d”, “b(3c)(3d)e”, “c(3d)(2e)”. După traversarea rândului al cincilea – șuvoaie cu o compoziție mai complicată, și anume: “(5a)(4b)c”, “(4a)(6b)(4c)d”, “a(4b)(6c)(4d)e”, “b(4c)(6d)(3e)”, “c(3d)(2e). Trecând înapoi la rândul al nouălea observăm că se formează șuvoaiele: “A=(42a)(48b)(27c)(8d)e”, “B = (48a) (69b) (56c) (28d) (7e)”, “C = (27a) (56b) (70c)(55d) (20e)”, “D = (8a) (28b) (55c) (62d) (28e)”, “E = a (7b) (20c) (28d) (14e)”.

La continuarea acestui proces are loc o așa amestecare, la care componentele șuvoaielor inițiale aflate în partea stânga a malaxorului vor ajunge în partea dreaptă a lui, iar componentele șuvoaielor inițiale din partea dreaptă a malaxorului vor ajunge în partea stângă a lui. Materialul ajuns în stânga malaxorului treptat trece în partea dreaptă și, concomitent, materialul ajuns în partea dreaptă a malaxorului trece treptat în partea stângă. Astfel se obține amestecarea intensivă și omogenă a componentelor. Afară de aceasta, în procesul amestecării barele acționează concomitent toată masa de material ceea ce sporește procesul de preparare a amestecului.

Parțial amestecarea se realizează datorită căderii libere a materialului în spațiul care se formează în urma organelor de amestecare când ele ajung în poziția verticală.

La finele procesului de amestecare a componentelor uscați se toarnă uniform de-a lungul malaxorului lichidul liant. Procesul de amestecare este analogic celui descris mai sus.

Descărcarea amestecului preparat se efectuează prin gura corpului 1 la rotirea lui cu mânerul 8 în direcție opusă rotirii arborelui. În procesul rotirii corpul se reazemă pe rulmenții 5, care se sprigină pe suporturile 4, iar arborele 3 – în rulmenții 6. După descărcare corpul este readus în poziția inițială cu mânerul 8 până la atingerea proeminenței 9 de rama malaxorului. Încărcarea unei porții noi de componente ai amestecului se efectuează prin gura corpului acoperită cu sita 7, care evită pătrunderea uneltelor de lucru în zona rotirii organelor de amestecare, la fel și a bucăților mari de material.

Malaxorul cu amestecare forțată [24] se deosebește de cel prezentat în fig. 2.7 prin aceea că organele de amestecare sunt executate în formă de arc și sunt orientate cu partea concavă în direcția rotirii arborelui astfel încât unghiul de așchiere este mai mic de 90 grade și este constant de-a lungul barei, iar unghiul de așezare a capătului liber al barei constituie 5 ... 10 grade.

Procesul de amestecare se deosebește prin aceea că datorită unghiului de așchiere al organelor de amestecare mai mic de 90 grade, și anume, egal cu unghiul optimal δ_{opt} ,

particulele amestecului depășesc forța de frecare ce apare la suprafața organelor de amestecare în procesul înaintării lor prin material și se deplasează de-a lungul organelor de amestecare și

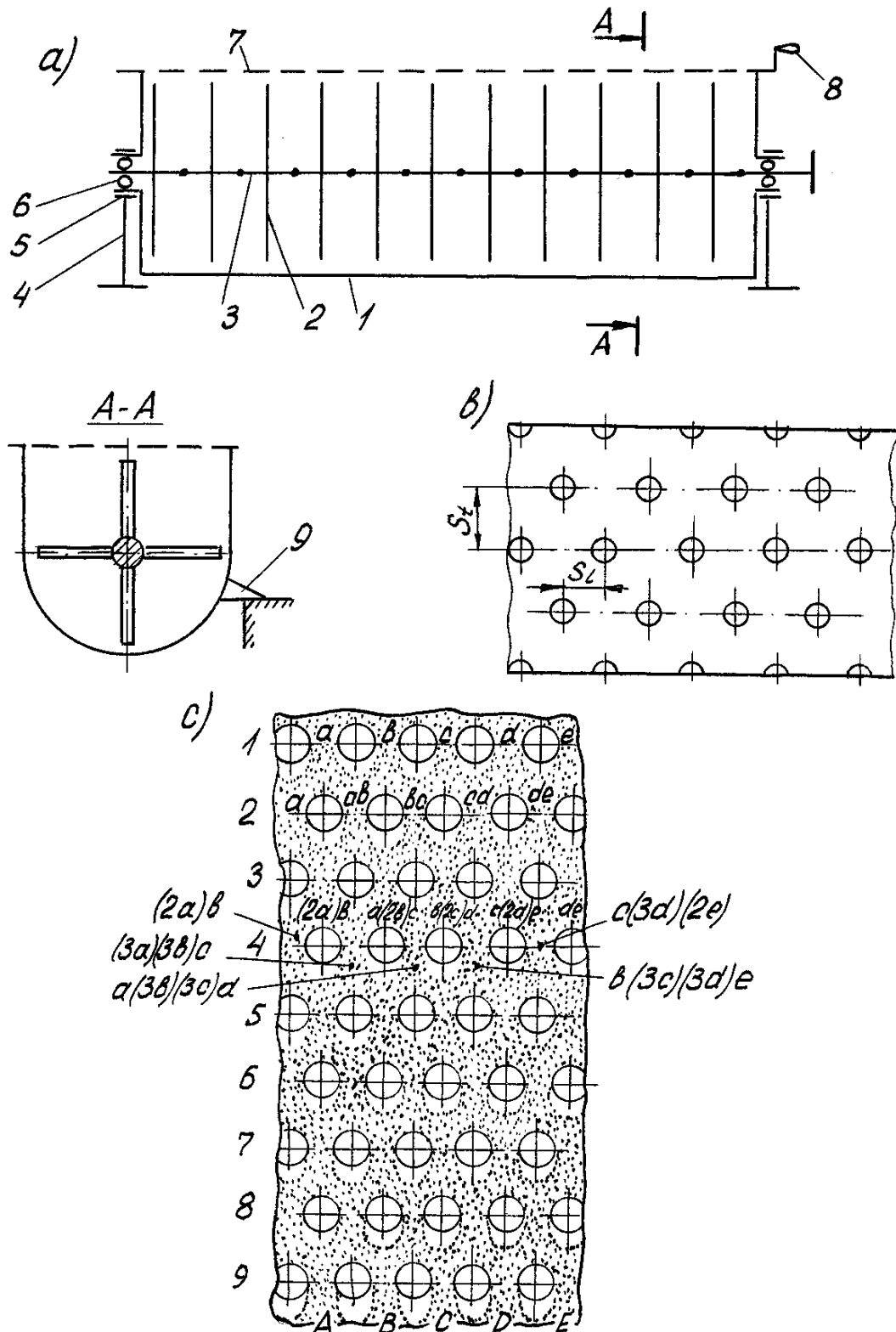


Fig. 2.7. Schema malaxorului cu acțiune ciclică și amestecare forțată (a, b) și a procesului de amestecare (c)

totodată în stânga și în dreapta lor (fig. 2.8). Aceasta conduce la micșorarea rezistențelor de înaintare a organelor de amestecare prin material și facilitarea divizării materialului în șuvoaie.

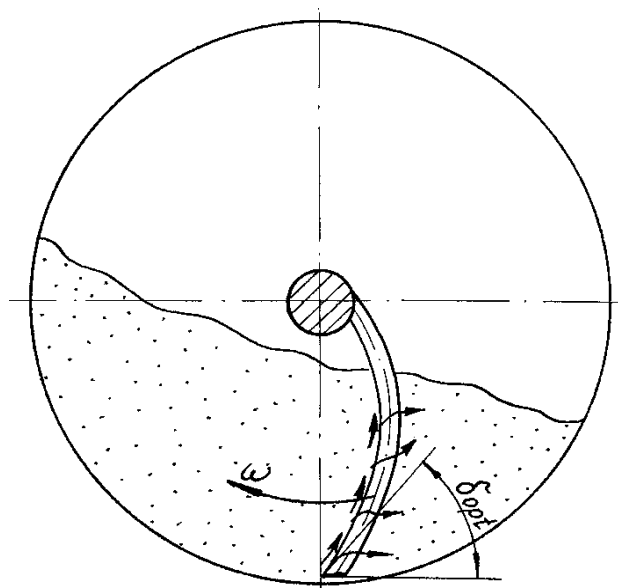


Fig. 2.8. Secțiunea malaxorului cu organe de amestecare în formă de bare arcuite

În malaxorul cu amestecare forțată [25] pe barele radiale, în sensul rotirii arborelui, sunt fixate bare longitudinale paralele cu axa arborelui, diametrul cărora este egal cu diametrul barelor radiale, iar pe capetele barelor sunt fixate răzuitoare longitudinale cu unghiul de așchiere egal cu 45° , proiecția cărora pe orice plan longitudinal care trece prin bara radială și axa arborelui nu depășește diametrul barei, iar pasul barelor longitudinale este mai mare decât diametrul lor, totodată în rândurile longitudinale vecine barele longitudinale sunt amplasate cu o deplasare de jumătate de pas și răzuitoare longitudinale sunt fixate pe capetele acelor bare radiale la care distanța de la bara longitudinală extremă până la capătul barei este egală cu pasul radial al barelor longitudinale.

Această soluție constructivă contribuie la majorarea zonei volumetrică de acționare a organelor de amestecare asupra materialului și divizarea materialului în șuvoaie atât în planuri longitudinale, cât și în planuri transversale în tot volumul amestecului în procesul malaxării.

Malaxorul (fig. 2.9) include un corp 1 cu fundul semicilindric, organe de amestecare 2 executate în formă de bare fixate în secții pe arborele 3, bare longitudinale 4 fixate pe barele 2, răzuitoare longitudinale 5, fixate pe capetele barelor 2, și radiale 6 fixate pe capetele barelor longitudinale 4 și pe arbore, suporturi 7, rulmenți 8 în care se sprijină bușele pereților frontali ai corpului 1, rulmenții 9 pe care se sprijină capetele arborelui 3, un mâner 10 fixat pe partea superioară a corpului 1, umere 11 fixate pe suprafața exterioară a corpului 1 și rezemate de ramă.

Fiecare secție include bare fixate radial și amplasate uniform pe circumferință. Toate secțiile sunt amplasate de-a lungul arborelui cu același pas, iar fiecare secție următoare este fixată pe arbore cu o deplasare unghiulară față de cea precedentă, egală cu o jumătate a unghiului dintre bare.

Barele longitudinale sunt fixate pe barele fiecărei secții, în sensul rotirii arborelui cu pasul mai mare decât diametrul propriu, au un diametru egal cu diametrul barelor radiale. Răzuitoare longitudinale sunt fixate pe capetele acelor bare radiale la care distanța de la bara longitudinală extremă până la capătul barei este egală cu pasul radial al barelor longitudinale.

În fiecare rând longitudinal de bare radiale, barele longitudinale sunt amplasate pe rândurile radiale vecine cu o deplasare de jumătate de pas.

Malaxorul funcționează în modul următor: la rotirea arborelui 3 (mecanismul de acționare nu este indicat) cu organele de amestecare radiale 2 și longitudinale 4, materialul, turnat în corpul 1, este străpuns de organele de amestecare 2, barele longitudinale 4, răzuitoarele radiale 6 și longitudinale 5, și se divizează în șuvoaie atât în planuri longitudinale cât și în planuri transversale.

Divizarea în șuvoaie și îmbinarea șuvoaielor se produce concomitent în tot volumul materialului. Pentru descrierea procesului de amestecare analizăm o zonă transversală destul de limitată în spațiu (de exemplu zona barei radiale I, fig. 2.9). Prin această zonă trec barele radiale cu barele longitudinale fixate pe ele, materialul practic este în stare statică. Se formează efectul curgerii materialului printre barele radiale și cele longitudinale, însă practic el se găsește în una și aceeași poziție. Numai o parte de particule situate pe partea frontală a barelor radiale și longitudinale și a răzuitoarelor pot să se deplaseze cu o probabilitate oarecare în material la distanțe nu prea mari.

Pentru analiza procesului de formare a șuvoaielor în plan transversal presupunem că materialul nu se deplasează în lungul tobei.

La trecerea primului rând longitudinal de bare radiale prin material, între răzuitoare și bara longitudinală se formează șuvoiul α , între două bare longitudinale – șuvoiul β , și între bara din dreapta și arbore - șuvoiul γ (fig. 2.10, poziția I).

La trecerea rândului al doilea longitudinal de bare prin această zonă șuvoaiele α, β și γ se divizează fiecare în câte două semișuvoaie de către barele longitudinale. Deoarece vectorii vitezei semișuvoiului $0,5\alpha$ din dreapta și vitezei semișuvoiului $0,5\beta$ din stânga sunt îndreptați unul față de altul sub un unghi, are loc îmbinarea și amestecarea acestor semișuvoaie și se obține șuvoiul $0,5\alpha, 0,5\beta$. Același lucru se întâmplă și cu semișuvoaiele alăturate $0,5\beta$ și $0,5\gamma$ - se obține un șuvoi nou $0,5\beta, 0,5\gamma$.

La trecerea rândului al III-lea longitudinal de bare prin zona analizată, semișuvoiul $0,5\alpha$ este direcționat spre dreapta de către răzuitoare de la capătul acestei bare. Șuvoaiele $0,5\alpha, 0,5\beta$ și $0,5\beta, 0,5\gamma$ se divizează în câte două semișuvoaie $0,25\alpha, 0,25\beta$ și $0,25\beta, 0,25\gamma$ de către barele longitudinale. Are loc îmbinarea semișuvoiului $0,5\alpha$ cu semișuvoiul $0,25\alpha, 0,25\beta$ din stânga și obținerea unui nou șuvoi $0,75\alpha, 0,25\beta$. Se îmbină semișuvoiul $0,25\alpha, 0,25\beta$ din dreapta cu semișuvoiul $0,25\beta, 0,25\gamma$ din stânga și se obține un șuvoi nou $0,25\alpha, 0,5\beta, 0,25\gamma$ și, în sfârșit, se îmbină semișuvoiul $0,25\beta, 0,25\gamma$ din dreapta cu semișuvoiul $0,5\gamma$ și se obține șuvoiul $0,25\beta, 0,75\gamma$.

Acest proces de divizare-îmbinare a șuvoaielor continuă la trecerea de mai departe a barelor prin această zonă. Observăm (fig. 2.10) că o parte din materialul șuvoiului α în procesul divizării-îmbinării se deplasează treptat în dreapta zonei analizate și la trecerea barei a V-a ajunge până la arbore, apoi începe migrarea în stânga. Tot așa, o parte din materialul șuvoiului γ se deplasează treptat spre stânga și ajunge la corpul malaxorului la trecerea barei a V-a prin această zonă și apoi începe migrarea spre dreapta. Materialul șuvoiului β în procesul divizării-îmbinării șuvoaielor trece în stânga și în dreapta ajungând până la corpul malaxorului și respectiv până la arbore, apoi începe migrația în direcții inverse.

La începutul amestecării, conținutul șuvoaielor α, β și γ în șuvoaiele nou formate nu este uniform. Treptat această neuniformitate dispare și, la trecerea prin zona cercetată a rândului al XLIII-lea longitudinal de bare (numărând de la primul), se obțin șuvoaiele A, B, Γ care conțin particule ale șuvoaielor inițiale α, β și γ distribuite uniform.

Procesul de migrație a particulelor șuvoaielor se petrece nu numai în zona analizată, ci concomitent în toată secțiunea transversală a tobei. Aceasta contribuie la amestecarea rapidă a

materialului în plan transversal, iar dacă luăm în considerație toate secțiile – în planuri transversale în tot volumul materialului din tobă.

Procesul de amestecare în plan longitudinal este analogic celui descris mai sus și este prezentat schematic în fig. 2.11. Cifra 1 indică primul rând longitudinal de bare radiale, literele a, b, și c indică suvoaiele formate la trecerea barelor prin material. Cifrele următoare indică

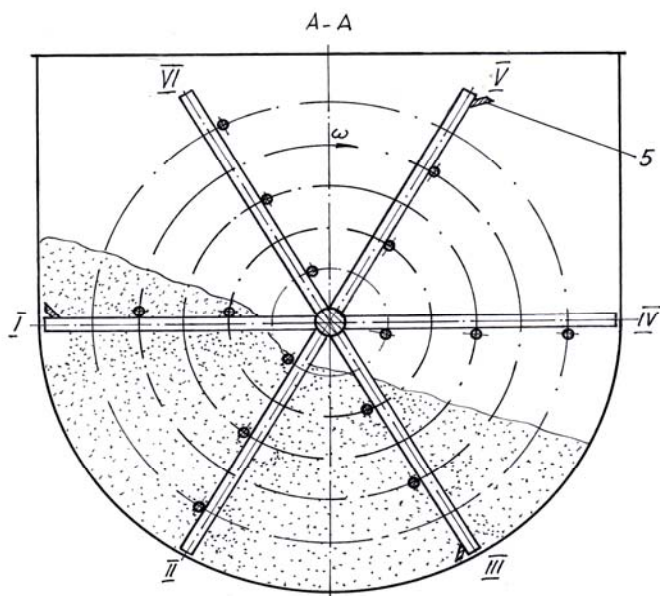
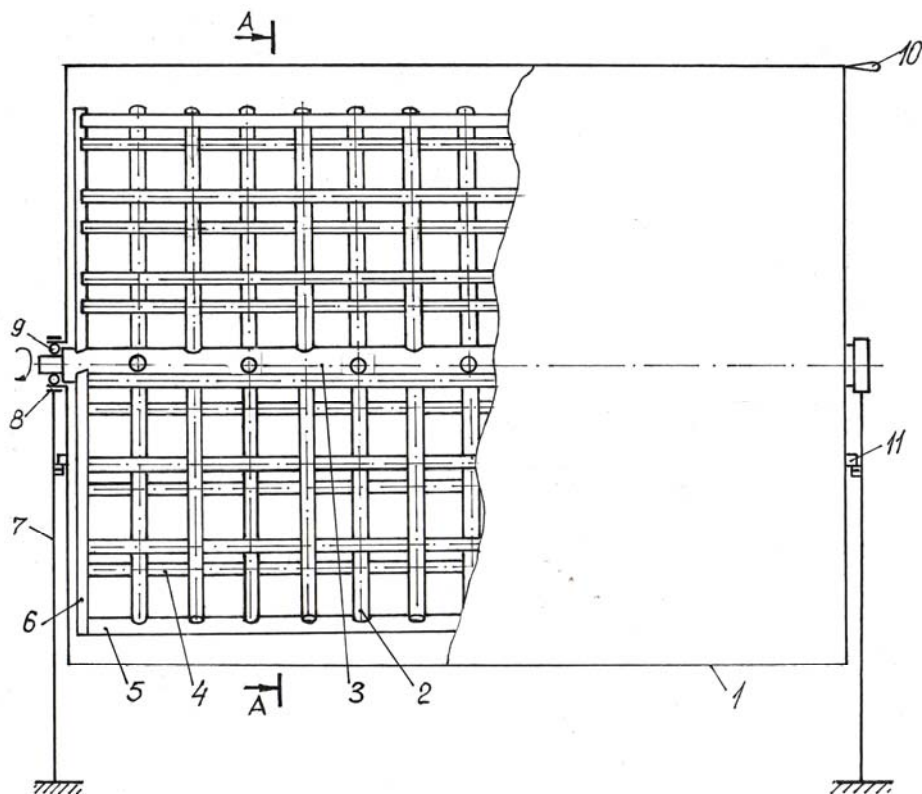


Fig. 2.9. Schema malaxorului cu bare radiale și longitudinale

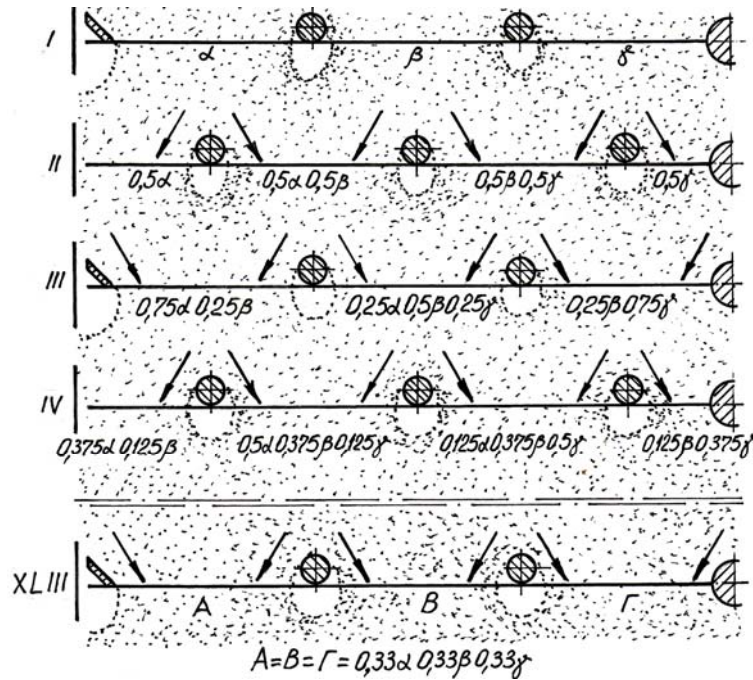


Fig. 2.10. Schema procesului de îmbinare-divizare a șuvoaielor în plan transversal

rândurile longitudinale de bare în poziția când ele trec prin zona primului rând longitudinal de bare, sunt indicate și șuvoaiile formate la trecerea acestor bare.

Din cauza divizării-îmbinării șuvoaielor, particulele materialului migrează concomitent de la stânga spre dreapta și invers. Procesele de divizare-îmbinare și de migrație au loc concomitent în zonele tuturor rândurilor longitudinale de bare situate în material, ceea ce conduce la o amestecare intensivă și omogenă a componentelor amestecului în tot volumul materialului din corpul malaxorului.

Vectorii vitezelor de migrație a particulelor în plan transversal se însumează cu vectorii vitezelor de migrație în plan longitudinal și se obține o deplasare concomitentă a particulelor spre arbore și în dreapta, spre corpul malaxorului și în stânga și invers.

La finele procesului de amestecare uscată se adaugă uniform de-a lungul corpului lichid liant. Procesul de amestecare este analogic celui descris.

Pentru descărcarea amestecului preparat, corpul 1 se basculează cu mânerul 10 în direcție opusă rotirii arborelui. În procesul amestecării și basculării corpul 1 se reazemă în rulmenții 8 care se sprijină pe suporturile 7, iar arborele 3 se sprijină în rulmenții 9. După descărcarea amestecului preparat corpul este readus în poziția inițială cu mânerul 10 până la sprijinirea cu umărul 11 în rama malaxorului.

Prepararea amestecurilor ce conțin materiale fibroase (organice, minerale, metalice) necesită schimbări constructive și utilizarea organelor de amestecare care nu permit înfășurarea pe suprafața lor a fibrelor și asigură totodată distribuirea omogenă a lor în amestec.

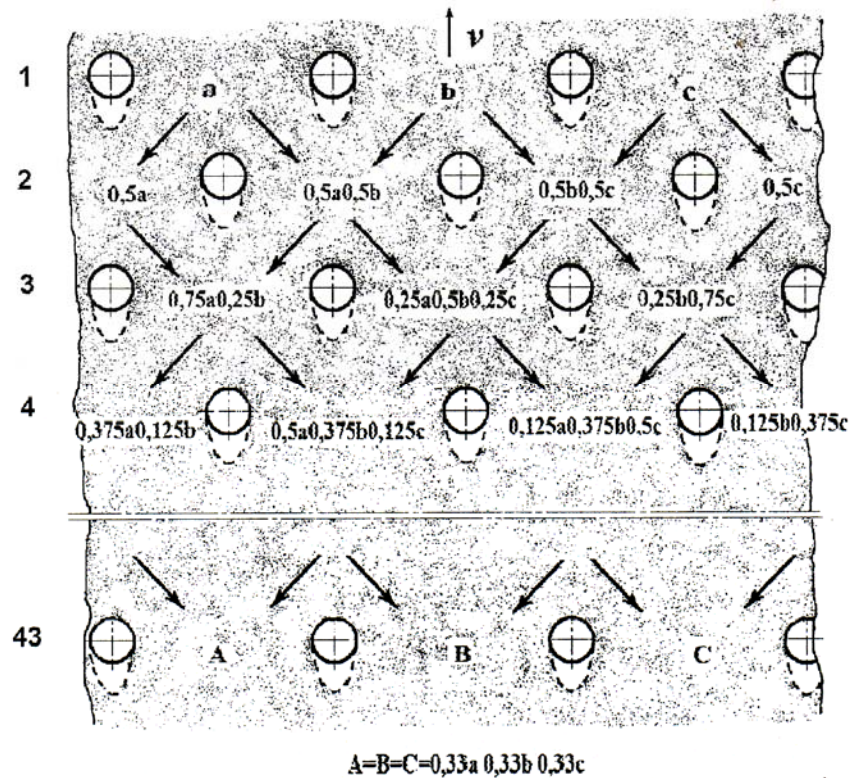


Fig. 2.11. Schema procesului de îmbinare-divizare a șuvoaielor în plan longitudinal

Malaxorul [26] prezentat în fig. 2.12 este destinat preparării amestecurilor ce conțin materiale fibroase și include un arbore 1 cu organe de amestecare flexibile 2 în formă de bare fixate cu un capăt pe arbore pe o linie elicoidală, un corp cilindric 3, un capac 4 situat în partea superioară a corpului, o perie 5 fixată pe partea interioară a capacului 4, care poate contacta cu organele de amestecare, suporturi 6 pentru arbore, un orificiu de încărcare 8 și unul de descărcare 7. Barele 2 sunt îndoite, iar colțurile sunt rotunde, partea liberă a lor este îndoită în plan vertical conform arcului circumferinței coaxiale cu arborele. În plan orizontal capătul liber este îndoit conform liniei elicoidale de situare a organelor de amestecare în direcție inversă rotirii arborelui. Unghiul de înclinare a părții libere a barelor în planul orizontal față de axa arborelui crește spre capătul barei. Distanța dintre locurile de fixare a organelor de amestecare pe arbore este mai mică decât lungimea proiecției orizontale a capătului lui liber.

Malaxorul funcționează în felul următor: la roțirea arborelui 1 cu organele de amestecare 2 în direcție opusă rotirii acului de ceasornic (fig. 2.12, vederea A-A), materialul fibros în formă de bucăți de hârtie, țesătură, rumeguș, șpan care se introduce în corpul 3 în flux continuu prin orificiul de încărcare 8, este antrenat de organele de amestecare 2, se ridică și totodată se deplasează în lungul corpului 3. Bucățile mai mici sunt deplasate la distanțe mici apoi cad de pe suprafața organelor de amestecare, iar cele mari se ridică și la atingerea înălțimii critice cad. Bucățile de material antrenate de capătul liber al organului de amestecare 2 care nu cad la atingerea înălțimii critice sunt deplasate pe suprafața lor de către peria 5 și la capătul barei cad.

După aceasta materialul este antrenat de următorul organ de amestecare și procesul se repetă. În așa fel, amestecul trecând toate ciclurile de amestecare ajunge la capătul din dreapta al corpului unde se descarcă prin orificiul 7. Dacă între capătul liber al organului de amestecare și suprafața interioară a corpului 3 nimereste material fibros cu grosimea mai mare decât luful

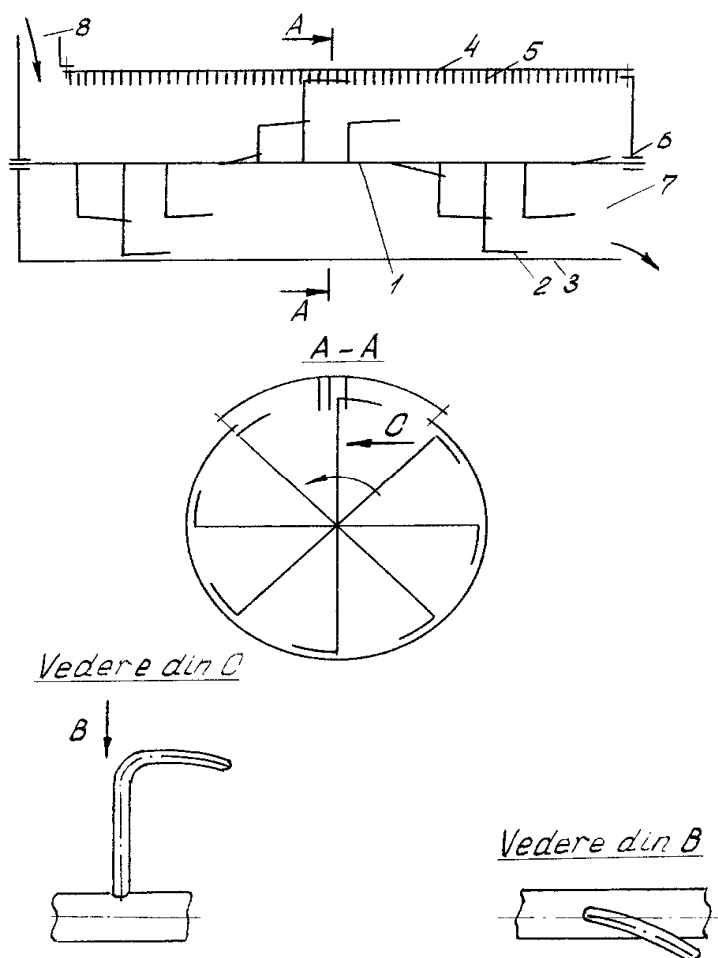


Fig. 2.12. Schema malaxorului pentru prepararea amestecurilor cu materiale fibroase

dintre ele capetele libere se deformează în direcție radială spre centru și în așa mod se evită blocarea. Existența unui spațiu mare între capacul 4 și organul de amestecare 2 în zona situării periei 5 ușurează scoaterea materialului de pe capetele libere ale organelor de amestecare, dă posibilitate părului de perie să se deformeze elastic și la ieșirea materialului de pe capătul organului de amestecare să-l arunce cu viteză mare, ceea ce conduce la îmbunătățirea calității amestecului.

2.1.4. Malaxoare cu amestecare mixtă

Amestecarea forțată și prin cădere liberă a componentelor și excluderea blocării particulelor de agregate între capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a corpului sunt posibile în malaxorul prezentat în fig. 2.13 [27].

Malaxorul include un corp cilindric rotitor 1, care se sprijină în procesul rotirii pe rolele 10 cu centurile 6, un arbore rotitor 2 cu organele de amestecare 3 fixate radial pe suprafața arborelui pe o linie elicoidală, un mecanism de acționare 4 a arborelui 2, un mecanism de acționare 5 a corpului cilindric, o coroană dințată 7, o pâlnie 8, o conductă de lichid 9 și suporturi 11 ale arborelui 2.

Organele de amestecare 3 reprezintă bare cilindrice cu lungimea mai mică decât raza interioară a corpului cilindric 1. Distanța de la capătul organului de amestecare până la suprafața interioară a corpului este mai mare decât dimensiunea maximă a particulelor amestecului. Pâlnia

8 intră cu capătul ei de jos în corpul cilindric mai sus de arborele 2, iar conducta de lichid 9 trece în interiorul corpului prin orificiul peretelui lateral al corpului, apoi este îndreptată prin spațiul dintre organele de amestecare și peretele lateral în sus apoi în stânga în spațiul dintre capetele organelor de amestecare și corp. Pentru evitarea deplasărilor axiale ale corpului cilindric 1 roțile 10 au borduri.

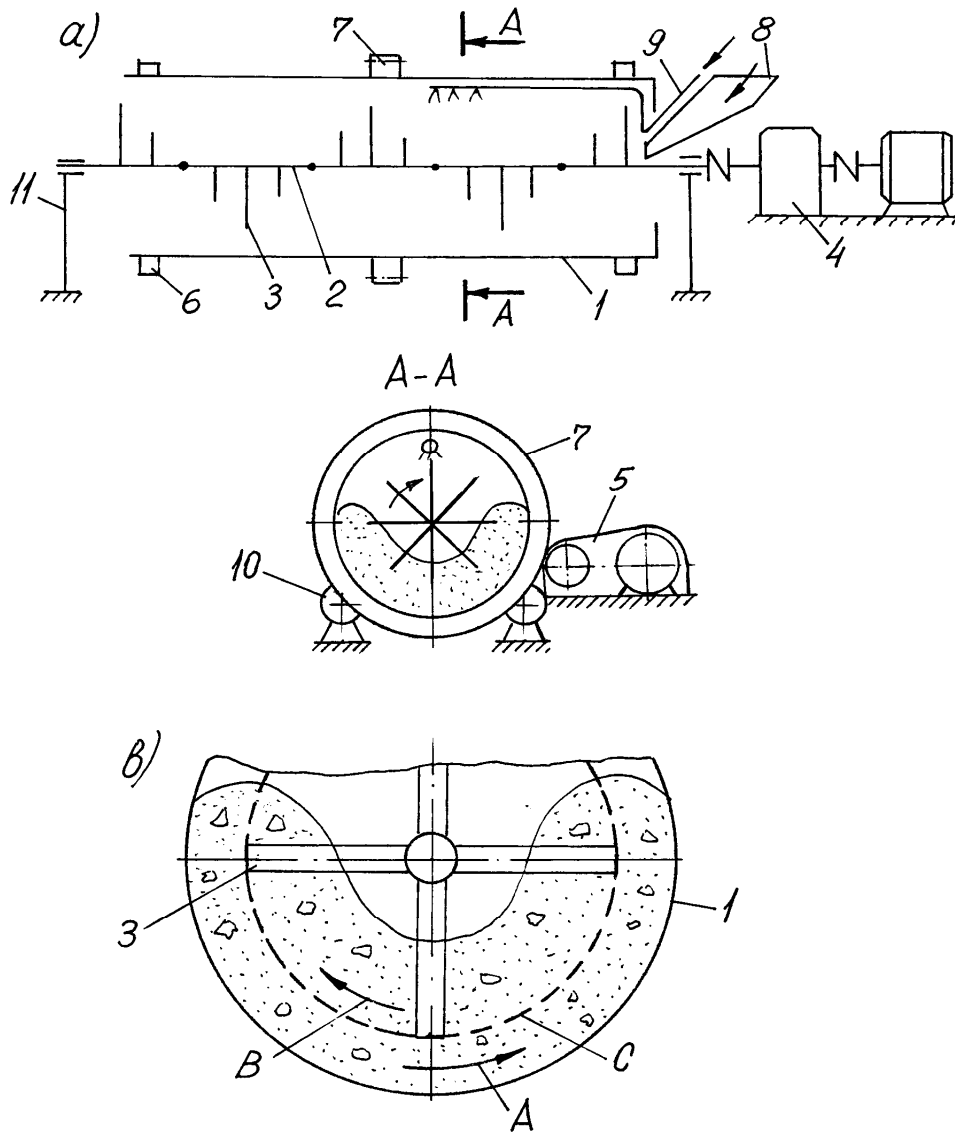


Fig. 2.13. Schema malaxorului cu amestecare mixtă: a – vedere generală în secțiune; b – distribuția masei de material în secțiune

Malaxorul funcționează în modul următor: corpul cilindric 1 este rotit în direcție opusă rotirii acelor de ceasornic (fig. 2.13, A – A), de către mecanismul de acționare 5 prin coroana dințată 7. În același timp arborele 2 cu organele de amestecare 3 este rotit în direcția rotirii acelor de ceasornic de către mecanismul de acționare 4. În procesul rotirii, corpul cilindric 1 se rezemă pe roțile cu borduri 10, iar arborele 2 cu organele de amestecare 3 – pe suporturile 11.

Materialul (componentele uscate ale amestecului) se toarnă continuu în interiorul corpului cilindric 1 prin pâlnia 8. Materialul care cade la fundul corpului 1 este ridicat în dreapta și în sus (fig. 2.13,b) până la poziția în care are loc căderea lui liberă. În același timp, organele de amestecare 3, deplasându-se în direcție opusă mișcării materialului, îl străpung, formând șuvoaie de material care au o grosime egală cu distanța dintre proiecțiile organelor de amestecare pe

orice plan care trece de-a lungul axei arborelui 2. Grosimea sumară a șuvoaielor este mai mică decât lățimea șuvoiului de dinaintea organelor de amestecare. De aceea o parte de material trece printre organele de amestecare, iar cea mai mare parte a lui trece de-a lungul malaxorului în stânga (fig. 2.13,a) și continuă să se divizeze în șuvoaie de către alte organe de amestecare. Astfel are loc divizarea forțată a materialului în șuvoaie și apoi îmbinarea lor. La trecerea repetată a organelor de amestecare 3 (la a doua rotație a arborelui 2) prin material, șuvoaiele care mai înainte s-au îmbinat, iarăși se divizează forțat în șuvoaie, care trec printre organele de amestecare 3, și șuvoi, care se deplasează de-a lungul malaxorului. Datorită acestor divizări în șuvoaie și îmbinări are loc amestecarea forțată a componentelor amestecului și deplasarea concomitentă a lui de-a lungul malaxorului. Deoarece organele de amestecare 3 străpung materialul care se mișcă în întâmpinarea lor, viteza relativă este mai mare decât în cazul când materialul este în stare statică, șuvoaiele de material care sunt formate la trecerea printre organele de amestecare se vor deplasa de-a lungul malaxorului în direcție opusă mișcării generale a materialului spre ieșire. Aceasta contribuie, de asemenea, la intensificarea amestecării componentelor. În procesul funcționării malaxorului este exclusă blocarea organelor de amestecare, deoarece distanța de la capetele organelor de amestecare până la suprafața interioară a corpului este mai mare decât dimensiunea celor mai mari bucați de material.

Coeficientul de umplere a corpului malaxorului se poate mări, deoarece o parte de material care se găsește mai jos de linia C (fig. 2.13,b), descrisă de capetele organelor de amestecare, este ridicată în dreapta de către corpul cilindric (șuvoiul A), iar altă parte de material este ridicată în stânga (șuvoiul B) de către organele de amestecare.

După amestecarea componentelor în stare uscată, materialul ajunge în zona introducerii lichidului din conducta 9 și are loc amestecarea umedă. Procesul de amestecare este analogic celui descris mai sus. La finele procesului, amestecul preparat iese liber din corpul cilindric 1 prin partea din stânga.

Acest malaxor poate fi utilizat la prepararea amestecurilor vârtoase cu agregate de orice dimensiuni, deoarece este exclusă blocarea organelor de amestecare. Este posibilă majorarea coeficientului de umplere datorită distribuției uniforme a masei de material în secțiunea corpului.

Pentru micșorarea consumului specific de energie la amestecarea materialelor, îndeosebi a celor cu rezistență mare de amestecare (beton vârtoș, amestecuri cu agregate mari și a.), e necesar ca acestea să fie preventiv rarefiate și în așa stare să se producă amestecarea. În malaxorul cu arbore vertical (fig. 2.14), [28] rarefierea componentelor amestecului se efectuează la căderea liberă a lor în zona de amestecare.

Malaxorul include corpul vertical alcătuit din tronsoanele conice 1 situate unul deasupra altuia și îmbinate între ele cu discurile 2, pâlnia de încărcare 3 cu orificiul de încărcare 4. Tronsonul inferior al corpului are orificiu de descărcare 5. Orificiul de încărcare 4 este mai mic decât orificiile tronsoanelor și decât cel de descărcare 5. În interiorul corpului este situat arborele vertical 6 cu organele de amestecare 7, fixate radial pe el și situate în fiecare tronson într-un plan ca spițele roții. Este un tronson de pulverizare echipat cu injectoarele 8. Arborele 6 se sprijină pe rulmenții 9 și 10. Corpul malaxorului se sprijină pe ramă (pe desen nu este indicată).

Malaxorul funcționează în modul următor: la rotirea arborelui 6 (mecanismul de acționare nu este indicat) cu organele de amestecare 7 și introducerea materialelor inițiale în flux continuu din pâlnia de încărcare 3 prin orificiul de încărcare 4 are loc divizarea șuvoiului inițial de către organele de amestecare 7 în mai multe șuvoaie. O parte de material care nu este acționat de organele de amestecare, trece în jos (șuvoaiele A, fig. 2.14,b). Particulele altei părți de material nimerind sub acțiunea organelor de amestecare 7 capătă impulsuri. Traectoria deplasării particulelor depinde de locul de contactare a lor cu organul de amestecare (fig. 2.14,c).

Particulele sunt aruncate față de direcția mișcării organului de amestecare sub un unghi oarecare în sus și în jos, și în direcția deplasării lui. Totodată particulele capătă deplasări radiale spre periferie sub acțiunea forțelor centrifugale. În așa mod se formează șuvoaiile notate prin B (fig. 2.14,b).

Discurile 2, în același timp, asigură ermeticitatea corpului. O mare parte de particule ale șuvoiului B sunt aruncate spre suprafața interioară a tronșoanelor 1 unde formează șuvoiul C de materiale ce coboară în jos. Vectorii de viteză ai șuvoaielor B și C sunt îndreptați sub unghiuri diferite unul față de altul și de aceea are loc pătrunderea reciprocă a șuvoaielor. Materialul șuvoaielor B căzând pe șuvoaiile C majorează mobilitatea și viteza de coborâre a materialului pe suprafața înclinată a secției. Pe măsura coborârii șuvoiului C pe suprafața înclinată, asupra lui sunt aruncate noi șuvoaie B. Toate aceste deplasări ale particulelor conduc la amestecarea componentilor. Materialul șuvoiului A se întâlnește cu materialul șuvoaielor B și C în partea de jos a tronșonului conic și, de asemenea, are loc amestecarea din cauza diferitor direcții ale vectorilor de viteză ale lor. Materialul șuvoaielor A, B și C formează în partea de jos a tronșonului conic 2 un șuvoi unic, care trece în tronșonul următor unde au loc aceleași procese de amestecare.

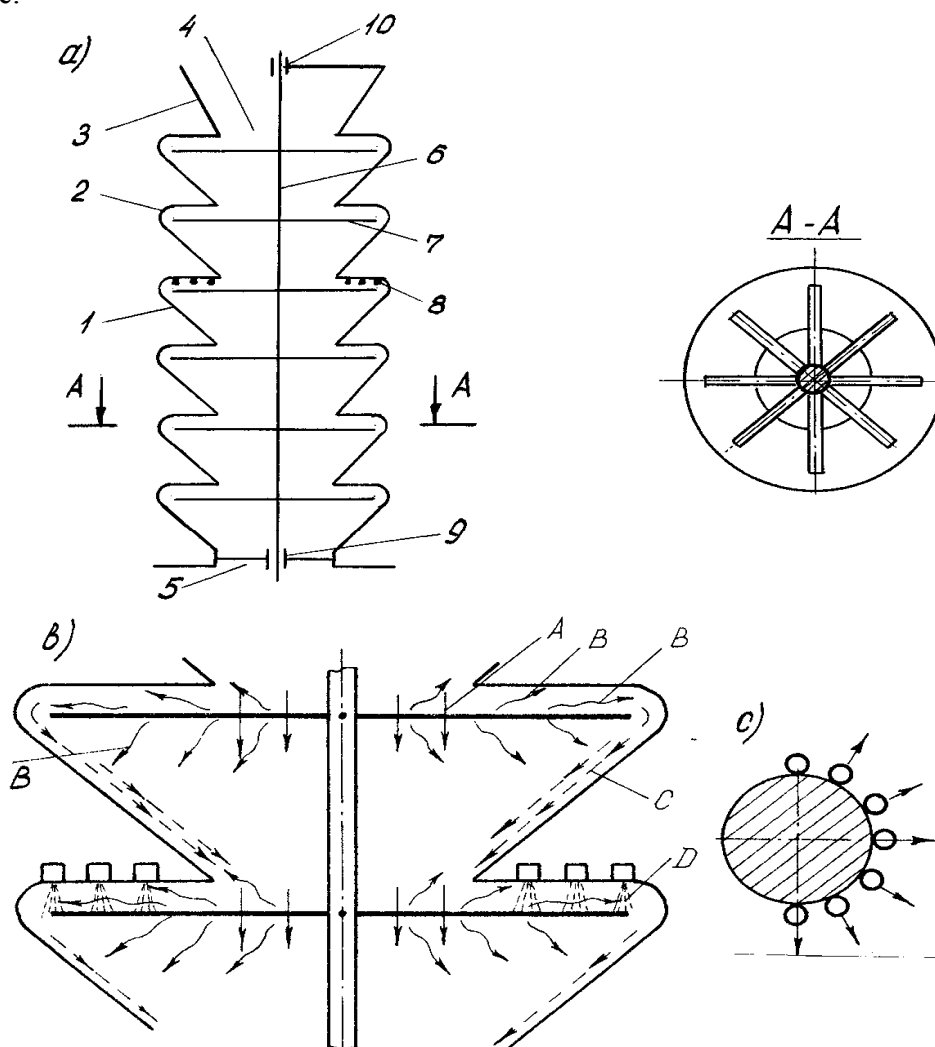


Fig. 2.14. Schema malaxorului cu arbore vertical și amestecare mixtă: a – vedere generală în secțiune; b – procesul divizării materialului în șuvoaie; c – traiectoriile particulelor

După amestecarea componentelor în stare uscată amestecul trece în tronsonul în care se introduce uniform lichidul liant cu ajutorul injectoarelor 8. Procesul de amestecare în acest tronson și în cele de mai jos este analogic cu cel descris. Amestecul preparat se descarcă continuu prin orificiul de descărcare 5. În procesul funcționării, arborele 6 se sprijină pe rulmenții 9 și 10.

În acest malaxor momentul de torsiune necesar pentru rotirea arborelui este foarte mic, deoarece organele de amestecare se rotesc în șuvoiul de material, blocarea este exclusă deoarece distanța între capetele organelor de amestecare și suprafața interioară a corpului este mai mare decât dimensiunea celei mai mari bucăți de material, are loc majorarea numărului de acționări ale organelor de amestecare la o unitate de volum de amestec și divizarea multiplă a materialului în șuvoaie și îmbinarea lor ulterioară.

2.2. Intensificarea procesului de amestecare și omogenizare

Obținerea performanțelor descrise mai sus ale malaxoarelor cu bare se datorează procesului de amestecare care se deosebește considerabil de cel care are loc în malaxoarele cu palete. Majorarea productivității malaxoarelor care funcționează în regim automat, la care minimizarea duratei operațiilor practic nu se mai poate efectua, este posibilă numai în rezultatul intensificării procesului de amestecare și omogenizare, care contribuie la micșorarea duratei de amestecare, păstrând aceeași turație a arborelui malaxorului. Intensificarea procesului de amestecare poate fi obținută prin majorarea numărului de intersecții ale traiectoriilor particulelor amestecului [3] cu condiția ca fiecare intersecție următoare a traiectoriei particulei sau a șuvoiului de particule să aibă loc cu traiectoria altei particule sau altui șuvoi de particule. Intersecția traiectoriilor particulelor sau a șuvoaielor de particule trebuie să se producă concomitent în tot volumul amestecului, în acest proces trebuie să participe toate particulele.

Să ne imaginăm două rânduri de particule situate într-un plan xy (fig. 2.15,a). La deplasarea longitudinală relativă a particulelor nu va avea loc amestecarea lor. Dacă, concomitent cu deplasarea longitudinală, se va efectua și deplasarea transversală, vom obține

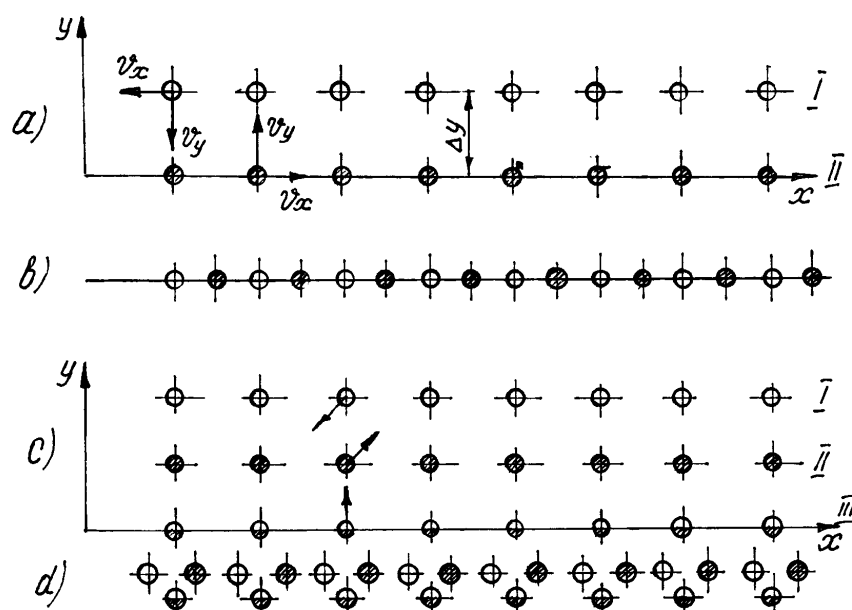


Fig. 2.15. Scheme de amestecare a particulelor: a,b - două rânduri de particule; c,d - trei rânduri

traectorii ale particulelor unghiul cărora față de axa x depinde de valoarea vitezelor longitudinale și transversale. Dacă particulele rândului II vor avea o viteză $v_{yII} = 2v_{xII}$, iar primul rând va fi fix, atunci la deplasarea rândului al II-lea de particule la distanța Δy vom obține o amestecare ideală (fig. 2.15,b). La deplasarea de întâmpinare la distanța $\frac{\Delta y}{2}$ a ambelor rânduri amestecarea ideală se va obține când vitezele particulelor vor avea următoarele valori: $v_{yII} = 2v_{xII}$; $-v_{yI} = -2v_{xI}$; $v_{yII} = -v_{yI}$.

Pentru trei rânduri de particule (componente) obținerea amestecării omogene va avea loc când fiecare particulă va contacta cu celelalte două particule așa cum este demonstrat în fig. 2.15,c,d. Când particulele au diferite dimensiuni, în același rând și între rânduri distribuția particulelor trebuie să fie omogenă atât geometric cât și cantitativ.

Obținerea omogenității în tot volumul amestecului impune efectuarea deplasărilor concomitente relative a tuturor particulelor în trei direcții x , y și z cu schimbarea periodică și frecventă a acestor direcții.

2.2.1. Procesul de amestecare în malaxoarele cu bare

În continuare vom examina procesul de amestecare în malaxorul cu acțiune ciclică cu organe de amestecare în formă de bare (fig. 2.16), situate în șah pe suprafața arborelui.

Mai întâi se cercetează procesul de divizare a șuvoiului continuu unitar indicat prin u (fig.2.17), cantitatea particulelor căruia se constată egală cu unu. În fig. 2.17 sunt prezentate de la stânga la dreapta: n – numărul de rotații al arborelui malaxorului; n_r – numărul rândului longitudinal de bare care trece prin material; n_{si} – numărul de șuvoaie formate datorită îmbinării șuvoaielor premergătoare; n_s – numărul de șuvoaie formate datorită divizării de către barele rândurilor longitudinale. Tot aici sunt prezentate situarea barelor și a răzuitoarelor pe suprafața circulară descrisă de capetele barelor, pereții laterali și procesul de divizare a șuvoiului u în șuvoaie de stânga u_s și șuvoaie de dreapta u_d , de îmbinare a acestora, apoi iar de divizare și de îmbinare ulterioară. Șuvoaiele sunt indicate prin săgeți lângă care sunt indicate cantitățile de material.

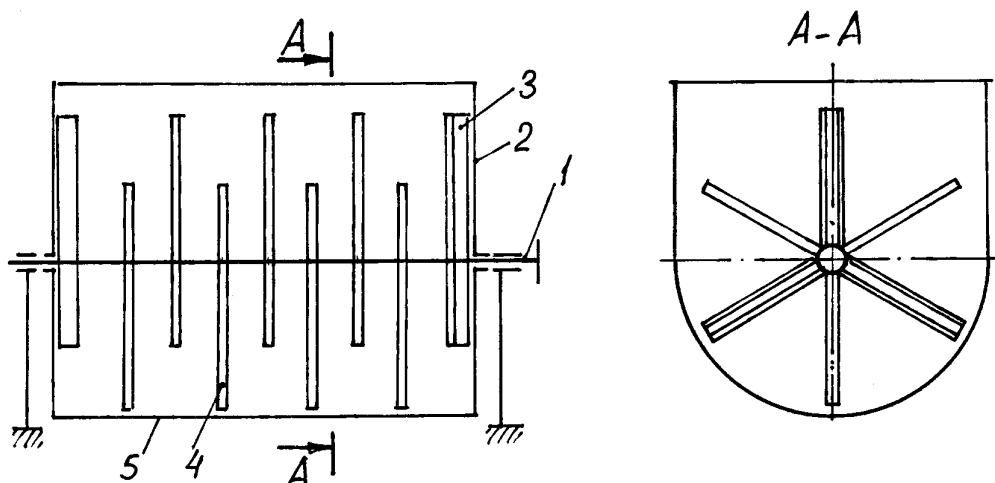


Fig. 2.16. Schema malaxorului cu acțiune ciclică: 1 – arbore; 2 – perete lateral; 3 – răzuitoar; 4 – bară; 5 – corpul tobei

Procesul de amestecare se desfășoară în modul următor (fig. 2.17). Șuvoiul continuu unitar u este divizat de către bara de mijloc a primului rând de bare ($n_r=1$) în două șuvoaie egale: stâng u_s și drept u_d . Fiecare șuvoi format este divizat în două părți de barele rândului al doilea ($n_r=2$). Șuvoiul din dreapta al barei din stânga se îmbină cu șuvoiul din stânga al barei din dreapta datorită faptului că vectorii vitezelor lor sunt îndreptați unul față de altul sub un unghi. Astfel, după trecerea rândului al doilea de bare se formează trei șuvoaie. Aceste șuvoaie se divizează în câte două de barele rândului al treilea, șuvoaiele interioare se îmbină. După

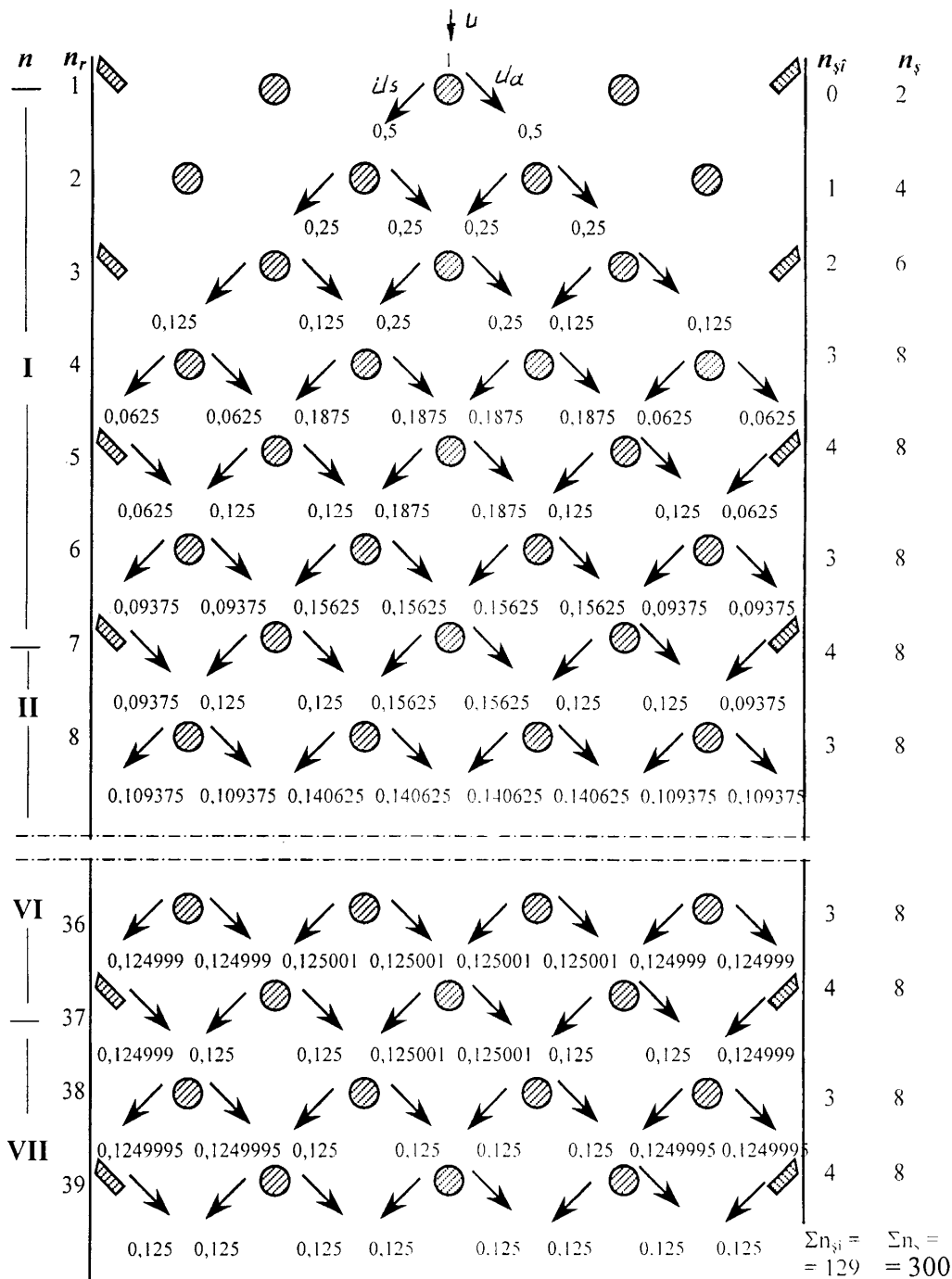


Fig. 2.17. Scema divizării șuvoiului unitar: n – numărul de rotații ale arborelui; n_r – numărul de rânduri longitudinale de bare; $n_{\text{și}}$ – numărul de șuvoaie îmbinate; n_s – numărul de șuvoaie formate datorită divizării șuvoaielor

rândul al treilea se formează patru șuvoaie. Procesul de mai departe de divizare și de îmbinare a șuvoaielor este analogic cu cel descris.

Particulele șuvoiului u_s care inițial merg spre stânga ajung până la peretele lateral stânga, apoi se deplasează spre dreapta până la peretele lateral dreapta, apoi își schimbă direcția spre stânga. Până la obținerea amestecării omogene particulele își schimbă direcția de deplasare de 5 ori. Totodată, la trecerea șuvoiului u_s în stânga se formează în rezultatul divizării la fiecare bară de mai jos din stânga șuvoaie de dreapta care trec până la peretele lateral dreapta, își schimbă direcția spre stânga, apoi spre dreapta ș.a.m.d. Tot aceeași cale numai în direcție opusă o parcurg și particulele șuvoiului u_d care merg inițial spre dreapta. Cu cât numărul de rânduri transversale de bare este mai mic cu atât mai rapid se petrece amestecarea.

Numărul necesar de rotații al arborelui pentru obținerea amestecării omogene a particulelor s-a determinat în mod grafic și în rezultatul calculării cantității de material care se conține în fiecare șuvoi format. Rotirea convențională s-a efectuat până când s-au obținut cantități egale de particule în fiecare șuvoi. Astfel, pentru malaxorul cu șase rânduri longitudinale de bare și numărul de bare în rând minimum $n_{b.min} = 4$ și maximum $n_{b.max} = 5$ (răzuitoarele schimbă direcția de deplasare a șuvoaielor care ajung la pereții laterali și în așa mod ele îndeplinesc funcția de bară și intră în numărul de bare ale rândurilor impare) s-au obținut cantități egale de materiale în fiecare din cele 8 șuvoaie formate (fig. 2.17), și anume, 0,125 din cantitatea șuvoiului inițial la a șaptea rotație a arborelui și la trecerea prin material a 39 de rânduri de bare.

Materialul șuvoaielor obținute la finele procesului de malaxare conține particule a mai multor șuvoaie care se formează, se divizează, apoi iarăși se îmbină în procesul trecerii barelor prin material.

Pentru obținerea divizării uniforme a unui șuvoi unitar în 8 șuvoaie omogene este necesar un număr de șuvoaie îmbinate egal cu $\sum n_{si} = 129$ și un număr de șuvoaie divizate egal cu $\sum n_s = 300$.

Acest efect poate fi folosit la omogenizarea oricărui material care inițial nu este omogen.

Observăm, de asemenea, că după trecerea șuvoiului inițial printre cinci rânduri de bare se obține o distribuție a materialului în lungul malaxorului care corespunde cu legea distribuției normale [29,30] care se scrie în modul următor

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2\right], \quad (2.1)$$

unde x – lungimea malaxorului, mm;

a – valoarea mediei teoretice, mm;

σ - abaterea medie pătratică, mm;

$f(x)$ – densitatea liniară, mm^{-1} .

Deoarece din stânga și din dreapta sunt pereți care nu permit deplasarea mai departe a materialului în stânga și în dreapta, șuvoaiele din stânga sunt impuse de către răzuitoare să treacă în dreapta și invers. Datorită acestor procese, la trecerea materialului șuvoiului inițial printre 39 de rânduri longitudinale de bare el capătă o distribuție uniformă în lungul malaxorului. Legea distribuției uniforme se scrie în modul următor [29,30]

$$\begin{aligned} f(x) &= 0 \longrightarrow x < \alpha; \\ f(x) &= \frac{1}{\beta - \alpha} \longrightarrow \alpha < x < \beta; \\ f(x) &= 0 \longrightarrow x > \beta, \end{aligned} \quad (2.2)$$

unde α și β - intervalul în care are loc distribuția mărimii aleatorii x , mm;

$f(x)$ – densitatea liniară, mm^{-1} .

Jumătatea din stânga a șuvoiului inițial indicat prin u_s trecând printre bare se divizează, se îmbină și apoi iarăși se divizează și se îmbină etc., trece din stânga în dreapta și invers. Tot același proces efectuează și jumătatea din dreapta u_d a șuvoiului inițial însă deplasându-se în direcții opuse. Aceste procese conduc la egalizarea cantităților de particule din fiecare șuvoi. Șuvoiul din stânga u_s și cel din dreapta u_d se distribuie uniform în lungul tobei în așa mod că la finele amestecării șuvoaiele parțiale conțin una și aceeași cantitate de material, și anume 0,0625.

Cercetarea procesului de amestecare a șuvoiului inițial la introducerea lui în diferite sone ale malaxorului a demonstrat următoarele.

La introducerea șuvoiului inițial în zona primului rând transversal de bare (fig. 2.17, 2.18, poziția 1) distribuția normală secționată se obține după 1,33 rotații ale arborelui, apoi treptat are loc transformarea ei în distribuție uniformă: după zece rotații ale arborelui se observă deja o uniformitate practică, iar după 29 rotații se obține uniformitatea ideală.

La introducerea șuvoiului inițial în zona rândului al doilea transversal de bare (fig. 2.18, poziția 2) procesul se petrece analogic ca și în primul caz, însă distribuția uniformă ideală se obține după 28 rotații ale arborelui.

La introducerea șuvoiului inițial în zona rândului al treilea transversal de bare distribuția normală secționată se obține după o rotație a arborelui, iar distribuția uniformă ideală – după 27 rotații.

Și, în sfârșit, la introducerea șuvoiului inițial în zona rândului al patrulea transversal de bare, deci în centrul malaxotului, distribuția normală neseționată se obține după o rotație a arborelui, iar distribuția uniformă – după 6,83 de rotații.

În ce zonă nu se va introduce șuvoiul inițial în toba malaxotului distribuția finală a particulelor va fi totdeauna uniformă, însă cu cât șuvoiul inițial se introduce mai aproape de mijlocul tobei cu atât mai rapid se obține distribuția uniformă a particulelor în lungul tobei.

Pentru modelarea procesului de amestecare în malaxoarele cu bare și studierea acestui proces s-a construit un dispozitiv (fig. 2.19) la baza căruia a stat construcția lui Halton [29], care servește pentru demonstrarea în mod concret a condițiilor care conduc la apariția distribuției normale.

Dispozitivul de modelare a procesului de amestecare include o placă înclinată 1 pe care sunt fixate buncăre 2, bare 3 situate în șah, închizătoare 4 pentru fiecare buncăr, o placă de sticlă organică 5, pereți 6, un limitator 7 fixat în partea de jos a plăcii 1. Barele 3, pereții laterali 6 și limitatorul 7 au una și aceeași înălțime. Dispozitivul se reazemă prin axul 8 pe rama 9, iar prin șurubul 10 - pe suportul 11 îmbinat prin axul 12 cu rama 9.

Dispozitivul funcționează în modul următor. La deschiderea închizătorului 4 al buncărului 2 din mijloc, șuvoiul de material se scurge și cade pe prima bară 3 care-l divizează în două șuvoaie egale care cad pe barele rândului al doilea și se divizează în câte două șuvoaie. Șuvoaiele interioare se îmbină, apoi șuvoiul îmbinat, ca și cele exterioare, se divizează de către barele rândului al treilea ș.a.m.d. Pentru majorarea sau micșorarea vitezei șuvoaielor de material, unghiul de înclinare a plăcii 1 poate fi modificat prin schimbarea poziției șurubului 10 pe suportul 11.

Experiențele efectuate, demonstrează că la trecerea șuvoiului inițial printre barele primelor patru rânduri de bare distribuția materialului devine normală (fig. 2.20). Pe măsura trecerii materialului printre barele de mai jos distribuția se transformă treptat în distribuție uniformă. Practic, distribuția uniformă se obține după rândul al 25-lea de bare. Teoretic, distribuția uniformă se obține după rândul al 39-lea de bare când fiecare șuvoi conține 0,125 din cantitatea șuvoiului inițial.

Tot în așa mod s-a cercetat procesul de divizare-îmbinare a șuvoiului unitar u care se introduce în partea stângă a malaxorului între răzuitor și bară. Teoretic, distribuția uniformă a

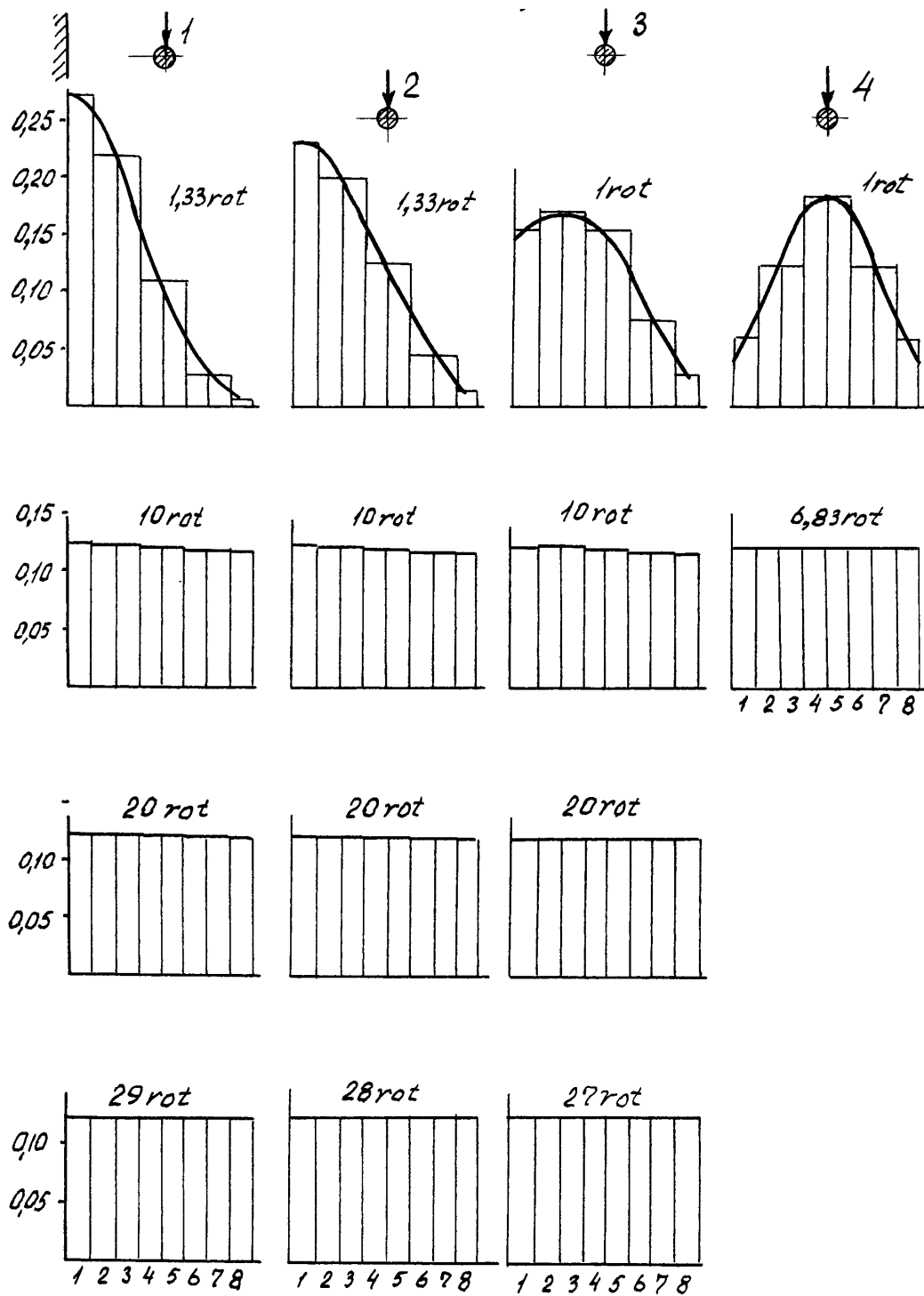


Fig. 2.18. Schema procesului de obținere a distribuției normale și transformării ei în distribuție uniformă (pe axa absciselor sunt indicate numerele șuvoaielor obținute, pe axa ordonatelor – cantitatea relativă a materialului în șuvoi)

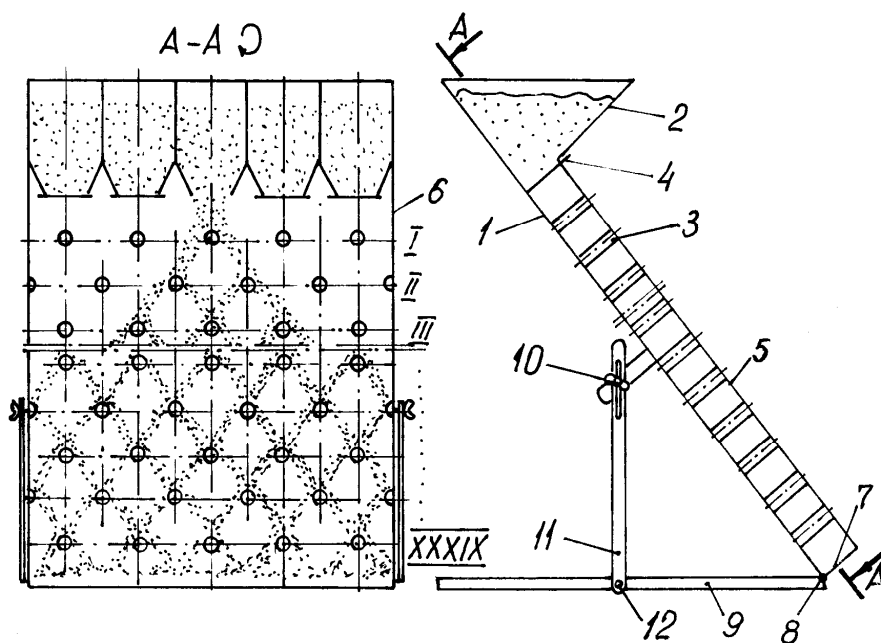


Fig. 2.19. Schema dispozitivului de modelare a procesului de amestecare în malaxoarele cu bare

materialului în opt șuvoaie se obține cu probabilitatea de încredere $P=1$ după trecerea prin material a 261 de rânduri de bare longitudinale (43,5 rotații ale arborelui).

Situarea șuvoiului unitar mai aproape de mijlocul tobei conduce la micșorarea numărului de rânduri de bare necesare pentru obținerea amestecării omogene.

În consecință, la divizarea mai multor șuvoaie unitare, care includ diferite materiale, la finele procesului de amestecare vom obține o sumă a distribuțiilor uniforme care reprezintă tot o distribuție uniformă.

Însă, pentru obținerea amestecării rapide și omogene este necesară situarea uniformă și orizontală a fiecărui component al amestecului în toba malaxorului. La îndeplinirea acestei cerințe procesul se reduce numai la amestecarea particulelor între straturile orizontale.

În realitate amestecarea omogenă a componentelor mortarului sau ale betonului cu agregate fine în stare uscată se obține după 15 rotații ale arborelui malaxorului.

În malaxoarele cu organe de amestecare în formă de bare se poate majora turația arborelui, deoarece aruncarea materialului din tobă începe la viteze mai mari decât în malaxoarele cu palete. Numărul de rotații trebuie să fie de așa valoare la care șuvoaiele de material formate între bare să nu dovedească să se așeze pe materialul de la fundul tobei și să fie iarăși divizate în șuvoaie de alt rând longitudinal de bare și după îmbinarea lor iarăși divizate. Deci, materialul, aflându-se în așa stare, capătă o densitate foarte mică, este afânat și particulele au posibilitate să se schimbe cu locul cu alte particule. Efectul de interacțiune între șuvoaie se mărește deoarece șuvoaiele sunt afânate și pătrunderea particulelor unui șuvoi între particulele altui șuvoi nu întâmpină rezistență.

Amestecarea particulelor se petrece mai intensiv în starea lor uscată. Dacă introducem apă până la obținerea omogenității depline în stare uscată, are loc lipirea particulelor mici între ele și formarea cocoloașelor, lipirea particulelor mici de cele mijlocii și mari ceea ce îngreuează procesul de distribuție uniformă a particulelor în tot volumul amestecului și ca rezultat – omogenitate scăzută a amestecului, distribuție neuniformă a liantului, majorarea timpului de amestecare. Aceasta se referă la amestecurile vârtoase cu conținut mic de apă.

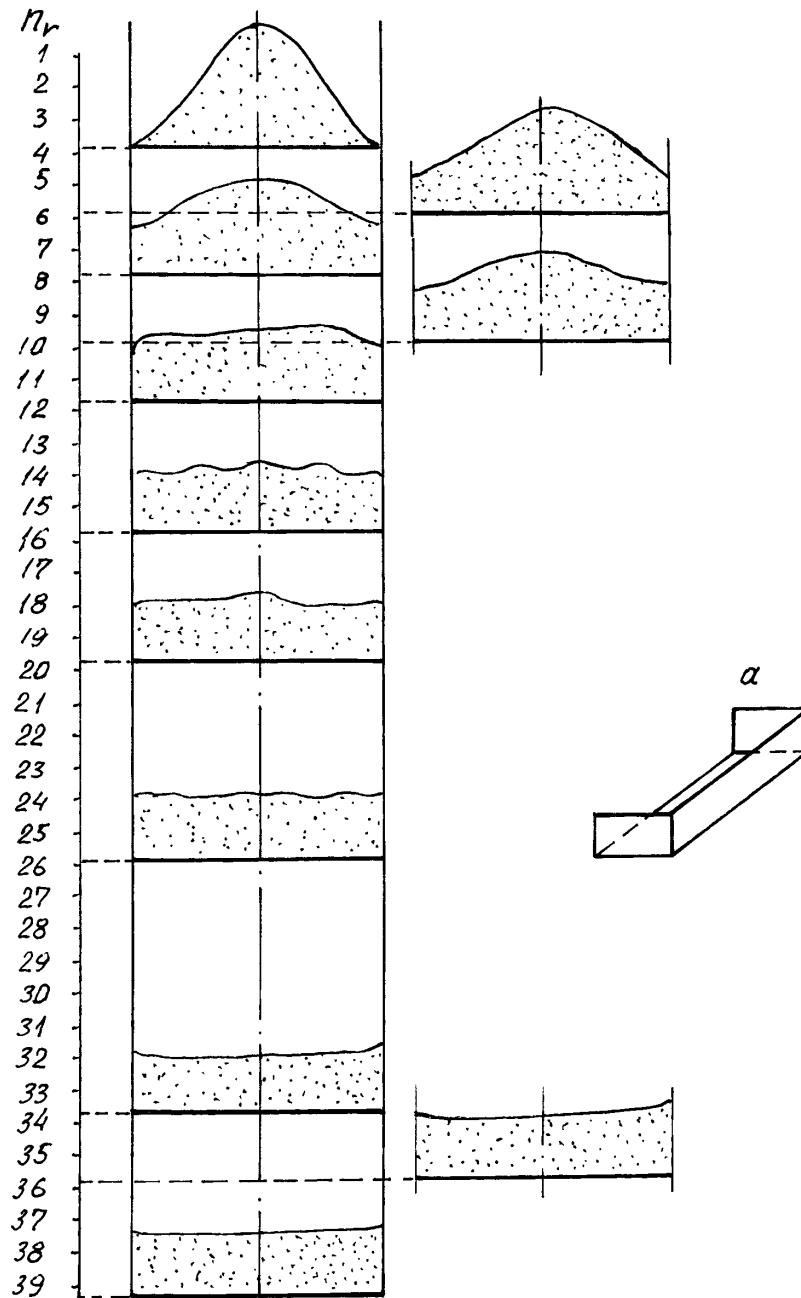


Fig. 2.20. Distribuția reală a particulelor la trecerea lor printre bare:
 n_r – numărul de rânduri de bare; a – limitator mobil

După amestecarea în stare uscată urmează umezirea particulelor cu apă. Pentru păstrarea omogenității amestecului, obținute în stare uscată, nu este nevoie de o amestecare adăugătoare, ci de umezirea tuturor particulelor. Acest proces se poate efectua sau în rezultatul penetrării (infiltrației) apei în amestec ceea ce necesită un timp destul de mare, sau prin vibrarea amestecului împreună cu toba cu oscilații circulare. Ultimul proces conduce la pătrunderea rapidă a apei în tot volumul și totodată la deplasarea circulară a masei întregi de material în direcție inversă rotației circulare.

2.2.2. Probabilitatea obținerii unui amestec omogen

S-a analizat din punct de vedere probabilistic procesul de divizare-îmbinare care are loc în malaxoarele cu organe de amestecare în formă de bare situate în șah pe suprafața arborelui (fig. 2.16, 2.21). Condițiile inițiale: forma particulei este ideal sferică, barele au formă cilindrică, în zona amestecării lipsește aerul, corpurile sunt absolut rigide.

La întâlnirea particulei 1 cu bara din mijloc a primului rând longitudinal de bare (fig. 2.21) ea va devia în stânga sau în dreapta cu probabilitatea $P_1=0,5$. Dacă particula a trecut în stânga, apoi la rândul al doilea de bare probabilitatea devierii ei de către bară în stânga sau în dreapta va fi de asemenea 0,5. Însă, având în vedere cazul general când se efectuează un număr destul de mare de experiențe, probabilitatea va fi egală cu $P_2=0,25$. Menționăm că suma probabilităților pentru fiecare rând longitudinal de bare la repetarea acestui proces de nenumărate ori este constantă și egală cu unu.

La rândul al treilea de bare probabilitatea devierii particulei pentru cazul general devine egală cu $P_3=0,125$. La rândul al patrulea – $P_4=0,0625$. La rândul al cincilea particula este deviată de răzuitorul 3. Probabilitatea generală a acestei devieri este $P_5=0,0625$. La rândul al șaselea de bare probabilitatea trecerii particulei în stânga este $P_6=0,03125$. În mod analogic s-a determinat probabilitatea trecerii particulei în stânga sau în dreapta barei la fiecare rând longitudinal de bare până la rândul al XXXIX-lea la care este obținută distribuția uniformă a materialului. Probabilitatea trecerii particulei în dreapta de răzuitorul 4 pentru cazul general este egală cu

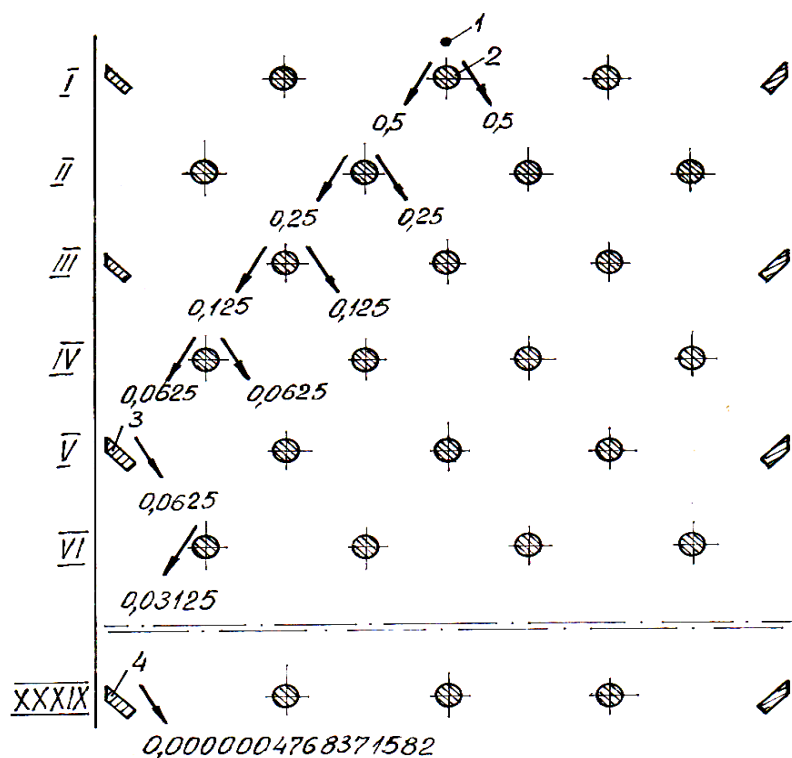


Fig. 2.21. Schema determinării probabilității devierii particulei sferice la trecerea ei printre barele malaxorului

0,0000004768. Această probabilitate caracterizează numai o variantă a mersului particulei pentru a ajunge în partea stângă de jos a schemei din fig. 2.21.

Probabilitatea mică a unei variante de trecere a particulei printre bare dovedește faptul că probabilitatea trecerii particulei printre alte bare pe alte căi este foarte mare și, deci, întâlnirea acestei particule (acestui șuvoi) cu alte particule (alte șuvoaie) este foarte mare, ceea ce

garantează amestecarea particulelor (șuvoaielor) pe parcursul trecerii lor până la rândul al XXXIX-lea unde cantitatea fiecărui din 8 șuvoaie este una și aceeași și egală cu 0,125 de la cantitatea inițială a șuvoiului.

Aceasta, de fapt, și este probabilitatea trecerii particulei sferice pe o parte sau pe alta a barei la un număr extrem de mare de variante de trecere a particulei printre bare. Deoarece probabilitatea unei variante P_i este cunoscută, putem determina numărul de variante N efectuate de către particulă pentru obținerea probabilității egale cu $P_s = 0,125$

$$N = \frac{P_s}{P_i} = \frac{0,125}{0,0000004768371582} = 262144. \quad (2.3)$$

Total variante pentru schema din fig. 2.21 și obținerea probabilității egale cu 0,125 vor fi $8 \times 262144 = 2097152$.

La efectuarea de nenumărate ori a trecerii particulei, probabilitatea la fiecare bară treptat se egalează și devine una și aceeași la toate barele – se obține o distribuție uniformă a probabilităților. În consecință, pentru un șuvoi cu un număr mare de particule la trecerea ultimului printre barele malaxorului (fig. 2.7) vor avea loc aceleași procese care vor conduce la amestecarea omogenă a particulelor șuvoiului, asigurată de distribuția uniformă a probabilităților divizării șuvoaielor și îmbinării lor. Distribuția uniformă a materialului în malaxorul cu bare situate în șah pe suprafața arborelui și cu răzuitoare radiale la capetele arborelui la fiecare rând longitudinal impar de bare se datorează însumării distribuțiilor normale de la mijlocul malaxorului cu distribuțiile normale secționare formate de barele din stânga și din dreapta. Această însumare are loc începând cu rândul al VI-lea de bare și se produce neîntrerupt până când nu se obține distribuția uniformă a materialului.

2.2.3. Numărul de șuvoaie formate de către bare

Numărul de șuvoaie de material formate de către bare se calculează în modul următor.

Malaxoare cu acțiune ciclică. Barele sunt situate radial și în șah pe suprafața arborelui (fig.2.16, 2.17). Numărul total de șuvoaie îmbinate se determină cu relația

$$n_{\text{și}} = (n_{b.\text{min}} + n_{b.\text{max}} - 2) \frac{n_r}{2} n, \quad (2.4)$$

unde $n_{b.\text{min}}, n_{b.\text{max}}$ – numărul minimum și maximum de bare al rândurilor longitudinale de bare, inclusiv răzuitoarele;

n_r – numărul de rânduri longitudinale de bare pe arborele malaxorului;

n – numărul de rotații efectuate de arbore.

De exemplu, pentru malaxorul cu 6 rânduri longitudinale de bare în care $n_{b.\text{min}} = 4$ și $n_{b.\text{max}} = 5$ la efectuarea a 15 rotații se formează 315 șuvoaie îmbinate.

Numărul total de șuvoaie divizate care se formează în rezultatul divizării de către bare a amestecului și a șuvoaielor îmbinate se determină cu relația

$$n_{\text{ș}} = 2n_{b.\text{min}}n_r n. \quad (2.5)$$

De exemplu, tot pentru același malaxor și același număr de rotații numărul total de șuvoaie divizate este de 720.

Malaxoare cu acțiune continuă. Barele sunt situate radial pe arbore pe linii elicoidale (fig. 2.22). La deplasarea barelor cu viteza v prin material are loc divizarea șuvoiului inițial I (toată

masa de material) în șuvoaietele t . Deoarece suma lățimilor șuvoaietele $\sum b$ este mai mică decât lățimea șuvoiului B , o parte de material se deplasează în dreapta și formează șuvoiul A . Cantitatea de material a șuvoiului axial A se determină cu relația

$$A = I - \sum b, \quad (2.6)$$

unde I – cantitatea de material a șuvoiului inițial I ;

$\sum b$ - cantitatea de material a șuvoaietele t , care trec printre bare.

Numărul de șuvoaietele formate de către bare în procesul amestecării se determină cu relația

$$n_s = n(n_b - 1)n_p n_i, \quad (2.7)$$

unde n – numărul de rotații efectuate de arborele malaxorului;

n_b – numărul de bare situate pe un pas al liniei elicoidale;

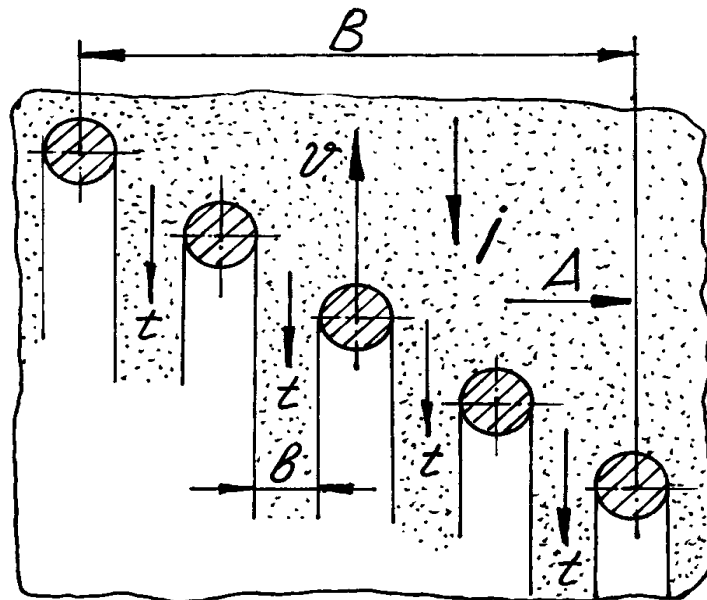


Fig. 2.22. Schema divizării materialului în șuvoaietele în malaxorul cu acțiune continuă

n_p – numărul de pasuri ale liniei elicoidale;

n_i – numărul de începuturi de linii elicoidale pe care sunt situate barele.

De exemplu, pentru numărul de rotații efectuate de arbore egal cu zece, numărul de bare situate pe un pas al liniei elicoidale $n_b = 12$, numărul de pasuri $n_p = 4$ și numărul de începuturi $n_i = 2$ numărul total de șuvoaietele este egal cu 880.

Înlocuirea în malaxorul S-632 a paletelor cu organe de amestecare în formă de bare situate radial pe suprafața arborelui pe o linie elicoidală conduce la majorarea numărului de șuvoaietele de la 699 până la 1373 pentru o linie elicoidală de bare și 2746 pentru două linii. Lungimea malaxorului poate fi micșorată considerabil ceea ce conduce la micșorarea rezistențelor de transportare a amestecului, consumului de materiale pentru confecționarea malaxorului și a puterii.

Concluzii:

1. Organele de amestecare în formă de bare pot fi utilizate: a) la malaxoarele cu diferite moduri de amestecare și anume: prin cădere liberă, forțată, mixtă și prin vibrație; b) pentru prepararea amestecurilor de diferite tipuri: uscate, semiuscate, de mortar, de beton plastic și vârtos.

2. Evitarea blocării particulelor între capetele barelor și corpul malaxorului și efectuarea amestecării atât prin cădere liberă a componentelor cât și forțată are loc în malaxorul brevetat cu rotire în direcții inverse a tobei și a arborelui și cu luful între capetele barelor și corp mai mare decât dimensiunea maximă a particulelor.

3. Micșorarea consumului de energie și intensificarea procesului de amestecare uscată și umedă se pot obține în malaxorul cu arbore vertical cu bare care acționează șuvoiul de material la căderea lui liberă.

4. Organele de amestecare în formă de bare situate în șah pe arbore asigură în procesul rotirii divizarea forțată a componentelor într-un număr mare de șuvoaie și îmbinarea ulterioară în viteză a lor și repetarea de nenumărate ori a acestor procese care conduc la migrația concomitentă a particulelor în lungul malaxorului în direcții opuse.

5. După trecerea a cinci rânduri longitudinale de bare prin amestec (malaxor cu șase rânduri longitudinale de bare și numărul de bare minimum în rând $n_{b,min}=4$ și maximum $n_{b,max}=5$) se obține o distribuție normală a materialului în lungul malaxorului. La trecerea a 39 rânduri de bare prin amestec se obține distribuția uniformă a particulelor în lungul malaxorului și aceasta se datorează faptului însumării distribuțiilor normale din centrul malaxorului cu distribuțiile normale secționare formate de barele din stânga și din dreapta.

6. S-a determinat numărul teoretic de rotații ale arborelui cu bare necesare pentru obținerea distribuției uniforme și amestecării omogene a particulelor. Astfel, pentru malaxorul cu șase rânduri longitudinale de bare și numărul de bare în rând minimum $n_{b,min}=4$ și maximum $n_{b,max}=5$ s-au obținut cantități egale de material în fiecare din cele 8 șuvoaie formate la a șaptea rotație a arborelui și la trecerea prin material a 39 rânduri longitudinale de bare. Materialul fiecărui șuvoi la finele procesului de malaxare conține particule a mai multor șuvoaie care se formează, se divizează, apoi iarăși se îmbină în procesul trecerii barelor prin material.

7. S-a constatat că probabilitatea unei variante de trecere a particulei printre barele malaxorului cu șase rânduri longitudinale de bare și numărul de bare minimum în rând $n_{b,min}=4$ și maximum $n_{b,max}=5$ până la rândul la care se obține amestecarea omogenă și distribuția uniformă a materialului este foarte mică și egală cu $4,768 \times 10^{-6}$, iar numărul de variante de treceri pe care le poate efectua particula pentru a nimeri într-un șuvoi oarecare este egal cu 262144.

8. Locul de introducere a șuvoiului inițial în malaxor nu influențează asupra uniformității distribuției particulelor – distribuția finală a particulelor este totdeauna uniformă. Cu cât șuvoiul inițial se găsește mai aproape de mijlocul tobei cu atât mai rapid se obține distribuția uniformă a particulelor în lungul tobei.

9. Pentru micșorarea timpului de amestecare a componentelor în procesul încărcării este necesară o distribuție uniformă a componentelor în plan orizontal.

10. Sunt propuse formule pentru calcularea numărului de șuvoaie formate de către bare în malaxoarele cu acționare ciclică și continuă.

3. Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru

Pentru proiectarea corectă și exploatarea rațională a malaxoarelor este necesar de a cunoaște forțele de rezistență care apar la înaintarea organelor de amestecare prin mediul de lucru. Aceste forțe depind de parametrii zonei acționate de organele de lucru, de însușirile fizico-mecanice ale componentelor care se amestecă, de parametrii geometrici și cinematici ai organului de lucru și ai tobei, de parametrii tehnologici ai procesului.

3.1. Tehnologia preparării amestecurilor – sistem stocastic compus

Procesul malaxării, rezistențele de amestecare, omogenitatea amestecului preparat depind de un număr mare de factori care pot fi controlați sau nu. La acești factori se referă coeficientul K_u de umplere a tobei malaxorului cu material, raza tobei r , dimensiunea particulelor componentelor care se amestecă a , pasul longitudinal al organelor de amestecare p , unghiul dintre rândurile longitudinale de bare α , umiditatea relativă a materialului care se amestecă W , turația arborelui malaxorului n , diametrul barei d , forma secțiunii organului de amestecare S , unghiul de așchiere al organului de lucru δ , distanța dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei ε și, de asemenea, forma particulelor, duritatea și greutatea lor, compoziția, existența colțurilor, capacitatea de absorbție a apei, temperatura procesului de malaxare, durata amestecării și alți factori de o importanță mai mică. Menținerea lor la niveluri stabilite reprezintă o problemă foarte importantă în procesul exploatării malaxoarelor, deoarece devierea fiecărui factor conduce la schimbarea incontestabilă a calității amestecului preparat.

Calitatea articolelor fabricate depinde de parametrii tehnologici ai procesului de producție care se clasifică în cinci grupuri de bază [11]: însușirile componentelor inițiale, compoziția amestecului, regimul de amestecare, regimul de mulare, regimul proceselor tranzitorii.

Calitatea amestecului preparat depinde de regimul de amestecare care, conform [11], are o importanță independentă în tehnologia materialelor de construcție. Regimul de amestecare se poate caracteriza cu următorii factori: durata amestecării, coeficientul de umplere a tobei cu material, compoziția și temperatura amestecului, umiditatea relativă a materialului care se amestecă, dimensiunea particulelor amestecului, turația arborelui malaxorului, diametrul și lungimea tobei, diametrul barelor (organelor de amestecare), pasul longitudinal al barelor, unghiul de așchiere a lor, unghiul dintre rândurile longitudinale de bare, distanța între capătul barei și suprafața interioară a tobei și a. O influență hotărâtoare asupra calității amestecului o are calitatea agregatelor, lianților, apei și adaosurilor, precizia dozării componentelor amestecului.

Calitatea amestecului, la rândul ei, influențează parametrii articolelor fabricate așa ca rezistența mecanică, indicii de fiabilitate și durabilitate, de densitate și permeabilitate și indicii termici.

O influență deosebit de importantă asupra calității articolelor fabricate o are influența reciprocă atât a factorilor regimului de amestecare cât și a factorilor celorlalte grupuri de bază.

Analiza tehnologiei preparării amestecurilor, ca parte componentă a fabricării articolelor de construcție, ne dă posibilitate să afirmăm că acest proces reprezintă un sistem compus. Metoda de studiere a lui depinde de clasa la care se referă acest sistem: determinist sau stocastic. În sistemele deterministe variația unui element cu o valoare oarecare totdeauna conduce la

schimbarea altui sau altora cu o valoare strict determinată. În sistemele stocastice alături de legăturile deterministe acționează întâmplarea, schimbarea unui element al sistemului conduce la schimbarea altuia nu totdeauna, ci numai în unele cazuri.

Rezultatele lucrărilor fundamentale [1, 3, 4, 11, 31, 32], consacrate proceselor de fabricare a articolelor de construcție, studierii proceselor de preparare a amestecurilor au demonstrat convingător că tehnologia materialelor de construcție este un sistem stocastic compus. În sistemele stocastice acționează legități statistice care exprimă așa legături între fenomene care nu sunt de caracter uniform: starea următoare se determină de cea precedentă cu o oarecare probabilitate.

Pentru modelarea și cercetarea proceselor complexe se pot folosi metodele probabilistico-statistice care includ utilizarea teoremelor de bază ale teoriei probabilităților, statisticii matematice, analiza dispersională și de regresie, planificarea statistică a experimentului și a.

3.2. Metodica cercetării și aparatura utilizată

La cercetarea procesului de amestecare în malaxorul cu tobă basculantă rezistența de înaintare a barei prin mediul de lucru s-a măsurat folosind dispozitivul prezentat în fig. 3.1. El include toba 1, bara 2, fixată pe arborele 3, șurubul 4 de fixare și reglare a lungimii cablului 5, dinamometrul 6 de măsurare a tensiunii cablului 5, manivela 7 de acționare a arborelui 3. Toba 1 se reazemă liber în lagărele de alunecare 8, iar arborele 3 se reazemă în rulmenții 9.

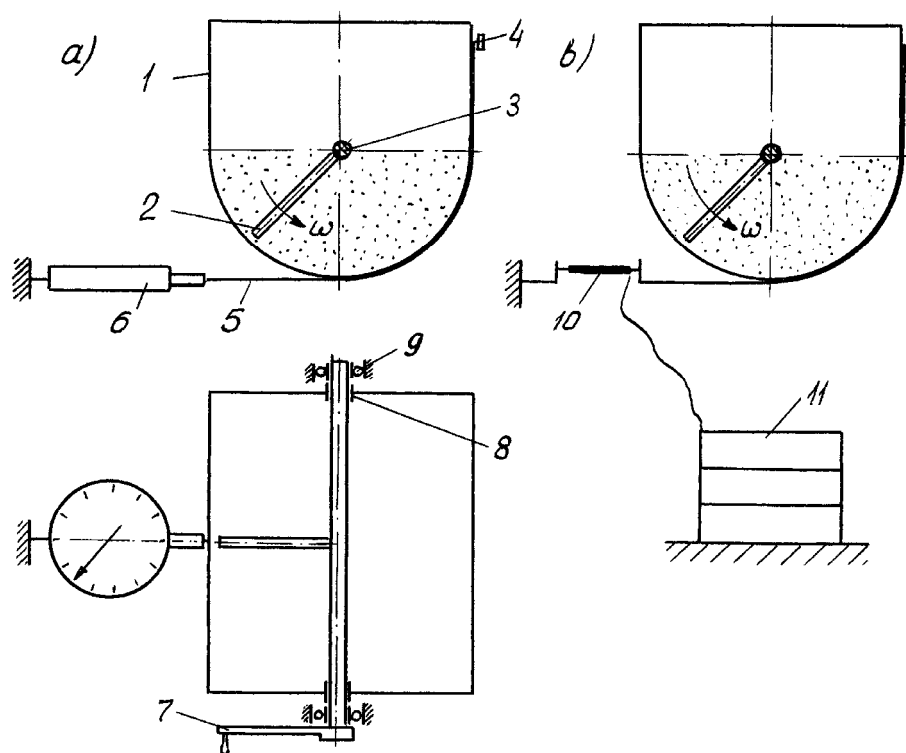


Fig. 3.1. Schema dispozitivului de măsurare a rezistenței la înaintare a barei prin mediul de lucru

În fig. 3.1,b este prezentată schema instalației de măsurare a tensiunii cablului 5 cu ajutorul plăcii tensometrice 10, semnalele de ieșire ale căreia se indică în aparatul tensometric 11 de tipul SIIT-3. Această metodă dă posibilitate de a înscrie automat rezultatele măsurării

rezistențelor barelor în procesul rotirii arborelui cu diferite viteze și pentru diferite materiale și coeficienți de umplere.

Parametrii sistemului tensometric SIIT-3: limitele scării pentru patru tensometri ± 9999 mkOm/Om (± 9999 mkV/V); valoarea nominală a unei diviziuni a cifrei de cod inferioare a sistemului este 1 mkOm/Om (1 mkV/V); viteza operatorie nu mai mică de 20 măsurări/s, clasa de precizie 0,1/0,03.

Parametrii dinamometrului 6 de tipul DPU-0,02-2: valoarea unei diviziuni 2N; limitele scării 2... 200 N; eroarea relativă 1%.

La rotirea arborelui 3, bara 2 intră în material, acționează particulele de material care transmit forța la suprafața interioară a corpului tobei 1. Datorită forțelor de frecare dintre particule și suprafața interioară a corpului, are loc rotirea tobei și întinderea cablului 5. Cablul 5 acționează dinamometrul 6 care indică forța. La rotirea de mai departe a arborelui 3 cu bara 2 toba nu se mai rotește, se începe deplasarea materialului situat înaintea barei 2, alunecarea lui pe fundul tobei și trecerea barei prin material. Zonele de material alăturate barei nu se mișcă, însă ele transmit forța de apăsare de la bară spre pereții de capăt ai tobei.

În procesul funcționării malaxorului, materialul din tobă este deplasat în dreapta și ridicat puțin în sus (fig. 3.2,b). Nivelul lui este înclinat față de orizont cu un unghi egal cu unghiul de taluz natural în mișcare. Momentul rezistent de torsiune format de forța de gravitație a masei de material situat în dreapta de la centru se determină cu formula

$$T = Gl, \quad (3.1)$$

unde G – forța de gravitație a materialului situat cu înclinare față de orizont, N;

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

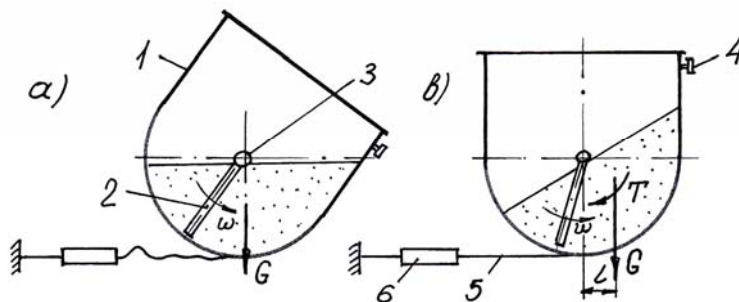


Fig. 3.2. Poziția malaxorului în stare liberă (a) și în procesul înaintării barei prin material (b)

La rotirea manivelei mai întâi se învinge momentul de torsiune T . Cablul 5 în acest moment încă nu este acționat (fig. 3.2,a). După ce toba, rotindu-se, se va situa în poziția normală (fig. 3.2, b), bara va începe înaintarea prin material. Rezistența care apare se transmite tobei prin frecare și cablului 5 și se indică de dinamometrul 6. Dinamometrul înregistrează numai forța de înaintare a barei prin material.

Aceleași concluzii le tragem și în privința rezistențelor care apar în rulmenții arborelui. Aceste rezistențe sunt învinse de manivelă.

La cercetarea procesului de amestecare în malaxorul cu tobă fixă (fig. 3.3,a), pe arborele 1 al malaxorului se montează o roată de cablu 2 pe care se fixează cablul 3, de capătul liber al căruia se prinde dinamometrul 4, care, la tragerea lui în dreapta, indică forța de rezistență la înaintarea barei 5 prin material.

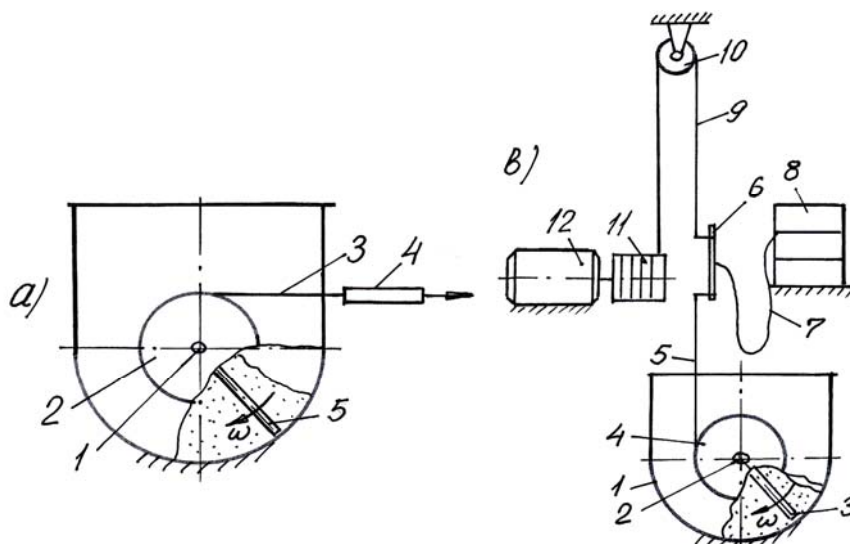


Fig. 3.3 Dispozitive de măsurare a rezistenței la înaintarea barei prin mediul de lucru (toba fixă): a) cu dinamometrul DPU-0,02-2; b) cu sistemul tensometric SIIT-3

Pentru cercetarea rezistențelor de înaintare în toba fixă funcție de viteza barei s-a utilizat instalația prezentată în fig. 3.3,b, care include o tobă 1, arborele 2 cu organul de lucru 3 în formă de bară, rola de cablu 4, cablul 5 înfășurat pe roata 4, placa tensometrică 6, conductorul electric 7, sistemul tensometric 8 de tipul SIIT-3, cablul 9, rola de cablu 10, tamburul 11 acționat de motorul electric 12 de curent continuu.

Sistemul tensometric SIIT-3 măsoară semnalele de ieșire ale tensometrilor și reprezintă indicațiile în mărimi numerice. În acest scop se folosește placa 6 pe ambele suprafețe ale căreia sunt lipiți câte doi tensometri uniți conform schemei de punte.

În procesul cercetărilor s-au folosit următoarele materiale: nisip de râu cu dimensiunea tipică a particulelor $a \leq 1 \text{ mm}$; nisip după concasare cu $a = 1,0 \dots 2,5 \text{ mm}$, $a = 2,5 \dots 5 \text{ mm}$; piatră spartă cu dimensiunea 5...10 mm și 10 ... 20 mm; ciment; amestecuri uscate, amestecuri de mortar, de beton plastic și vârtos.

Pentru determinarea rezistenței la înaintare a barei prin diferite materiale și cu diferite raze ale tobei s-a confecționat un dispozitiv cu jgheab universal care permite schimbarea razei de la 0,1 m până la 0,6 m (fig. 3.4). Dispozitivul include doi pereți laterali 1 pe care se fixează cu buloanele 2 cornierele curbe 3. Pe corniere sunt amplasate plăcuțele 4 care formează profilul jgheabului. Pe plăcuțe este situată o tablă de oțel. În pereții laterali 1 se rezemă cu capetele axul 5 pe care este îmbrăcată liber bucșa 6 cu ștuțurile 7 în care se instalează și se fixează cu buloanele 8 bara 9 și pîrghia 10 de măsurare a efortului. Forța care apare la rotirea sistemului pîrghie-ștuț-bucșă-bară este indicată de dinamometrul 11. Consolidarea tuturor elementelor jgheabului este asigurată de tijele 12.

Pentru schimbarea razei jgheabului cornierele 3 se înlocuiesc cu altele cu raza curburii mai mică sau mai mare.

Lungimea jgheabului depinde de dimensiunea zonei de material acționată de bară. Pentru a putea cerceta diferite materiale s-a adoptat lungimea jgheabului de 500 mm.

Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru se determină cu formula

$$Z = P \frac{r}{R}, \quad (3.2)$$

unde Z – rezistența la înaintare redusă la capătul barei, N;

P – efortul depus la pîrghia de acționare 10, N;

r – raza acționării efortului P , m;

R – raza circumferinței descrise de capătul barei 9, m.

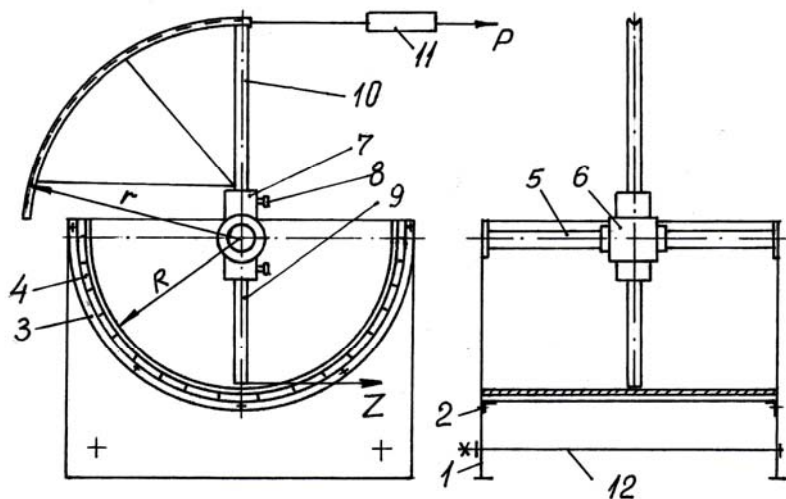


Fig. 3.4. Schema dispozitivului universal pentru măsurarea rezistenței barei la înaintare prin material

3.3. Metodica de optimizare a procesului de amestecare

Determinarea condițiilor optime de decurgere a procesului de preparare a amestecurilor și obținerea calității necesare ale articolelor este posibilă prin două căi diferite. Prima cale prevede studierea profundă a mecanismului procesului, crearea pe această bază a teoriei care dă posibilitate de a rezolva toate problemele extremale. Calea a doua se bazează pe metoda de căutare empirică a condițiilor optime când mecanismul fenomenelor este cunoscut incomplet.

Deoarece procesul tehnologic de preparare a amestecurilor reprezintă un sistem complex, prima cale va cere mult timp pentru rezolvarea problemelor puse. De aceea, calea a doua este cea mai acceptabilă la rezolvarea problemelor tehnologice, mai ales în ultima vreme, când s-a dezvoltat teoria matematică de planificare a experimentului.

Cea mai mare eficacitate la rezolvarea problemelor de așa tip poate fi obținută cu ajutorul metodelor probabilistico-statistice de planificare a experimentului [11,33-35]. Acest mod de abordare a problemei dă posibilitate de a alege strategia optimală de cercetare când procesul este cunoscut incomplet și de a rezolva cantitativ problema tehnologică cu un minimum număr de experiențe. Cu cât sistemul care se studiază este mai complex cu atât eficacitatea utilizării metodei de planificare a experimentului este mai înaltă. Se obține modelul matematic al procesului care este bun pentru optimizare și comandare.

Ținând seama de toți factorii potențiali posibili, descrierea procesului de preparare a amestecurilor este dificilă din punct de vedere experimental. Din această cauză, cu scopul optimizării procesului tehnologic de preparare a amestecurilor, este adoptată următoarea strategie de efectuare a cercetărilor: analiza informației apriorice și eliminarea factorilor de puțină importanță, modelarea matematică, optimizarea sau determinarea extremului condiționat, interpretarea modelelor, analiza tehnologică a rezultatelor, verificarea experimentală a rezultatelor, folosirea rezultatelor în tehnologie (construirea nomogramelor, elaborarea procesului tehnologic de preparare a amestecurilor, elaborarea malaxorului).

La prima etapă a cercetărilor se efectuează culegerea datelor despre proces pe baza publicațiilor, datelor de arhivă ale fabricilor. Analiza informației dă posibilitate de a desemna factorii esențiali, de a stabili criteriile de optimizare și de a fixa limitele variației factorilor. Aprecierea gradului de influență a fiecărui factor asupra parametrului studiat se poate efectua utilizând experimentul psihologic. Cercetărilor care aparțin la diferite școli precum și specialiștilor cu stagiu mare de lucru în domeniul industriei materialelor de construcție li se

propune să claseze n factori potențiali posibili. Factorii se clasează în ordine în funcție de gradul de influență a lor asupra procesului de preparare a amestecului, însușirilor fizico-mecanice ale articolelor fabricate ș.a. Când numărul de factori este mare păreri tehnologilor despre gradul de influență a lor asupra procesului pot să difere. De aceea, apare necesitatea prelucrării în mod obiectiv a materialelor informației psihologice. Această problemă se rezolvă cu ajutorul metodelor de corelație a rangurilor [33].

La etapa a doua se elimină factorii de puțină importanță în rezultatul efectuării experiențelor. Eliminarea poate fi efectuată prin trei metode: cu planuri saturate (presupunând că sunt numai efecte cu variație liniară); cu planuri suprasaturate (se elimină atât efectele liniare cât și interacțiunile care formează o pereche, însă în acest caz se presupune că efecte semnificative sunt cu mult mai puține decât cele neînsemnate); prin eliminarea succesivă (eroarea experienței este neglijabil mică în comparație cu efectul care se obține la trecerea factorilor semnificativi de la un nivel la altul).

La eliminarea efectelor liniare tind să se obțină planuri saturate în care toate gradele de libertate se folosesc pentru aprecierea coeficienților de regresie. În calitate de așa planuri se folosesc replici fracționare, planuri saturate Placchet și Berman, planuri latine.

Funcția de răspuns în formă analitică se prezintă cu polinomul [33]

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k, \quad (3.3)$$

unde Y – parametrul procesului;

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

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

Calcularea coeficienților ecuației de regresie și aprecierea statistică a rezultatelor se efectuează folosind analiza de regresie, care se bazează pe următoarele condiții teoretice: a) rezultatele experiențelor în fiecare punct al spațiului factorial sunt mărimi aleatorii independente cu distribuție normală, procesul de schimbare a lui Y_i trebuie să fie staționar în timp; b) dispersiile ieșirii Y_i în toate punctele spațiului factorial sunt omogene; c) erorile variabilelor independente $x_1, x_2 \dots x_k$ sunt foarte mici în comparație cu eroarea la determinarea lui Y_i ; d) variabilele $x_1, x_2 \dots x_k$ trebuie să fie independente liniar.

Coeficienții de regresie se determină folosind metoda celor mai mici pătrate în corespondență cu care se minimizează suma pătratelor devierilor valorilor experimentale \bar{Y}_i de la cele prezise de ecuația de regresie \hat{Y}_i

$$SS = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2 = \min \quad (3.4)$$

Ținând seama de (3.3) se poate scrie

$$SS = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - b_0x_0 - b_1x_1 - \dots - b_kx_k)^2 = \min, \quad (3.5)$$

unde x_0 – variabilă fictivă.

După diferențierea expresiei (3.5), pentru fiecare coeficient de regresie, egalarea rezultatelor cu zero și introducerea următoarelor însemnări

$$\sum_{i=1}^N x_i \bar{Y}_i = (iY); \sum_{i=1}^N x_i x_j = (ij) = (ji); \sum_{i=1}^N x_i^2 = (ii) \quad (3.6)$$

vom primi un sistem de ecuații normale, care în formă de matrice are următorul aspect

$$(X^*X)B = X^*Y, \quad (3.7)$$

unde X – matricea mărimilor variabile independente;

B – matricea – coloană a coeficienților de regresie;

Y – matricea - vector a rezultatelor măsurătorilor;

X^* - matricea transpusă.

Înmulțim ambele părți ale expresiei (3.7) din stînga cu matricea transpusă $(X^*X)^{-1}$

$$(X^*X)^{-1}(X^*X)B = (X^*X)^{-1}X^*Y. \quad (3.8)$$

Deoarece

$$(X^*X)^{-1}(X^*X) = I, \\ B = (X^*X)^{-1}X^*Y \quad (3.9)$$

obținem

Expresia (3.9) servește pentru determinarea estimărilor coeficienților de regresie.

Ținând seama de însușirile experimentului factorial [33], pentru analiza de regresie reies formule simple:

a) pentru estimările coeficienților de regresie

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ij}Y_i}{N}; \quad (3.10)$$

b) pentru estimările erorilor coeficienților de regresie

$$\sigma^2\{b_i\} = \frac{\sigma^2\{Y\}}{N}; \quad (3.11)$$

c) pentru suma remanentă a pătratelor

$$S_R = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - N \sum_{i=0}^K b_i^2; \quad f_R = N - k - 1. \quad (3.12)$$

Toți coeficienții de regresie se determină independent unul de altul fiindcă covariațiile $cov\{b_{ij}\}$ sunt egale cu zero din cauză că matricea este ortogonală. Dacă un oarecare coeficient va fi nesemnificativ, atunci el se poate elimina fără recalcularea ecuației de regresie.

Aprecierea semnificativității coeficienților de regresie b_i se efectuează folosind criteriul t [33].

$$t = \frac{b_i \sqrt{N}}{S\{Y\}} = \frac{b_i}{S\{b_i\}}. \quad (3.13)$$

Valoarea calculată a lui t se compară cu cele tabulate pentru acele grade de libertate cu care s-a determinat eroarea experimentului și nivelul de semnificație 0,05. Dacă $t_{calc} < t_{tab}$, atunci efectul factorului se egalează cu zero și pentru cercetările de mai departe nu se folosește.

Următoarea etapă – determinarea zonei de optimum cu ajutorul metodei de ascensiune rapidă în conformitate cu care folosind ecuația de regresie se efectuează deplasarea în direcția gradientului aproximării liniare. Deplasarea se termină când modelul liniar devine neadecvat. Dacă însă nu este obținută zona de optimum, atunci se face încă o serie de experimente și se determină o direcție nouă de ascensiune rapidă. Acest proces de ascensiune pas cu pas se efectuează până când va fi obținută „zona aproximativ staționară” în care domină coeficienții de regresie care caracterizează efectele de interacțiune. Deplasarea în direcția gradientului este calea cea mai scurtă de ascensiune pe suprafața de răspuns. Totodată, deopotrivă cu concepția formalizată (planificarea, calculul coeficienților de regresie, deplasarea în direcția gradientului), sunt necesare și soluții intuitive așa ca: alegerea nivelului de bază și intervalelor de variație, adoptarea soluțiilor după fiecare serie de experiențe și după ascensiunea rapidă.

Cercetarea detaliată a zonei de optimum se efectuează cu planuri de ordinul doi. Ecuația de regresie care se obține în rezultatul utilizării acestor planuri se scrie în felul următor

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.14)$$

unde \hat{Y} - parametrul de ieșire.

Analiza de regresie a planurilor de ordinul doi arată că, matricea coeficienților ecuațiilor normale (3.7) nu este diagonală, nu toate covariațiile $cov\{b_{ij}\}$ sunt egale cu zero. De aceea, estimările coeficienților de regresie trebuie să fie calculate cu formula (3.9).

În caz de eliminare a efectelor nesemnificative corelate este necesar de a efectua analiza de regresie consecutivă [34] în felul următor. La început, se elimină cel mai mic efect nesemnificativ și se determină din nou estimările coeficienților de regresie, pentru care $cov\{b_{ij}\} \neq 0$, se apreciază semnificativitatea statistică a lor. Apoi se elimină următorul, cel mai mic efect nesemnificativ, și se efectuează analiza de regresie ca și în primul caz. Analiza de regresie consecutivă se efectuează pînă cînd se elimină toate efectele nesemnificative.

Etapa următoare a cercetărilor constă în efectuarea analizei și interpelarea modelelor matematice căpătate la descrierea zonei aproximativ staționare. Ecuația se aduce la forma cononică și se determină tipul suprafeței și după cercetarea ei se determină valoarea extremală a parametrului de ieșire și extremul condiționat.

Modelele polinomiale de tipul (3.14) obținute în rezultatul utilizării metodelor matematice de planificare a experimentului pot servi ca formule de interpolare. Însă, în practica de producție, 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 modelului 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.

Menționăm 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.

3.4. Studiul procesului de înaintare a barei prin mediul de lucru

În prima etapă a cercetărilor, pentru determinarea legii de distribuție a rezistenței de amestecare, au fost efectuate 112 măsurători ale rezistenței la înaintare a barei prin material în unele și aceleași condiții. Prelucrarea datelor obținute și aprecierea cu criteriul χ^2 [29] a demonstrat că distribuția rezistenței de amestecare este normală ($\chi^2 = 4,72 < \chi^2_{\tau} = 11,07$ pentru $P = 0,05; f = 5$).

Având în vedere că bara efectuează împreună cu arborele mișcări de rotație într-un mediu de lucru cu secțiune în formă de segment sau semicerc, iar pentru coeficientul de umplere mai mare de 0,5 – semicerc-dreptunghi, descrierea procesului de acționare a barei asupra materialului și a rezistențelor care apar este destul de dificilă. Mai întâi de toate s-a hotărât de a determina valoarea unghiului de rotire a arborelui cu bara la care se obține rezistența maximă de înaintare a barei prin mediul de lucru (unghiul rezistenței maxime α_{max}) funcție de coeficientul de umplere a tobei cu material și de turația arborelui. Coeficientul de umplere K_u a avut următoarele valori: 0,2; 0,35; 0,5; 0,65 și 0,8, iar turația arborelui n – 60, 100, 140, 180 și 200 rot/min. Parametrii care s-au menținut la nivel constant: materialul din tobă – nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1$ mm, lungimea barei 83 mm, diametrul barei 10 mm.

Este evident că la deplasarea barei prin material cu toată lungimea ei rezistența la înaintare va crește de la zero pînă la valoarea maximă, apoi se va micșora și va deveni nulă la ieșirea barei din material. În procesul trecerii barei prin material este important de a evidenția momentul cînd apare maximumul rezistenței, adică unghiul de rotire a arborelui α_{max} de la intrarea barei în material pînă la atingerea valorii maxime a rezistenței. Sistemul tensometric SIIT – 3 permite înscrierea pe bandă a valorilor rezistenței de înaintare a barei funcție de unghiul de rotire a arborelui.

Rezultatele determinării unghiului de rotire α_{max} măsurat de la poziția barei cînd ea intră în material pînă la poziția cînd se obține valoarea maximă a rezistenței de înaintare funcție de turația arborelui și coeficientul de umplere a tobei cu material sunt prezentate în tabelul 3.1. Pentru aprecierea corectă a influenței factorilor asupra valorii unghiului de rotire la care apare

rezistența maximă s-a utilizat analiza dispersională [29] a datelor experimentale obținute. Calculele necesare pentru analiza dispersională sunt prezentate în tabelele 3.1 și 3.2.

Criteriul Fisher:

pentru factorul K_u $F_{Ku} = S^2_{Ku} / S^2_{rem} = 15557,96 / 23,51 = 661,76 > F_{tab} = 3,01 (\alpha = 0,05; f_1=4; f_2 = 16);$

pentru factorul n $F_n = S^2_n / S^2_{rem} = 158,06 / 23,51 = 6,72 > F_{tab} = 3,01 (\alpha = 0,05; f_1=4; f_2 = 16).$

Analiza dispersională dovedește faptul că și coeficientul de umplere, și turația arborelui influențează semnificativ asupra valorii unghiului rezistenței maxime.

Folosind criteriul t s-au comparat valorile medii ale unghiului α_{max} pentru diferite turații. Mediile pentru turațiile 60, 100, 140 și 180 rot/min nu se deosebesc între ele cu probabilitate de 0,95. Însă este deosebire semnificativă între valorile medii ale unghiului α_{max} pentru aceste turații și turația $n = 220$ rot/min. Pentru $n = 220$ rot/min valoarea medie a unghiului este de 88,8 grade (tabelul 3.1) și este cu mult mai mare decât pentru celelalte turații.

Compararea valorilor medii ale unghiului α_{max} pentru diferiți coeficienți de umplere a demonstrat că ele se deosebesc semnificativ pentru toți coeficienții de umplere K_u . Analizând

Tabelul 3.1. Rezultatele determinării unghiului α_{max} , grade

Coeficientul de umplere K_u	Turația, rot/min					Suma	Media
	60	100	140	180	220		
0,20	21	22	20	23	25	111	22,2
0,35	44	28	43	37	55	207	41,4
0,50	56	55	61	57	67	296	59,2
0,65	143	132	139	146	159	719	143,8
0,80	136	128	142	135	138	679	135,8
Suma	400	365	405	398	444		
Media	80	73	81	79,6	88,8		

datele tabelului 3.1, constatăm că odată cu majorarea coeficientului de umplere de la 0,2 până la 0,65 unghiul rezistenței maxime α_{max} se mărește pentru toate valorile turațiilor. Această majorare

Tabelul 3.2. Analiza dispersională pentru aprecierea influenței factorilor K_u și n asupra unghiului α_{max}

Variabilitatea	Suma pătratelor SS_i	Numărul de grade de libertate	Estimația dispersiei
Pentru factorul K_u	$SS_{Ku} = 62231,84$	4	$S^2_{Ku} = SS_{Ku} / (p - 1) = 62231,84 / (5 - 1) = 15557,96;$
Pentru factorul n	$SS_n = 632,24$	4	$S^2_n = SS_n / (q - 1) = 632,24 / (5 - 1) = 158,06$
Remanentă	$SS_{rem} = 376,16$	16	$S^2_{rem} = SS_{rem} / (p - 1)(q - 1) = 376,16 / (5 - 1)(5 - 1) = 23,51;$
Totală	$SS_{tot} = 63240,24$	24	$S^2_{tot} = SS_{tot} / (pq - 1) = 63240,24 / (5 * 5 - 1) = 2635,01$

a unghiului α_{max} se lămurește prin aceea că la creșterea lui K_u zona de extindere a acționării barei asupra materialului atinge suprafața lui mai târziu din cauza cantității mai mari de material din tobă. Însă, majorarea de mai departe a lui K_u până la 0,8 conduce la micșorarea unghiului α_{max} pentru toate turațiile afară de $n = 140$ rot/min. Aceasta se poate lămuri prin faptul că bara apasă și acționează o masă mai mare de material decât la $K_u = 0,65$ necătând la aceea că acționarea asupra materialului se începe și pentru $K_u = 0,65$ și pentru $K_u = 0,8$ din poziția verticală a barei. Majorarea numărului de rotații de la 60 până la 180 rot/min nu influențează practic asupra unghiului rezistenței maxime. Numai la atingerea turației de 220 rot/min unghiul α_{max} crește puțin pentru toți coeficienții de umplere. Aceasta, după părerea noastră, apare din cauza micșorării zonei de acționare laterală a barei la viteze mari.

Rezistența maximă la înaintare crește cu majorarea coeficientului de umplere pentru toate turațiile și este cauzată de majorarea cantității de material din fața barei.

3.5. Influența parametrilor constructivi și tehnologici asupra rezistenței de amestecare

3.5.1. Coeficientul de umplere

Coeficientul de umplere a tobei cu material variază funcție de tipul amestecului, granulozitatea componentelor și productivitatea malaxorului. Cunoașterea dependenței rezistenței la înaintare de valoarea coeficientului de umplere este necesară pentru stabilirea corectă a regimurilor de încărcare a motorului de acționare a malaxorului cu organe de lucru în formă de bare.

S-a cercetat influența coeficientului de umplere a tobei malaxorului cu material K_u (factorul x) asupra rezistenței la înaintare Y prin nisip a barei cu diametrul de 10 mm. Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 3.3. Pentru fiecare coeficient de umplere s-au efectuat câte patru experiențe paralele. Dependența rezistenței la înaintare de coeficientul de umplere este prezentată în mod grafic în fig.3.5.

Tabelul 3.3. Rezistența la înaintare funcție de coeficientul de umplere K_u

Coeficientul de umplere	Rezistența la înaintare, N					$\sum_{j=1}^m (Y - \bar{Y}_i)^2$	$S^2\{Y_i\} = \frac{\sum_{j=1}^m (Y - \bar{Y}_i)^2}{m-1}$	\hat{Y}_i	$(\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2$
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	\bar{Y}_i				
0,1	4,4	3,7	3,8	4,1	4	1	0.333	5	1
0,2	12	8	9	11	10	36	12	8	4
0,3	23	18	22	21	21	36	12	21	0
0,4	44	38	39	47	42	196	65,33	44	4
0,5	80	76	82	74	78	144	48	77	1

$$\sum_{i=1}^n S^2\{Y_i\} = 137,663$$

$$\sum_{i=1}^n = 10$$

Vedem că odată cu majorarea coeficientului de umplere rezistența crește mai întâi lin, apoi de la $K_u = 0,3$ creșterea este mai rapidă.

Omogenitatea dispersiilor rezultatelor obținute se verifică cu ajutorul criteriului G [34]

$$G = \frac{S^2\{Y_i\}_{\max}}{\sum_{i=1}^n S^2\{Y_i\}} = \frac{65,33}{137,663} = 0,475. \quad (3.15)$$

Valoarea tabelară a lui G este

$$G_t = 0,60 \left(\begin{array}{l} \alpha = 0,05 \\ f = 3; n = 5 \end{array} \right).$$

Deoarece $G < G_t$ ($0,475 < 0,6$) reiese că dispersiile experiențelor sunt omogene. S-a luat decizia de a descrie dependența $y = f(x)$ cu o parabolă de gradul doi. Utilizând metoda celor mai mici pătrate [36], s-a obținut următoarea ecuație a parabolei

$$\hat{Y} = 12 - 120x + 500x^2. \quad (3.16)$$

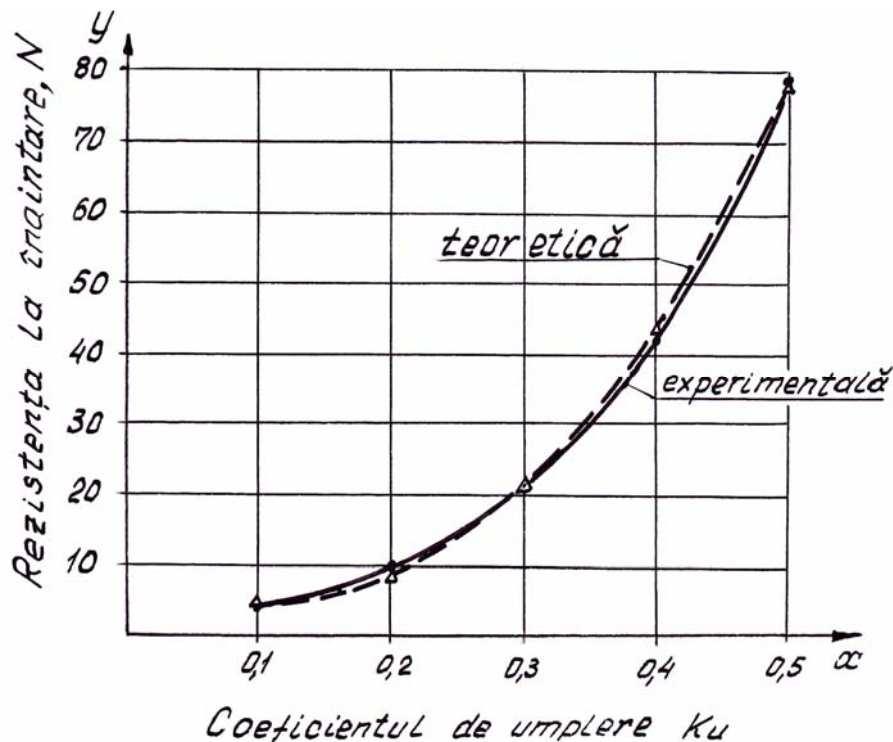


Fig. 3.5. Rezistența la înaintare funcție de K_u

Verificăm corespunderea ecuației obținute cu datele experimentale. Criteriul Fisher calculat este mai mic decât cel tabelar [34], ecuația de gradul doi descrie adecvat procesul de înaintare a barei prin mediul de lucru. În fig. 3.5 vedem că parabola adoptată descrie dependența experimentală în toate punctele cu o precizie înaltă.

$$F = 0,18 < F_t = 3,7 \left(\begin{array}{l} \alpha = 0,05 \\ f_R = 2 \\ f = 15 \end{array} \right).$$

Creșterea rezistenței la înaintare cu majorarea lui K_u se datorează faptului că, cantitatea de material din tobă se mărește ceea ce conduce la creșterea forței de frecare dintre particule și suprafața interioară a tobei. Vor fi mai mari și forțele de frecare dintre particulele zonei acționate de bară.

Afară de aceasta, la coeficienți mici de umplere, zona de material acționată de bară se extinde la distanțe mici. Cu majorarea lui K_u și, deci, a cantității de material din tobă, zona de acționare se mărește și atinge valoarea de 300 – 320 mm (subcapitolul 5.5) la $K_u = 0,5$.

Calculule efectuate au demonstrat că aria suprafeței cilindrice interioare a tobei acoperite cu material și greutatea acestui material la majorarea coeficientului de umplere se mărește aproximativ direct proporțional. Aria totală care include aria cilindrică și aria segmentelor de cerc ale pereților de capăt acoperite cu material se mărește cu creșterea coeficientului de umplere direct proporțional (fig. 3.6), deci și rezistența la înaintare a barelor care depinde de forța de frecare dintre material și tobă tot se va schimba direct proporțional.

Forța de frecare totală F_t care influențează rezistența de amestecare include forța de frecare dintre material și corpul cilindric al tobei F , forța de frecare dintre material și pereții laterali F_l

$$F_t = F + F_l = Gf + 2P_l f = f(G + 2P_l), \quad (3.17)$$

unde G – forța de gravitație a materialului din tobă, N;

f – coeficientul de frecare dintre material și tobă, $f = 0,57$ pentru nisip-oțel;

P_l - forța de presare orizontală a amestecului asupra peretelui lateral, N.

Forța de presare pe perețele lateral se determină cu relația

$$P_l = P_0 A_{sc}, \quad (3.18)$$

unde P_0 – presiunea orizontală, Pa;

A_{sc} – aria segmentului de cerc, m.

Presiunea orizontală se determină cu relația [37]

$$P_0 = k\rho gh, \quad (3.19)$$

unde k – raportul presiunii orizontale asupra celei verticale;

ρ - densitatea materialului din tobă, kg/m^3 ;

g – accelerația căderii libere, m/s^2 ;

h – adâncimea la care se calculează presiunea orizontală, m.

Coeficientul k depinde de unghiul de frecare interioară a materialului (de mobilitatea materialului) vărsat și se determină cu relația [37]

$$k = \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right), \quad (3.20)$$

unde θ - unghiul de frecare interioară.

Pentru $\theta = 38,66^\circ$ coeficientul $k = 0,23$. Rezultatele calculului forțelor de frecare funcție de coeficientul de umplere sunt prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4. Forța de frecare totală funcție de K_u

Coeficientul de umplere K_u	Forța de frecare dintre material și corpul cilindric F , N	Forța de frecare dintre material și pereții laterali $2P_l f$, N	Forța de frecare totală F_t , N
0,1	21,14	1,58	22,72
0,2	42,27	5,12	47,39
0,3	63,41	10,3	73,71
0,4	83,88	17,16	101,04
0,5	109,04	26,72	135,76

Vedem (tabelul 3.4, fig. 3.6) că dependența forței de frecare totală de coeficientul de umplere poate fi descrisă cu o linie dreaptă.

Acesată concluzie s-a confirmat experimental prin faptul că dependența rezistenței de amestecare a malaxorului cu 33 bare ($D=0,3$ m, $L=0,318$ m) de coeficientul de umplere este direct proporțională necâtând la aceea că dependența rezistenței de înaintare a unei bare aparte de coeficientul de umplere este parabolică.

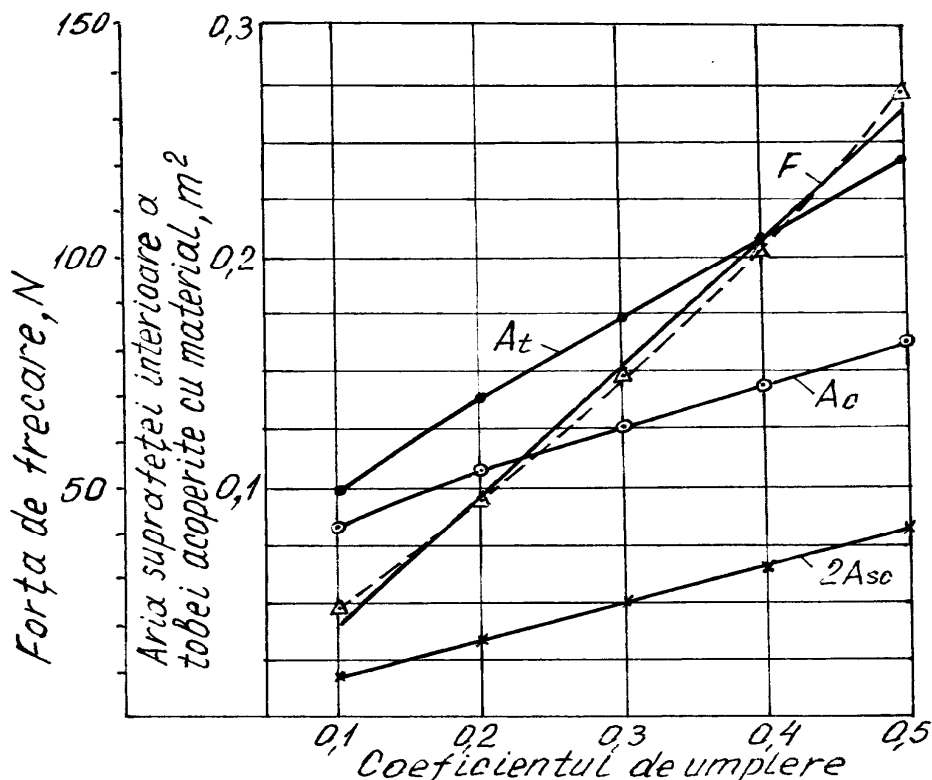


Fig. 3.6. Dependenta ariei suprafeței interioare a tobei acoperite cu material și a forței de frecare de coeficientul de umplere: A_c – aria suprafeței cilindrice; $2A_{sc}$ – aria a două segmente de cerc ale pereților laterali; A_t – aria interioară totală; F – forța de frecare totală

3.5.2. Raza tobei, diametrul barei, turația arborelui

Rezultatele măsurării rezistenței la înaintarea barei prin material funcție de raza tobei sunt prezentate în tabelul 3.5, iar reprezentarea lor grafică – în fig. 3.7.

Vedem că la majorarea razei tobei rezistența la înaintare a barei prin material crește în toate cazurile cercetate. La raze mici ale tobei și coeficienți de umplere mici rezistențele sunt mici și invers. Deci, la coeficientul de umplere egal cu 0,2 rezistența crește de la 44 N pentru raza tobei egală cu 0,15 m până la 738 N la raza de 0,5 m. La coeficientul de umplere $K_u=0,5$ rezistența crește de la 320 N la raza tobei de 0,15 m până la 4360 N la raza tobei de 0,5 m. Cu cât sunt mai mari raza tobei și coeficientul de umplere cu atât este mai mare rezistența la înaintare a barei. Dependenta rezistenței de raza tobei este parabolică.

Tabelul 3.5. Dependența rezistenței la înaintarea barei prin material în N de raza tobei
(nisip cu dimensiunile particulelor $a \leq 0,63$ mm, diametrul barei $d = 23$ mm)

Coeficientul de umplere K_u	Raza tobei, m			
	0,15	0,275	0,34	0,5
0,1	38	60	82	251
0,2	44	146	321	738
0,3	60	440	830	2037
0,4	100	920	1440	3133
0,5	320	1440	2096	4360

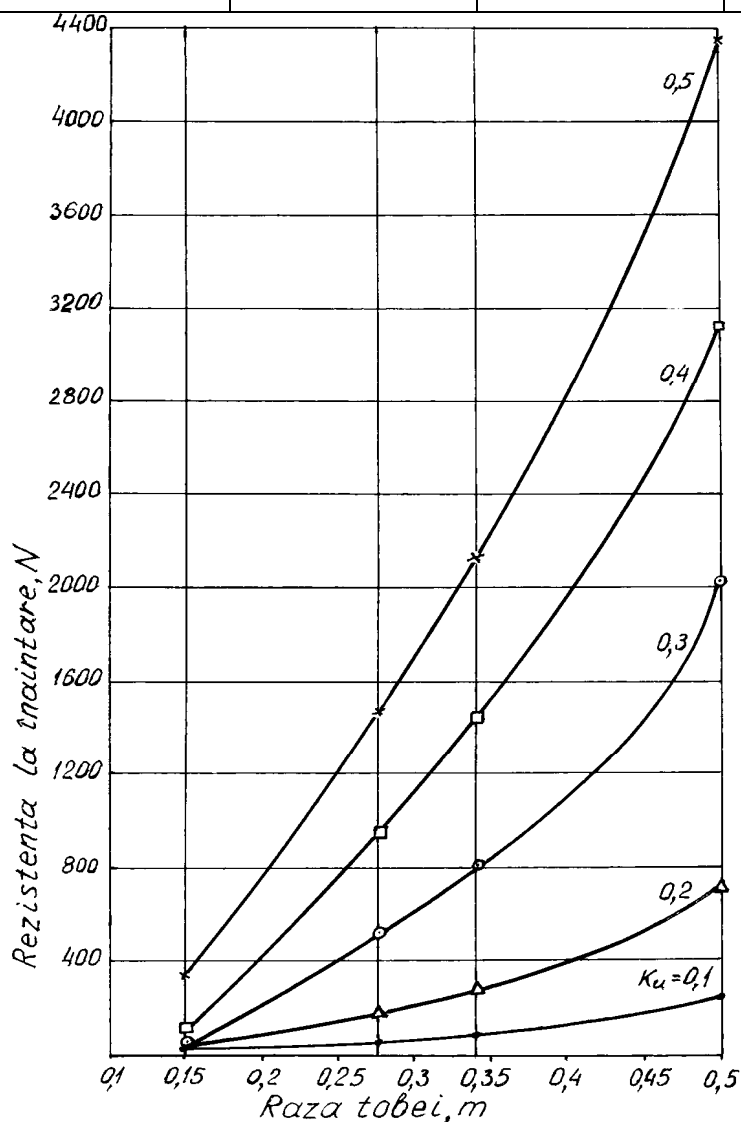


Fig. 3.7. Dependența rezistenței la înaintarea barei prin nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 0,63$ mm de raza tobei

Dependența rezistenței de amestecare de coeficientul de umplere și diametrul barei la deplasarea ei prin material cu dimensiunea particulelor $a = 10...15$ mm s-a obținut efectuând

cercetări în conformitate cu planul D-optimal pentru doi factori [38] (tabelul 3.6): coeficientul de umplere $\tilde{K}_u = 0,3 \pm 0,2$; diametrul barei $\tilde{d} = 15 \pm 5$ mm. Factorii care se mențin la nivel constant: umiditatea materialului $W \approx 4\%$; diametrul tobei 300 mm; lungimea tobei 318 mm; luftul dintre capătul barei și corp $\varepsilon = 27$ mm (adoptat cu scopul excluderii blocării particulelor în procesul deplasării barei); nivelul materialului din tobă este înclinat. S-a obținut polinomul de gradul doi

$$Z = 85,77 + 89,5K_u + 13,67d + 12K_u d + 14,83 K_u^2 + 2,3d^2 . \quad (3.21)$$

Pentru verificarea semnificativității coeficienților de regresie s-a determinat valoarea critică a lor cu relația

$$b_{cr} = tS\{b_i\}, \quad (3.22)$$

unde b_{cr} – valoarea critică a coeficientului de regresie;

t - valoarea criteriului Student care se ia din [34] în funcție de numărul de grade de libertate $f = n - 1$ și nivelul de semnificație $\alpha = 5\%$; aici n – numărul de experiențe paralele ($n = 3, f = 2, t = 4,303$);

Tabelul 3.6. Planul D – optimal pentru doi factori și rezultatele experimentale

Numărul experienței	Factorii (valoarea codificată)		Rezistența la înaintare Z, N
	coeficientul de umplere K_u	diametrul barei d	
1	+1	+1	220
2	+1	-1	165
3	-1	-1	8
4	-1	+1	15
5	+1	0	190
6	-1	0	15
7	0	+1	100
8	0	-1	80
9	0	0	82

$S\{b_i\}$ - devierea medie pătratică a coeficientului de regresie [38].

Valorile critice ale coeficienților sunt următoarele: $b_{cr.i} = 7,99$; $b_{cr.ij} = 9,79$; $b_{cr.ii} = 13,84$; $b_{cr.0} = 14,59$. Vedem că numai coeficientul de pe lângă d^2 este nesemnificativ, de aceea el poate fi eliminat din ecuație. Verificarea corespunderii ecuației de regresie cu rezultatele obținute s-a efectuat folosind criteriul F

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Z\}} = 2,04 < F_t = 19(f_1 = 2; f_2 = 3; \alpha = 0,05). \quad (3.23)$$

Deoarece criteriul F calculat este mai mic decât cel tabelar, tragem concluzia că polinomul obținut descrie adecvat procesul de înaintare a barei prin material.

Analizând ecuația de regresie vedem că toți coeficienții au semnul plus ceea ce înseamnă că la majorarea coeficientului de umplere și a diametrului barei rezistența la înaintare a barei prin material crește. Cea mai mare influență asupra rezistenței o are coeficientul de umplere, coeficientul b_1 are valoarea de 89,5. Diametrul barei influențează asupra rezistenței de 6,5 ori mai slab decât coeficientul de umplere. Efectul interacțiunii factorilor b_{12} este semnificativ, însă nu prea mare și egal aproximativ cu efectul pătratic b_{11} .

Pentru determinarea operativă a valorii rezistenței funcție de coeficientul de umplere și de diametrul barei s-a construit nomograma prezentată în fig. 3.8. Din nomogramă putem alege valorile cele mai raționale ale lui K_u și d pentru rezistența dată.

Influența diametrului barei asupra rezistenței de înaintare este prezentată în fig. 3.9 în care sunt incluse trei secțiuni ale suprafeței de răspuns conform ecuației (3.10). Prima secțiune este obținută pentru $K_u = 0,5$, a doua - pentru $K_u = 0,3$ și a treia - pentru $K_u = 0,1$. Dependența $Z = f(d)$ reprezintă o parabolă cu coeficientul mic pe lângă d^2 , care poate fi neglijat și, în așa mod, dependența poate fi adoptată ca liniară.

La coeficienți mici de umplere ($K_u = 0,1$) rezistența crește cu majorarea diametrului barei foarte puțin (3,34 N). Pentru $K_u = 0,3$ creșterea rezistenței cu majorarea diametrului barei de la 10 până la 20 mm este mai mare și constituie 27,34 N. Când coeficientul de umplere este egal cu 0,5 rezistența de deplasare este mai mare, iar creșterea ei la majorarea diametrului barei de la 10 până la 20 mm este de 31,24 N.

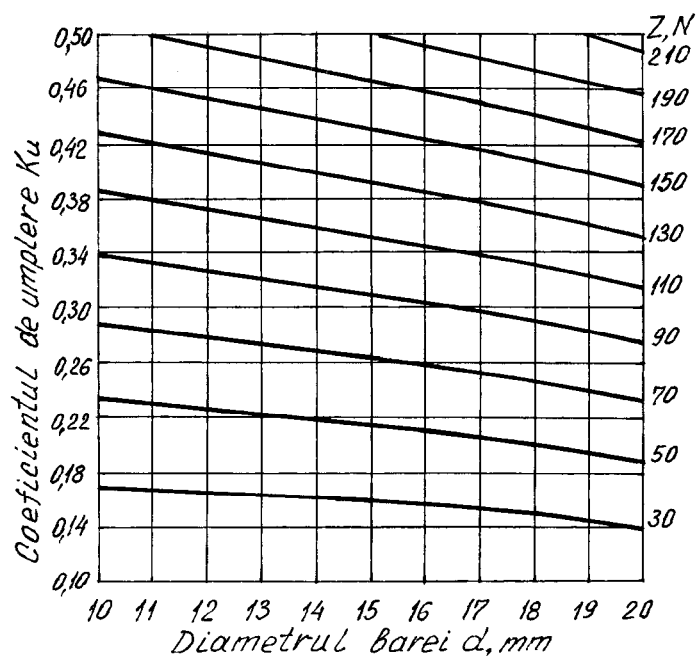


Fig. 3.8. Nomograma pentru determinarea rezistenței de înaintare a barei prin material funcție de coeficientul de umplere și diametrul barei.

Cheia: $K_u \rightarrow Z \leftarrow d$

Unul și același volum de material situat în tobe cu diferite diametre cu lungime constantă formează diferiți coeficienți de umplere. Deoarece coeficientul de umplere influențează foarte puternic asupra rezistenței de deplasare a organului de amestecare la deplasarea barei prin unul și același volum însă situat în tobe cu diferite diametre, deci cu diferiți coeficienți de umplere, vom obține diferite rezistențe la înaintare a barei.

Experiențele au demonstrat că rezistența barei în malaxorul cu raza tobei $r = 0,15$ m și coeficientul de umplere $K_u = 0,5$ constituie 170 N. În malaxorul cu raza tobei $r = 0,17$ m tot acest volum de material umple toba numai cu 35% de la volumul geometric ($K_u = 0,35$), iar rezistența de deplasare a barei este de 100 N. Rezistența unui și aceluiași volum de material este de 1,7 ori mai mică în toba cu rază mare ($r = 0,17$ m) decât în toba cu rază mică ($r = 0,15$ m). Aceasta ne dovedește faptul că este mai avantajoasă utilizarea tobelor cu diametrul mare și coeficient de umplere mai mic.

Valori mai mari ale rezistenței în malaxorul cu diametrul tobei mai mic se explică prin aceea că stratul de material este mai gros, sunt mai mari forțele de presare a barei asupra materialului, a materialului asupra tobei din cauza curburii mici a fundului tobei și, ca rezultat – forțe mai mari de frecare dintre material și tobă.

Turația arborelui. La majorarea turației arborelui rezistența de înaintare rămâne practic constantă când coeficientul de umplere a tobei este 0,2 ...0,35 (tabelul 3.7, fig. 3.10). La coeficienți de umplere 0,5...0,8 are loc micșorarea rezistenței cu creșterea turației arborelui, mai ales pentru $K_u = 0,65$. Acesta este rezultatul schimbării caracterului acțiunii particulelor materialului de către bară la trecerea ei printr-un strat gros cu viteză mare. Zona de extindere laterală a acțiunii barei, credem că se micșorează, ceea ce conduce la micșorarea rezistenței maxime.

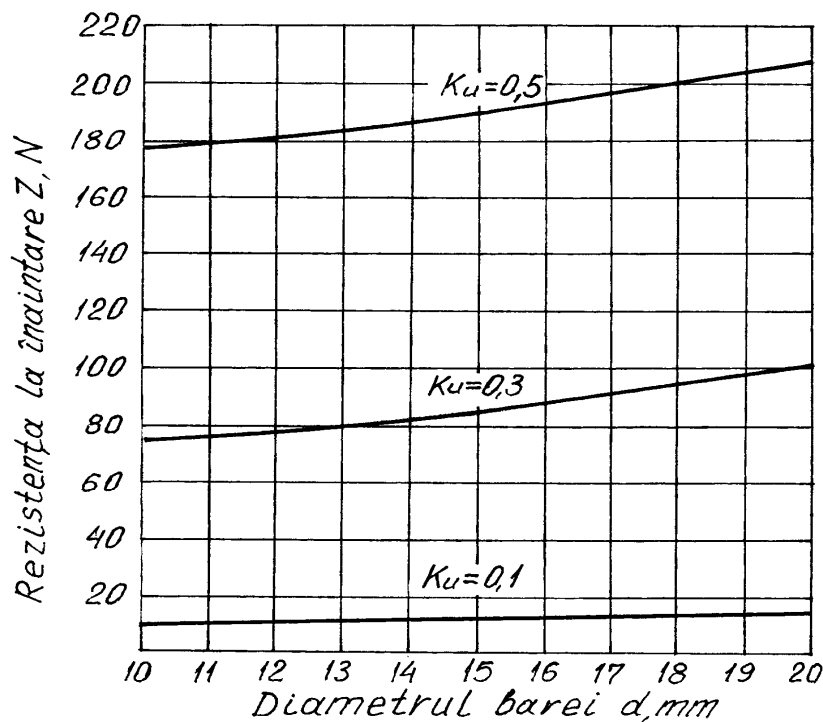


Fig. 3.9. Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru
funcție de diametrul ei pentru diferiți coeficienți de umplere

Tabelul 3.7. Rezistența maximă la înaintare (diviziuni ale sistemului SIIT-3)

Coeficientul de umplere	Turația, rot/min				
	60	100	140	180	220
0,20	907	915	917	933	969
0,35	1072	1094	1082	1075	1091
0,50	1490	1338	1384	1388	1292
0,65	2144	2054	1948	1748	1614
0,80	2076	2097	2092	1991	1979

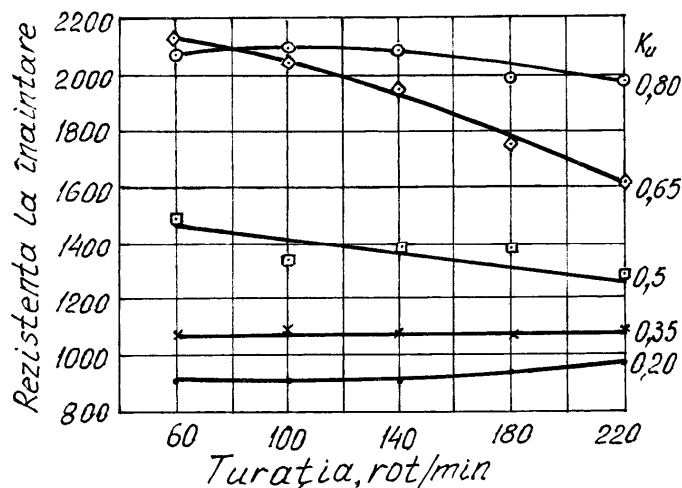


Fig. 3.10. Dependența rezistenței de înaintare a barei prin material de turația arborelui

3.5.3. Tipul materialului și dimensiunea particulelor

Influența dimensiunilor particulelor asupra rezistenței la înaintare a barei este prezentată în tabelul 3.8. Vedem că rezistența la înaintare a barei prin material particulele căruia au

Tabelul 3.8. Influența dimensiunii particulelor asupra rezistenței la înaintare a barei în N (raza tobei $r = 0,34$ m, diametrul barei $d = 20$ mm)

Mediul de lucru, dimensiunea particulelor a în mm	Coeficientul de umplere				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Nisip, $a \leq 0,63$	82	321	830	1440	2096
Idem, $a \leq 1,25$	41	152	400	920	2010
Piatră spartă (calcar),	240	480	574	685	960

$a = 2,5...5$					
Idem, $a = 5...10$	140	380	796	1600	3360
Idem, $a = 10...15$	150	445	991	2070	4400

dimensiuni foarte mici ($a \leq 0,63$ mm), în comparație cu agregatele betonului, este foarte mare și atinge valoarea de 2096 N pentru bara cu diametrul de 20 mm și coeficientul de umplere a tobei egal cu 0,5. În piatră spartă (calcar) cu dimensiunea particulelor $a = 2,5...5$ mm și aceleași condiții, rezistența se micșorează și-i egală cu 960 N. Majorarea de mai departe a dimensiunilor particulelor conduce la creșterea rezistențelor la înaintare care ating valoarea de 4400 N pentru piatră spartă cu dimensiunea particulelor $a = 10...15$ mm.

Valori mari ale rezistenței la înaintare a barei în materiale cu dimensiuni foarte mici se datorează densității mai mari a acestor materiale. Materialele cu dimensiunea $a = 1...5$ mm au densitate mai mică de aceea și rezistența la deplasarea barei este mai mică. Materialele cu particule mai mari de 5 mm pot avea aceeași densitate, însă rezistența la deplasare a barei crește foarte puternic la majorarea dimensiunilor. Aceasta se datorează faptului răspândirii la distanțe mari a interacțiunilor particulelor cu dimensiuni mari – bara acționează un volum de material cu mult mai mare decât la deplasarea ei prin mediul cu particule mici.

3.5.4. Unghiul de așchiere a barei

Organele de lucru ale malaxoarelor prezintă palete de diferite forme unghiul de așchiere al cărora este de 90^0 ceea ce conduce la apariția rezistențelor mari în procesul înaintării lor prin materialul care se amestecă și, ca urmare - la consum mare de energie și de metale. Luând în considerație că la organele de lucru ale mașinilor pentru terasamente cu micșorarea unghiului de așchiere rezistența lor la tăiere se micșorează considerabil [39] s-a hotărât de a supune cercetărilor influența acestui unghi asupra rezistențelor de amestecare în malaxoare.

Organele de lucru în formă de bare (fig. 3.11) s-au confecționat cu unghiul de așchiere δ

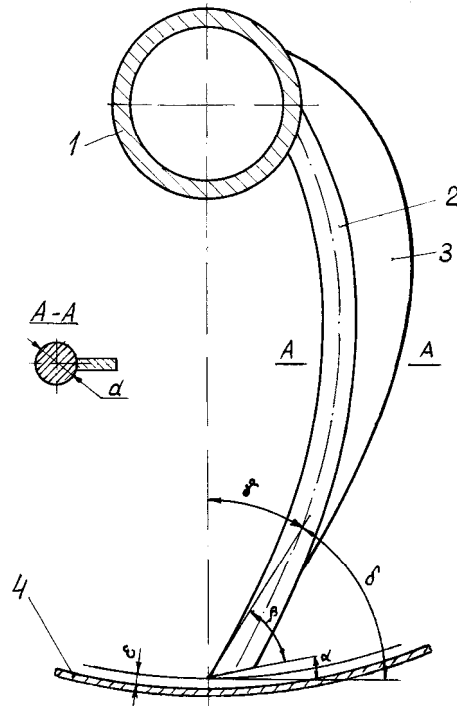


Fig. 3.11. Organul de amestecare în formă de bară cu unghi de așchiere constant: 1- arbore tubular; 2-bară; 3-nervură; 4-corpul tobei

egal cu 30; 45; 60; 75 și 90°, cu unghiul de așezare $\alpha = 10^\circ$ și diametrul barei de 10 mm. Luftul ε s-a menținut în limitele 2...3 mm. Profilul longitudinal al barei reprezintă o spirală logaritmică și deci unghiul de așchiere δ este constant în lungul barei.

Unghiul de ascuțire β este funcție de valoarea unghiului δ și se determină din relația $\delta = \alpha + \beta$. Unghiul de degajare γ depinde de asemenea de valoarea unghiului δ și se determină din relația $\gamma + \delta = 90^\circ$.

3.5.4.1. Construirea profilului barei cu unghi de așchiere constant

la orice rază a tobei

Profilul barei cu unghi de așchiere constant reprezintă o spirală logaritmică [40] care a fost descrisă de către celebrul filozof și matematician francez Rene Du Perron Descartes în anul 1638. D-lui a arătat că la spirala arcul căreia crește proporțional cu raza polară tangenta formează un unghi constant cu raza polară. Denumirea de spirală logaritmică (unghiul dintre razele polare este proporțional cu logaritmul raportului lor) a fost dată de Verinon în anul 1704.

Ecuția spiralei în coordonate polare când polul coincide cu polul spiralei, iar axa polară este trasă prin punctul M_0 luat arbitrar (fig. 3.12) este următoarea:

$$\rho = \rho_0 q^{\frac{\varphi}{2\pi}}, \quad (3.24)$$

- unde ρ - raza curentă a spiralei ($\rho = OM$);
- $\rho_0 = OM_0$ - raza polară a punctului M_0 ;
- q - coeficientul de creștere a spiralei;
- φ - unghiul dintre razele ρ și ρ_0 .

De obicei ecuația (3.24) se scrie în modul următor

$$\rho = \rho_0 e^{k\varphi}, \quad (3.25)$$

unde k – parametrul care se determină folosind coeficientul de creștere q în felul următor:

$$k = \frac{\ln q}{2\pi}, \quad (3.26)$$

sau invers

$$q = e^{2k\pi}, \quad (3.27)$$

unde k se calculează folosind expresia

$$k = \text{ctg} \alpha, \quad (3.28)$$

iar α este unghiul dintre dreapta OM și tangenta MT, $\alpha = \angle OMT$ (fig. 3.12). Pentru bara malaxorului în formă de spirală din fig. 3.12 se vede că diferența $90^\circ - \alpha$ reprezintă unghiul de așchiere δ al barei (organului de amestecare) care este constant pentru orice valoare a razei polare, deoarece α este constant ce reiese din însușirea spiralei logaritmice.

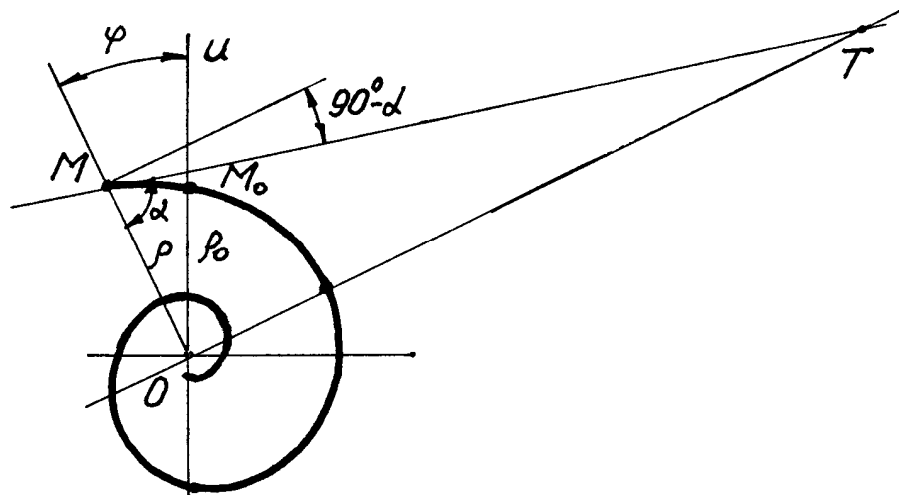


Fig. 3.12. Spirala logaritmică

S-au construit profilurile barelor cu unghiurile de așchiere $\delta=90, 75, 60, 45$ și 30° ($\alpha = 0, 15, 30, 45$ și 60°). Raza polară este egală cu $\rho_0 = 150$ mm, iar spiralele sunt de stânga. Deci, formulele pentru calcularea valorilor razelor polare ρ vor fi:

$$\begin{aligned} \alpha = 15^\circ (\delta=75^\circ); & \rho = 150/e^{3,732\varphi}; \\ \alpha = 30^\circ (\delta=60^\circ); & \rho = 150/e^{1,732\varphi}; \\ \alpha = 45^\circ (\delta=45^\circ); & \rho = 150/e^\varphi; \\ \alpha = 60^\circ (\delta=30^\circ); & \rho = 150/e^{0,577\varphi}. \end{aligned}$$

Unghiul φ s-a schimbat cu pasul de 10° ($\varphi = 0, 10, 20 \dots$). Profilurile barelor sunt prezentate în fig. 3.13.

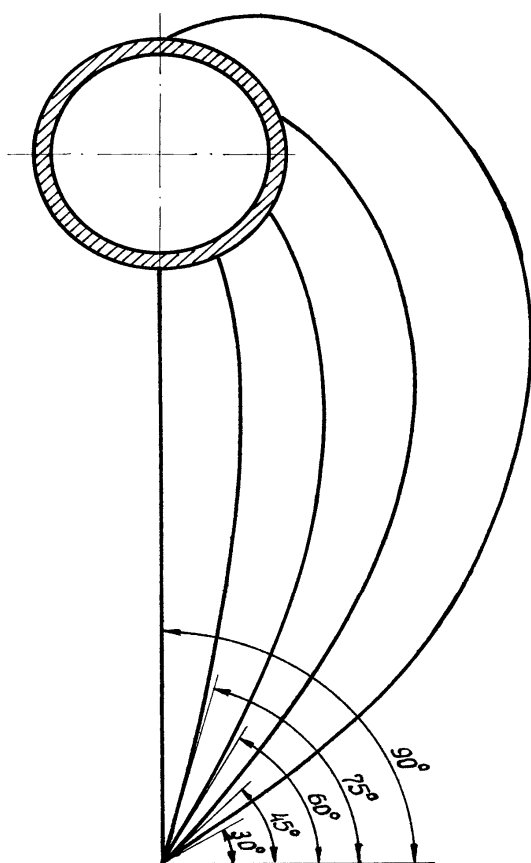


Fig. 3.13. Profiluri curbilunii ale barelor cu diferite unghiuri de aşchiere

3.5.4.2. Rezultatele experimentale și analiza lor

S-au efectuat măsurări ale rezistenței la înaintare a barelor prin nisip uscat cu dimensiunile particulelor $a \leq 1$ mm. Numărul de experiențe paralele $n = 4$. Nivelul nisipului din tobă pentru fiecare coeficient de umplere era orizontal (cazul întâi) la fiecare experiență. Pentru cazul al doilea unghiul de înclinare a nivelului nisipului era acela care se obținea în procesul a mai multor rotiri ale arborelui cu bara până când rezistența la înaintare devenea constantă.

Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 3.9, iar reprezentarea lor grafică în fig. 3.14, 3.15.

Vedem că și pentru situarea orizontală a materialului în tobă (tabelul 3.9), și pentru cea înclinată (tabelul 3.9, fig. 3.14, 3.15) unghiul de aşchiere a barei influențează considerabil asupra rezistenței la înaintare. Pentru orice valoare a coeficientului de umplere a tobei rezistența la înaintare a barelor cu $\delta < 90^\circ$ este totdeauna mai mică decât cea a barei cu $\delta = 90^\circ$. La majorarea unghiului de aşchiere are loc creșterea rezistenței la înaintare a barei.

La majorarea coeficientului de umplere începând cu $K_u = 0,7$ influența unghiului de aşchiere diminuează puțin (fig. 3.14).

La majorarea coeficientului de umplere rezistența la înaintare se mărește considerabil. De exemplu, la majorarea lui K_u de la 0,3 până la 1 (tabelul 3.9) rezistența la înaintare a barelor cu unghiul de aşchiere $\delta = 30^\circ$ crește de la 7,5 N până la 400 N (pentru nivelul orizontal al nisipului), deci de 53,3 ori.

Tabelul 3.9. Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru în N funcție de coeficientul de umplere, unghiul de așchiere și situarea nivelului materialului față de orizont*

Coeficientul de umplere	Unghiul de așchiere, grade									
	30		45		60		75		90	
	o	î	o	î	o	î	o	î	o	î
0,2	2,8	1,2	3,4	1,3	7,5	3,0	6,4	4,0	12,0	4,8
0,3	7,5	2,8	12,3	2,9	19,0	9,5	25,4	14,0	43,0	29,0
0,4	26,0	6,0	36,0	11,0	53,7	25,6	69,3	43,0	91,0	64,5
0,5	84,0	60,0	90,0	69,0	112,0	84,7	144,0	112,0	183,3	168,5
0,6	144,0	132,0	167,0	158,0	204,9	195,0	252,0	240,0	306,0	292,0
0,7	240,0	226,0	268,0	252,0	304,0	290,3	352,0	348,0	400,0	410,0
0,8	312,0	324,0	334,0	360,0	382,0	406,0	442,0	456,0	517,0	510,0
0,9	374,0	376,0	398,0	410,0	454,0	464,0	530,0	524,0	612,0	600,0
1,0	400,0	426,0	444,0	470,0	504,0	524,0	580,0	592,0	676,0	662,0

* o – nivelul materialului este orizontal; î – nivelul materialului înclinat

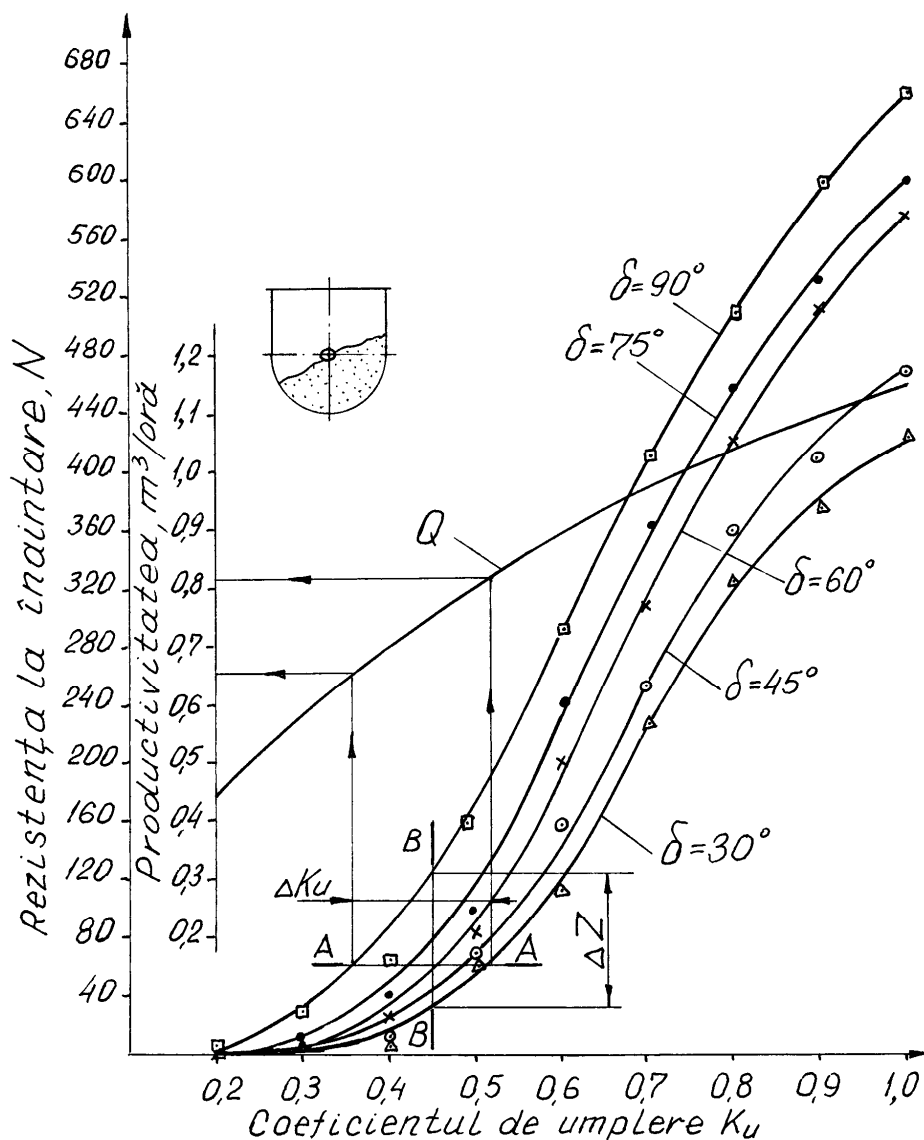


Fig. 3.14. Rezistența la înaintare funcție de coeficientul de umplere și unghiul de așchiere δ ; Q - productivitatea malaxorului

Valoarea ΔK_u în fig. 3.14 reprezintă creșterea productivității malaxorului la menținerea cheltuielilor de energie la un nivel constant datorită înlocuirii barelor cu unghiul de așchiere $\delta = 90^\circ$ cu bare al cărui unghi $\delta = 30^\circ$. Din tabelul 3.9 și fig. 3.14 putem trage concluzia că productivitatea Q va crește de 1,24 ori la rezistența constantă de 60 N (fig. 3.14, secțiunea A-A).

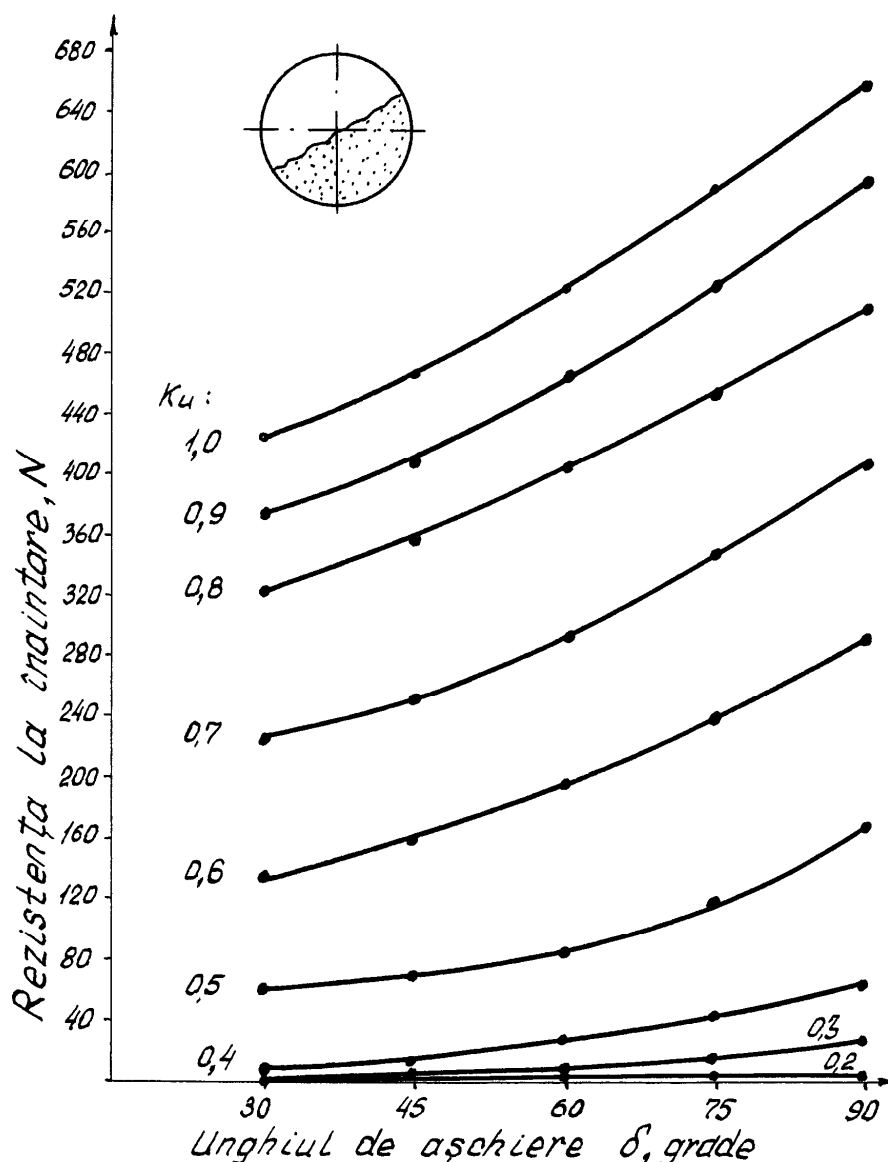


Fig. 3.15. Rezistența la înaintare funcție de unghiul de așchiere δ și coeficientul de umplere K_u

Valoarea ΔZ în fig. 3.14 este câștigul în forță la folosirea barelor cu unghiul de așchiere $\delta = 30^\circ$ în locul barelor cu $\delta = 90^\circ$. Pentru coeficientul de umplere $K_u = 0,45$ (secțiunea B-B) rezistența se micșorează de 3,9 ori. Deci și consumul de energie se va micșora în aceeași proporție.

Micșorarea rezistențelor la înaintare a barelor cu unghiul de așchiere δ mai mic de 90° grade se poate lămuri în așa mod. 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

aproximativ cu 60° - 70° de la nivelul orizontal. La bara cu $\delta < 90^{\circ}$ 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 maximumurile parțiale apar în timpi diferiți ele nu se sumează și deci valoarea maximă totală a barei va fi mai mică decât la bara cu $\delta = 90^{\circ}$.

Altă pricină de micșorare a rezistenței la înaintare este posibilitatea alunecării particulelor pe suprafața barei când unghiul δ este mai mic de 60° .

Pentru descrierea procesului de deplasare a particulei pe suprafața barei să analizăm forțele care acționează asupra ei. Asupra particulei (fig. 3.16) acționează forța normală N și forța de frecare F (forța de gravitație a particulei nu se ia în considerație ca fiind comparabil mică).

Descompunem forța normală N în două forțe: $S = N \operatorname{tg}(90 - \delta)$ care acționează în direcție opusă mișcării tangențial față de bară în punctul A ; $P = N / \cos(90 - \delta)$ care acționează în direcția deplasării [41]. Alunecarea particulei pe suprafața barei va avea loc dacă forța S va fi mai mare decât forța de frecare F

$$S > F, \quad (3.29)$$

$$N \operatorname{tg}(90 - \delta) > N \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.30)$$

sau

$$\operatorname{tg}(90 - \delta) > \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.31)$$

unde φ - unghiul de frecare exterioară, pentru nisip $\varphi = 30,11^{\circ}$.

Dacă unghiul $(90 - \delta)$ va fi mai mare decât φ atunci particulele vor aluneca pe suprafața barei deoarece forța S care împinge particula în direcție opusă mișcării este mai mare decât forța de frecare F și, deci, putem scrie că

$$90 - \delta > \varphi \quad (3.32)$$

sau

$$\delta < 90 - \varphi. \quad (3.33)$$

Deoarece $\varphi = 30,11^{\circ}$ unghiul de așchiere trebuie să fie $\delta < 90 - 30,11 = 59,89^{\circ}$.

În tabelul 3.10 sunt prezentate rezultatele calculului forțelor care acționează asupra particulei pentru diferite unghiuri de așchiere a barei. Vedem că pentru unghiul de așchiere de la 90° până la 60° forța de frecare este mai mare decât forța de împingere a particulei, iar la $\delta = 60^{\circ}$ aceste forțe sunt egale, deci deplasarea particulei în lungul barei nu are loc. La micșorarea mai departe a unghiului δ forța de împingere depășește forța de frecare și particula alunecă pe suprafața barei ca rezultat rezistența de deplasare a barei prin material se micșorează.

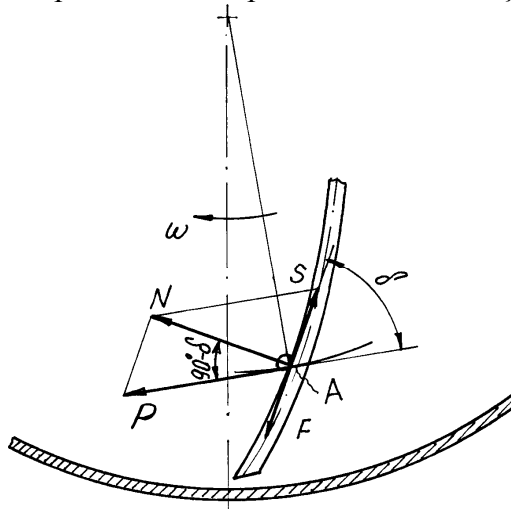


Fig. 3.16. Schema de calcul a forțelor care acționează asupra particulei

În [6] se menționează că valoarea optimă a unghiului de așchiere δ constituie $30 \dots 32^{\circ}$ pentru soluri ușoare și $40 \dots 43^{\circ}$ pentru cele grele.

Tabelul 3.10. Forțele care acționează asupra particulei de material

Unghiul de așchiere a barei δ ,grade	Forța				
	normală N	tangențială P	de frecare F	de deplasare în lungul barei S	$S - F$
90	N	N	0,58 N	0	-0,58 N
75	N	1,035 N	0,58 N	0,268 N	-0,312 N
60	N	1,155 N	0,58 N	0,58 N	0
45	N	1,414 N	0,58 N	N	0,42 N
30	N	2,000 N	0,58 N	1,73 N	1,15 N
15	N	3,864 N	0,58 N	3,73 N	3,15 N
10	N	5,75 N	0,58 N	5,67 N	5,09 N

Pentru a vedea mai clar cum se schimbă rezistența la înaintare în funcție de unghiul de așchiere pentru diferiți coeficienți de umplere s-a adoptat ca rezistența barelor cu unghiul $\delta = 30^0$ să fie ca o unitate de bază, iar pentru barele cu alte unghiuri de așchiere – egală cu raportul rezistenței barei date asupra rezistenței barei cu $\delta = 30^0$. Rezultatele calculării acestor raporturi sunt prezentate în tabelul 3.11. Vedem că majorarea unghiului de așchiere de la 30 până la 90⁰ conduce la creșterea rezistențelor de 5,73 ori pentru coeficientul de umplere 0,3 (nivelul orizontal al materialului). Pentru coeficienții de umplere de la 0,5 până la unu creșterea rezistențelor este de 2,18 ...1,69 ori. Aceasta din urmă se datorează faptului că raporturile sunt căpătate la împărțirea cifrelor destul de mari. De exemplu, raportul egal cu 5,73 este obținut la împărțirea rezistențelor de 43 N și 7,5 N (tabelul 3.9), diferența cărora este 35,5N. Raportul 1,69 (tabelele 3.9 și 3.11) este obținut la împărțirea rezistențelor de 676 N și 400 N diferența cărora este 276 N. Influența asupra rezistenței la înaintare a situației nivelului materialului în tobă (orizontală sau înclinată) va fi mai evidentă dacă vom afla raportul rezistențelor barelor în material cu nivelul orizontal față de rezistențele barelor în material cu nivelul înclinat. Aceste raporturi sunt prezentate în tabelul 3.11 pentru fiecare unghi de așchiere în coloana a doua și indicate prin semnul o/î.

Tabelul 3.11. Valori relative ale rezistențelor la înaintare a barei prin mediul de lucru *
(pentru barele cu $\delta = 30^0$ rezistența s-a adoptat egală cu o unitate)

Coeficientul de umplere	Unghiul de așchiere, grade									
	30		45		60		75		90	
	o	o/î	o	o/î	o	o/î	o	o/î	o	o/î
0,2	1	2,33	1,21	2,62	2,67	2,5	2,29	1,60	4,29	2,50
0,3	1	2,68	1,64	4,24	2,53	2,00	3,39	1,81	5,73	1,48
0,4	1	4,33	1,38	3,27	2,07	2,10	2,63	1,59	3,50	1,41
0,5	1	1,40	1,07	1,30	1,33	1,32	1,71	1,29	2,18	1,09
0,6	1	1,10	1,16	1,06	1,42	1,05	1,75	1,05	2,13	1,02
0,7	1	1,06	1,12	1,06	1,27	1,05	1,47	1,01	1,67	0,98
0,8	1	0,96	1,07	0,93	1,22	0,94	1,42	0,97	1,66	1,01
0,9	1	0,99	1,06	0,97	1,21	0,98	1,42	1,01	1,64	1,02
1,0	1	0,94	1,11	0,94	1,26	0,96	1,45	0,98	1,69	1,02

* o – nivelul materialului este orizontal; î – nivelul materialului înclinat

Când nivelul materialului din tobă este orizontal rezistența la înaintare este mai mare decât în cazul nivelului înclinat. Această însușire se observă pentru toate unghiurile de așchiere și coeficienții de umplere de la 0,2 până la 0,6. Pentru coeficienții de umplere mai mari rezistențele sunt egale și chiar devin mai mici în materialul cu nivelul orizontal.

O influență considerabilă asupra rezistenței la înaintare o are coeficientul de umplere a tobei cu material. Această influență de asemenea este prezentată prin raporturi (tabelul 3.12). Aici valorile rezistențelor pentru coeficientul de umplere 0,2 s-au luat egale cu o unitate, iar pentru ceilalți coeficienți s-a calculat raportul dintre rezistența curentă și cea corespunzătoare coeficientului 0,2.

La majorarea coeficientului de umplere de la 0,2 până la 1 rezistența la înaintare pentru $\delta = 30^0$ crește de 142,85 ori (nivelul orizontal) și de 355 ori pentru nivelul înclinat. Această creștere este mai mică pentru unghiurile de așchiere mai mari de 45^0 . De exemplu, pentru $\delta = 90^0$ creșterea este de 56,33 ori (nivelul orizontal) și de 137,92 ori (nivelul înclinat). Creșterea mai mică a rezistenței în acest caz se datorează faptului că raporturile reprezintă rezultatele de la împărțirea la valori de rezistență inițiale mai mari decât în cazul unghiurilor de așchiere mici la care valorile rezistențelor inițiale sunt foarte mici (tabelul 3.9).

Aceste neclarități se rezolvă prin determinarea parametrilor generalizați ai procesului de amestecare și anume, productivitatea, puterea și consumul specific de energie.

Tabelul 3.12. Valori relative ale rezistențelor la înaintare a barei prin mediul de lucru * (pentru coeficientul de umplere 0,2 rezistența s-a adoptat egală cu o unitate)

Coeficientul de umplere	Unghiul de așchiere, grade									
	30		45		60		75		90	
	o	î	o	î	o	î	o	î	o	î
0,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	2,68	2,33	3,62	2,23	2,53	3,17	3,98	3,5	3,58	6,04
0,4	9,29	5,00	10,59	8,45	7,16	8,53	10,67	10,75	7,58	13,44
0,5	30,00	50,00	26,47	53,08	14,93	28,22	22,50	28,00	15,27	35,10
0,6	51,43	110,00	49,12	121,54	27,32	65,00	39,38	60,00	25,5	60,83
0,7	85,71	188,33	78,82	193,85	40,53	96,77	55,00	87,00	33,33	85,42
0,8	111,43	270,00	98,24	276,92	50,93	135,33	69,06	114,00	43,08	106,25
0,9	138,57	313,33	117,06	315,38	60,53	154,66	83,21	131,00	51,00	125,00
1,0	142,85	355,00	130,59	361,54	67,20	174,66	90,63	148,00	56,33	137,92

* o – nivelul materialului este orizontal; î – nivelul materialului înclinat

Pentru obținerea relației matematice a dependenței rezistenței de unghiul de așchiere $\delta(x_1)$ și coeficientul de umplere $K_u(x_2)$ la înaintare a barei prin nisip s-a utilizat planificarea ortogonală de compoziție pentru doi factori [38]. Planul și rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 3. 13.

În rezultatul efectuării analizei de regresie s-a obținut polinomul de gradul doi care este adecvat experimentului

$$Z=23,14+39,2 x_1+103,8 x_2+42,3 x_1 x_2+72,9 x_2^2; \quad (3.34)$$

$$(F= 6,8 < F_{\text{tab}}=19,25 \quad (f_1=4; \quad f_2=2; \quad \alpha=0,05); \quad S\{Z\}=5,05 \text{ N}).$$

Se vede că la majorarea și a unghiului de așchiere δ și a coeficientului de umplere a tobei cu material K_u rezistența crește. Efectul liniar al coeficientului de umplere (x_2) este de 2,65 ori mai mare decât efectul liniar al factorului x_1 (unghiul de așchiere). Efectul interacțiunii factorilor este semnificativ și egal cu 42,3. Aceasta dovedește faptul că, creșterea concomitentă a unghiului de așchiere și a coeficientului de umplere conduce la creșterea rezistenței la înaintare. Efectul pătratic al factorului x_1 este nesemnificativ, însă a factorului x_2 este destul de mare.

Tabelul 3.13. Planificarea ortogonală de compoziție pentru doi factori și rezultatele experimentale

Nr.crt.	Factorii și limitele de variație a lor		Rezistența la înaintare, N
	$x_1(\bar{x}_1, \text{grade})^*$	$x_2(\bar{x}_2)$	
1	+(90)	+ (0,6)	304
2	+(90)	- (0,2)	4
3	-(30)	- (0,2)	1
4	-(30)	+ (0,6)	132
5	+(90)	0 (0,4)	66
6	-(30)	0 (0,4)	6
7	0 (60)	+ (0,6)	195
8	0 (60)	- (0,2)	3
9	0 (60)	0 (0,4)	25
	* x_i - valoarea codificată a variabilei; \tilde{x}_i - valoarea reală		

În nomograma din fig. 3.17 vedem că la unghiuri mici de așchiere δ rezistența la înaintare este destul de mică chiar pentru coeficienți mari de umplere. Așa pentru $K_u = 0,49$ și $\delta = 30^\circ$ rezistența constituie 40 N. Pentru același $K_u = 0,49$ însă pentru $\delta = 90^\circ$ rezistența devine egală cu 158 N, deci de 3,95 ori mai mare.

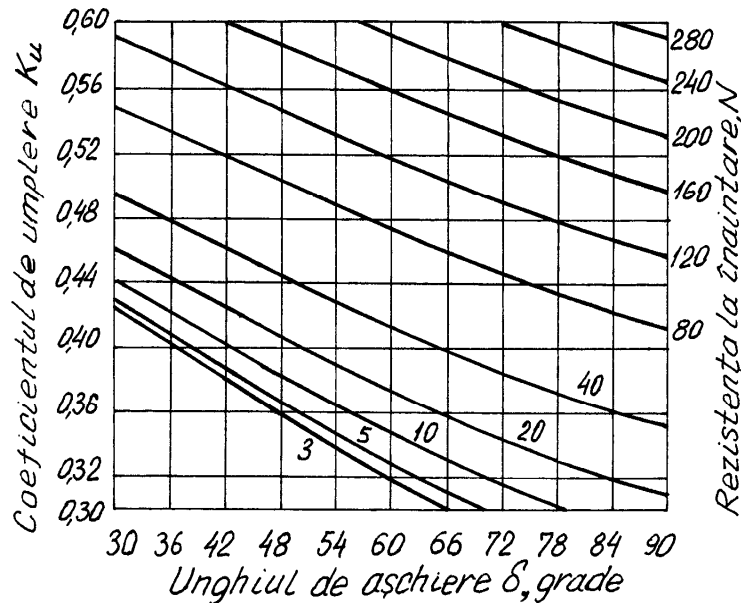


Fig. 3.17. Nomograma pentru determinarea rezistenței la înaintare a barei funcție de unghiul de așchiere δ și coeficientul de umplere K_u

3.5.5. Umiditatea amestecului

În malaxorul cu raza tobei $r = 0,15$ m, lungimea $L = 0,318$ m și organe de amestecare în formă de bare cu diametrul $d = 10$ mm s-au efectuat experiențe cu scopul determinării rezistenței de amestecare funcție de umiditatea diferitor materiale care intră în componența amestecurilor de construcție. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 3.14, iar în mod grafic - în fig. 3.18. S-au studiat patru cazuri: 1) organul de amestecare echipat cu 33 bare fără răzuitoare, materialul din tobă - nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1$ mm; 2) organul de

amestecare cu 33 bare din care 5 au răzuitoare situate sub un unghi de 45^0 față de axa arborelui, materialul din tobă – nisip, $a \leq 1$ mm; 3) organul de amestecare cu 21 bare (pasul barelor $p = 90$ mm) din care 7 cu răzuitoare, $\alpha = 45^0$, materialul – nisip, $a \leq 1,25$ mm; 4) organul de amestecare cu 21 bare, 7 răzuitoare, 2 răzuitoare radiale fixate pe arbore lângă pereții laterali, materialul – mărunțiș nesortat de calcar, $a \leq 2,5$ mm. În primele 3 cazuri coeficientul de umplere a tobei a fost $K_u = 0,4$, în cazul al patrulea - $K_u = 0,5$.

La majorarea umidității relative a nisipului de la 5% rezistența de amestecare crește și atinge valoarea maximă la umiditatea de 10...15 % (fig. 3.18 ,curbele 1 și 2). Majorarea de mai departe a umidității conduce la micșorarea bruscă a rezistenței care la umiditatea de 25 % devine egală aproape cu zero în malaxorul fără răzuitoare.

Existența răzuitoarelor conduce la majorarea rezistenței de amestecare cu 15 %.

Când organul de amestecare este echipat cu 21 bare din care 7 au răzuitoare situate la capetele barelor sub un unghi de 45^0 față de axa arborelui rezistența de amestecare în aceleași

Tabelul 3. 14. Rezistența de amestecare în N funcție de umiditatea materialului din tobă

Umiditatea $W, \%$	Particularitățile constructive ale organului de amestecare și tipul materialului			
	33 bare fără răzuitoare; nisip, $a \leq 1$ mm; $K_u = 0,4$	33 bare, 5 cu răzuitoare, $\alpha = 45^0$; nisip, $a \leq 1$ mm $K_u = 0,4$	21 bare, 7 răzuitoare, $\alpha = 45^0$, nisip, $a \leq 1,25$ mm $K_u = 0,4$	21 bare, 7 răzuitoare, 2 răzuitoare radiale; mărunțiș de calcar, $a \leq 2,5$ mm $K_u = 0,5$
5	120	144	88	111
10	140	176	92	120
15	148	168	96	136
20	88	136	72	140
25	0,4	12	4	60

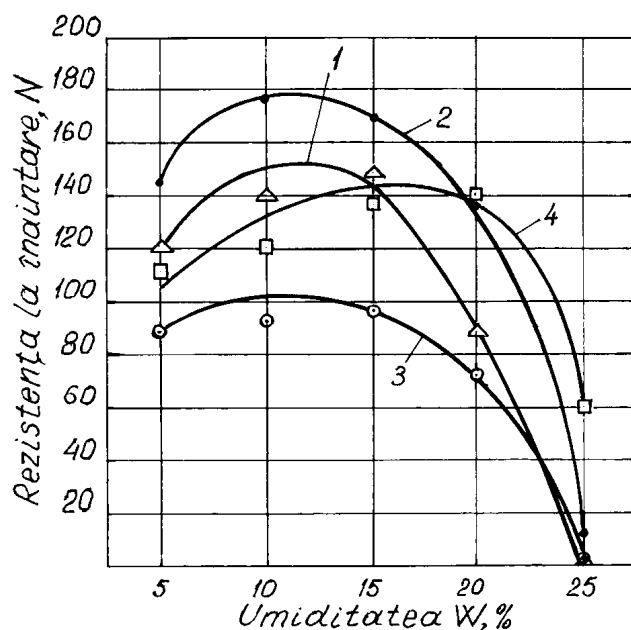


Fig. 3.18. Rezistența de amestecare funcție de umiditatea materialului condiții are aceeași schimbare, însă este mai mică pentru toate valorile umidității (fig. 3.18 ,curba 3) datorită pasului mai mare al barelor și micșorării efectului blocării particulelor.

Majorarea umidității mărunțișului de calcar nu modifică esențial mersul curbei dependenței rezistenței de umiditate. Valoarea maximă a rezistenței se obține la umiditate mai mare ($W = 20\%$) deoarece suprafața specifică a mărunțișului de calcar este mai mare și este necesar unu volum de apă mai mare pentru umezirea tuturor particulelor (fig. 3.18 ,curba 4).

3.5.6. Unghiul de rotire a arborelui

Cunoașterea valorii rezistenței de înaintare a organelor de amestecare în formă de bare prin amestec funcție de unghiul de rotire a arborelui malaxorului, de numărul de bare fixate pe arbore și de poziția suprafeței materialului din toבă față de orizont este necesară pentru stabilirea regimurilor de încărcare a barelor și a arborelui și de funcționare a motorului. Tot în așa măsură aceasta se referă și la elementele transmisiei. Necesitatea cercetării rezistențelor funcție de unghiul de rotire al arborelui și poziția suprafeței materialului din toבă este condiționată de faptul că malaxoarele de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare, care sunt mai performante decât cele cu palete, sunt insuficient cercetare.

S-a cercetat influența unghiului α de rotire a arborelui cu organe de amestecare în formă de bare măsurat de la axa x în direcția mișcării acelor de ceasornic asupra rezistenței de amestecare Z . Factorii meninuți la nivel constant sunt: diametrul tobei 0,3 m; materialul din toבă nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1,25$ mm; diametrul barei 10 mm, coeficientul de umplere a tobei $K_u = 0,5$; turația arborelui $n = 60$ rot/min. Metoda de măsurare a rezistenței de deplasare a barei prin material este descrisă în subcapitolul 3.2. În tabelul 3.15 sunt prezentate rezultatele măsurătorilor rezistențelor de deplasare a unei bare prin material (valoarea medie din trei măsurări) pentru situarea orizontală a suprafeței materialului și sub un unghi egal cu unghiul de taluz natural în mișcare, iar în fig. 3.19 - reprezentarea grafică a variației rezistenței funcție de unghiul α .

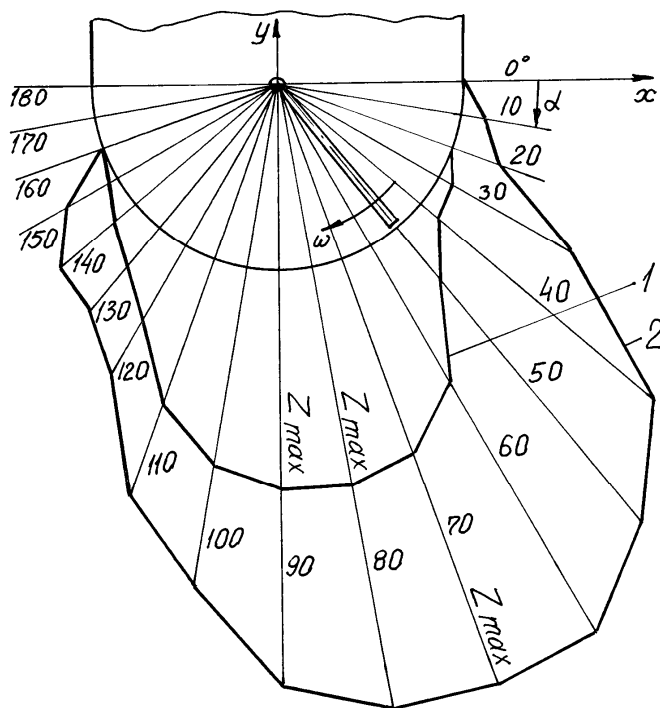


Fig. 3.19. Diagramele variației rezistenței de amestecare funcție de unghiul de rotire α a arborelui pentru suprafața amestecului: 1-încălnată; 2-orizontală.

Tabelul 3.15. Rezistența la deplasare a barei funcție de unghiul de rotire a arborelui α

Unghiul de rotire a arborelui α , grade	Rezistența de amestecare R în N pentru suprafața materialului din tobă	
	orizontală	înclinată
0	0	0
10	4,0	0
20	8,5	0
30	29,0	3
40	57,0	5
50	72,0	12,3
60	84,0	29,0
70	85,5	38,8
80	84,0	41,3
90	78,0	41,1
100	60,5	37,6
110	47,0	29,0
120	28,0	16,0
130	20,0	8,8
140	18,5	4,8
150	10,0	1,0
160	0	0

Se constată că, cu creșterea unghiului de rotire a arborelui începând de la axa x în direcția mersului acelor de ceasornic și a adâncimii de pătrundere a barei în material, rezistența de înaintare a barei crește mai întâi ne semnificativ, apoi destul de puternic. Pentru suprafața orizontală a materialului rotirea de la 10° până la 20° conduce la creșterea rezistenței numai cu 4,5 N, iar de la 30° până la 40° creșterea este de 28N, adică de 6.2 ori mai mare. Rotirea de mai departe conduce la o creștere mai slabă, și la 70° se atinge valoarea maximă a rezistenței care-i egală cu 85,5 N. La rotirea de mai departe rezistența se micșorează lin până la zero la unghiul de rotire $\alpha=160^{\circ}$.

Micșorarea rezistenței de înaintare anume după unghiul $\alpha=70^{\circ}$ are loc, după părerea noastră, din cauza schimbării direcției forței de presare a barei asupra materialului și extinderii zonei de acționare a particulelor până la suprafața materialului din partea stângă a tobei. Până la unghiul de 70° materialul este presat spre suprafața interioară a tobei destul de puternic ceea ce conduce la obținerea unei forțe mari de frecare dintre material și tobă. La trecerea de 70° forța de presare a barei se micșorează, iar la 90° devine paralelă cu orizontul și forța de frecare se micșorează considerabil.

Caracterul modificării rezistenței pe măsura majorării unghiului de rotire a arborelui pentru poziția înclinată a suprafeței materialului din tobă este asemănător cu cel descris pentru suprafața orizontală a materialului. Deosebirea constă în poziția și mărimea valorii maxime a rezistenței și limitele unghiurilor de rotire între care are loc variația rezistenței. Valoarea maximă egală cu 41,3 N este de două ori mai mică decât la situarea orizontală a suprafeței materialului și se obține la unghiul de rotire $\alpha = 80^{\circ}$. Variația rezistenței are loc în limitele unghiului $\alpha = 30...60^{\circ}$, iar la situarea orizontală – în limitele $\alpha = 0...160^{\circ}$.

Valori mai mici ale rezistențelor de înaintare a barei la situarea înclinată a materialului în tobă se lămurește prin faptul că forța de presare a barei asupra materialului și deci a materialului pe suprafața interioară a tobei este cu mult mai mică, deoarece direcția forței de presare la

intrare în materialul cu suprafața înclinată nu coincide cu direcția forței de gravitație a materialului, și forța de frecare dintre amestec și tobă se micșorează.

În comparație cu suprafața orizontală a materialului rezistența de deplasare pentru suprafața înclinată este mai mică pentru orice unghi de rotire a arborelui. Având în vedere că în procesul malaxării suprafața amestecului este totdeauna înclinată sub un unghi egal cu unghiul de taluz natural în mișcare, putem constata, că rezistența de amestecare este de două ori mai mică decât pentru poziția orizontală a materialului în tobă. De aceea încărcarea tobei cu materiale uscate trebuie efectuată numai în procesul funcționării malaxorului, ceea ce evită situarea orizontală a materialului și creșterea rezistenței.

Analizăm schimbarea rezistenței de deplasare a unui rând transversal de bare fixate pe arbore cu numărul barelor în rând egal cu 2,3,4,6 și 8 (fig. 3.20.) în material cu suprafața înclinată față de orizont. Neuniformitatea rezistenței totale de amestecare pe parcursul unei rotații se micșorează cu creșterea numărului de bare. Când pe arbore este numai o bară momentul de torsiune rezistent acționează în limitele unghiului de rotire a arborelui de la 30° până la 150° (începând de la axa x în direcția mișcării acelor de ceasornic) crescând de la zero ($\alpha < 30^\circ$) până la maximum ($\alpha = 80^\circ$; $Z=41,3$ N) și apoi micșorându-se iarăși până la zero ($\alpha > 150^\circ$). Când sunt fixate două bare diametral opuse (fig. 3.20, $n=2$) arborele este încărcat tot cu același moment de torsiune, însă de două ori pe parcursul a unei rotații: la unghiul $\alpha = 30^\circ \dots 150^\circ$ și la $\alpha = 210^\circ \dots 330^\circ$. Când pe arbore sunt situate trei bare sub un unghi una față de alta de 120° ($n = 3$) arborele este solicitat la torsiune de trei ori: la unghiul $\alpha = 30^\circ \dots 150^\circ$, la $\alpha = 150^\circ \dots 270^\circ$ și la $\alpha = 270^\circ \dots 360^\circ$. Se observă suprapunerea rezistențelor barelor la unghiurile de rotire 30° , 150° și 270° . Suprapunerea rezistențelor este mai evidențiată la situarea pe arbore a patru bare cu unghiul dintre ele egal cu 90° ($n = 4$). În acest caz suprapunerea are loc la unghiurile $30^\circ \dots 60^\circ$, $120^\circ \dots 150^\circ$, $210^\circ \dots 240^\circ$ și $300^\circ \dots 330^\circ$. Diferența dintre valoarea maximă și cea minimă se micșorează și este egală cu $37,3$ N. Cea mai uniformă încărcare a arborelui se obține la situarea pe suprafața lui a șase bare cu unghiul dintre ele egal cu 60° . Suprapunerea rezistențelor a două sau a trei bare are loc pe parcursul întregii rotații. Graficul rezistenței sumare reprezintă o linie ondulată asemănătoare cu sinusoida, iar abaterea medie pătratică S a rezistenței pe parcursul unei rotații nu depășește $2,1$ N și constituie $5,16$ % de la valoarea medie a rezistenței. Când pe arbore sunt fixate opt bare cu unghiul dintre ele egal cu 45° uniformitatea rezistenței este puțin mai rea: abaterea medie pătratică a rezistenței are valoarea de $3,08$ N ceea ce constituie $5,17$ % de la valoarea medie a rezistenței pe parcursul unei rotații. Însă această diferență este nesemnificativă.

La o rotație a arborelui malaxorului cu 6 rânduri longitudinale și 11 rânduri transversale de bare (în total 33 bare) abaterea medie pătratică constituie $13,95$ N. Coeficientul de variație respectiv este $v=10,9$ % și este mai mare decât la trecerea prin material a unui rând transversal cu 6 bare ($v=5,16$ %). Aceasta se lămurește prin faptul că distanța de la capetele barelor până la suprafața interioară a tobei diferă de la o bară la alta. Se știe, însă, că aerul dintre capătul barei și tobă influențează puternic asupra valorii rezistenței de amestecare.

Rezistența teoretică obținută prin însumarea rezistențelor a 11 rânduri transversale de bare este în medie de $1,9$ ori mai mare decât rezistența malaxorului real tot cu atâtea rânduri de bare ceea ce dovedește faptul influenței interacțiunii barelor prin intermediul materialului asupra rezistenței de amestecare și a micșorării densității masei de material.

Concluzii:

1. Distribuția rezistenței de amestecare este normală ($\chi^2 = 4,72 < \chi^2_{t=11,07}$ pentru $P = 0,05$; $f=5$).
2. La majorarea coeficientului de umplere de la $0,1$ până la $0,5$ rezistența la înaintare a barei prin material crește foarte puternic (de $5 \dots 60$ ori) în toate materialele cercetate pentru diferite raze ale tobei și diametre ale barei.

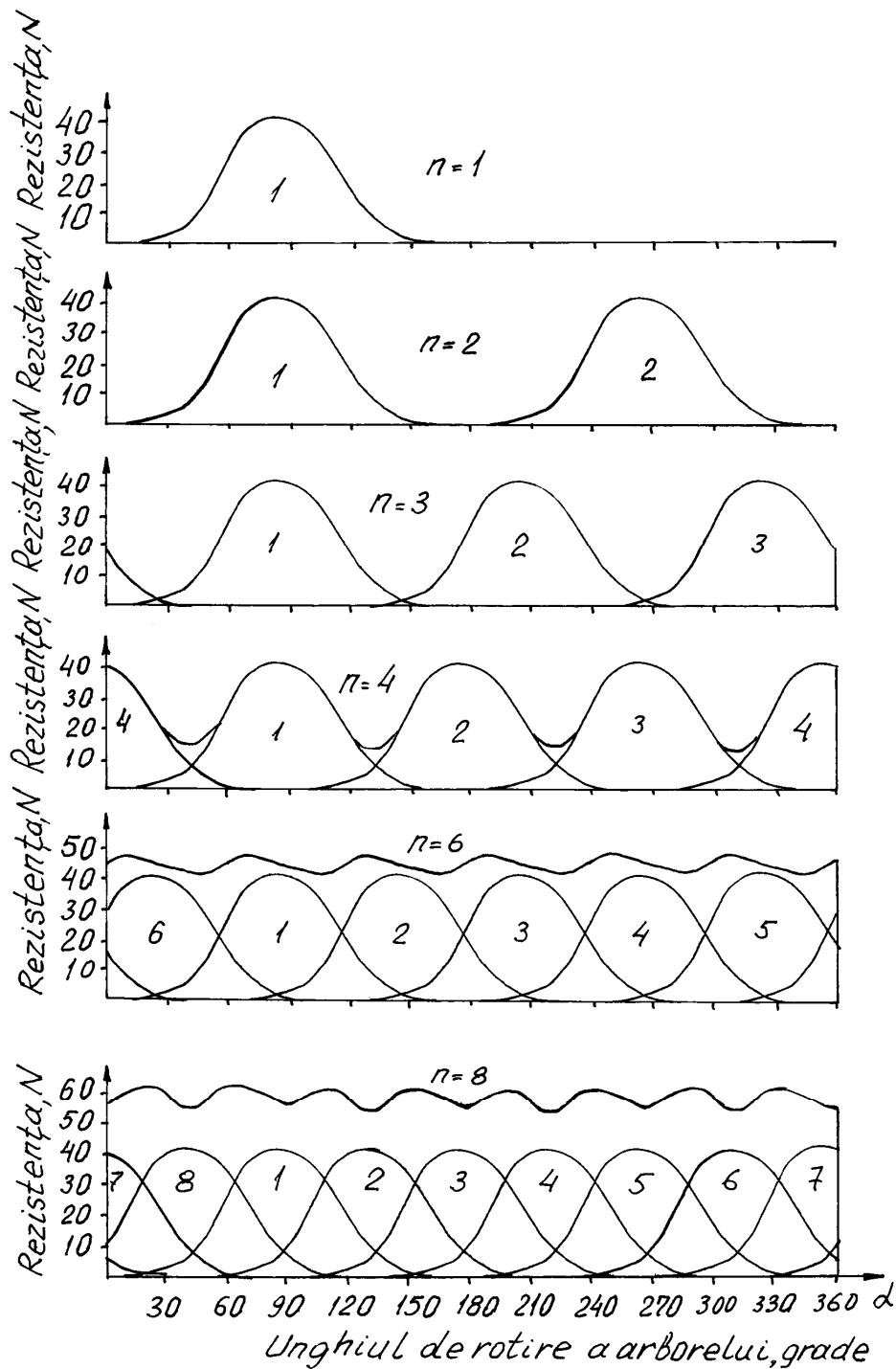


Fig.3.20. Variația rezistenței la înaintare funcție de numărul de bare în rândul transversal și de unghiul de rotire a arborelui α

3. Dependența rezistenței la deplasare a unei bare prin material de coeficientul de umplere reprezintă o parabolă. Dependența rezistenței de amestecare a malaxorului cu șase rânduri longitudinale de bare de coeficientul de umplere este direct proporțională. Tot aceeași dependență are loc și în malaxorul cu bare echipate cu un număr optimal de răzuitoare. Dependența direct proporțională a rezistenței de amestecare a malaxorului de coeficientul de

umplere se explică prin faptul că ea depinde de forța de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei care, la rândul ei, depinde direct proporțional de coeficientul de frecare.

4. Rezistența unui și aceluiași volum de material este de 1,7 ori mai mică în toba cu rază mare ($r = 0,17$ m) decât în toba cu rază mică ($r = 0,15$ m). Aceasta ne dovedește că este mai avantajoasă utilizarea tobelor cu diametrul mare și coeficient de umplere mai mic.

5. La majorarea turației arborelui malaxorului de la 60 până la 220 rot/min rezistența la înaintare nu-și schimbă valoarea pentru coeficienții de umplere de la 0,2 până la 0,35 și se micșorează cu 5...13 % la coeficienți de umplere de la 0,5 până la 0,8.

6. Micșorarea unghiului de așchiere a barei malaxorului conduce la micșorarea rezistenței de înaintare datorită apariției consecutive a valorii maxime a rezistenței de înaintare pe diferite porțiuni ale barei și posibilității alunecării particulelor pe suprafața frontală a barei la unghiuri de așchiere mai mici de 60° . Creșterea concomitentă a unghiului de așchiere și a coeficientului de umplere conduce la creșterea rezistenței la înaintare.

7. Majorarea umidității relative a materialului conduce la majorarea rezistenței de amestecare, apoi la micșorarea bruscă a ei. Valoarea maximă a rezistenței de amestecare se atinge la umiditatea de 10 - 15 % (nisip) și de 20 % (mărunțiș de calcar), ultima datorându-se unei suprafețe mai mari a particulelor.

8. La trecerea barei prin amestec rezistența de înaintare crește până la o valoare maximă la rotirea la 70° de la axa x în direcția acelor de ceasornic, apoi se micșorează datorită schimbării direcției forței de presare a barei asupra materialului și extinderii zonei de acționare a particulelor până la suprafața materialului.

9. Rezistența de amestecare a materialului cu suprafața înclinată față de orizont sub un unghi egal cu unghiul de taluz natural în mișcare este de 1,4...1,8 ori mai mică decât în materialul cu suprafața orizontală și se datorează faptului că direcția forței de presare la intrarea barelor în material nu coincide cu direcția forței de gravitație a materialului ceea ce conduce la micșorarea forței de frecare dintre amestec și tobă. Încărcarea tobei cu materiale uscate trebuie efectuată numai în procesul rotirii arborelui malaxorului.

10. Cea mai uniformă încărcare a arborelui malaxorului se obține la situarea pe suprafața lui a șase rânduri longitudinale de bare. Abaterea medie pătratică a rezistenței constituie 13,95 N, iar coeficientul de variație - 10,9 % (malaxor cu 11 rânduri transversale de bare).

11. Rezistența teoretică obținută prin însumarea rezistențelor a 11 rânduri transversale de bare este în medie de 1,9 ori mai mare decât rezistența malaxorului real tot cu atâtea rânduri de bare ceea ce dovedește faptul influenței interacțiunii barelor prin intermediul materialului asupra rezistenței de amestecare și a micșorării densității masei de material.

4. Interacțiunea barelor cu mediul de lucru

Într-un mediu material particulele constituente interacționează. Din această cauză o perturbație produsă într-un punct oarecare determină excitarea particulelor vecine. 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 o are și interacțiunea între bare realizată prin intermediul câmpurilor fizice de particule. Acțiunea reciprocă între două și mai multe bare influențează direct asupra rezistenței de înaintare a barelor prin mediul de lucru și asupra procesului de mișcare relativă a particulelor. Zona de acțiune 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 s-a cercetat influența numărului de bare și a pasului lor longitudinal asupra rezistenței la înaintare prin diferite materiale. Totodată, barele au fost amplasate pe suprafața arborelui pe o linie paralelă cu axa lui și în alt caz pe o linie elicoidală. Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru s-a determinat în conformitate cu metoda descrisă în subcapitolul 3.2.

4.1. Bare situate într-un rând longitudinal pe suprafața arborelui

Experiențele s-au efectuat folosind mediul de lucru care reprezintă nisip de râu cu dimensiunile particulelor $a \leq 1$ mm în tobă cu secțiunea semicerc-dreptunghi cu coeficientul de umplere $K_u = 0,5$, raza tobei $R = 0,15$ m, diametrul barelor $d = 10$ mm. Pasul barelor în lungul axei arborelui a fost de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 160, 180, 240, 340, 450 și 540 mm. Numărul de bare în rând a fost 2, 3, 4 și 5. Barele se înșurubau în găurile cu filet situarea cărora pe suprafața arborelui este reprezentată în fig. 4.1. Numărul de experiențe paralele este 6.

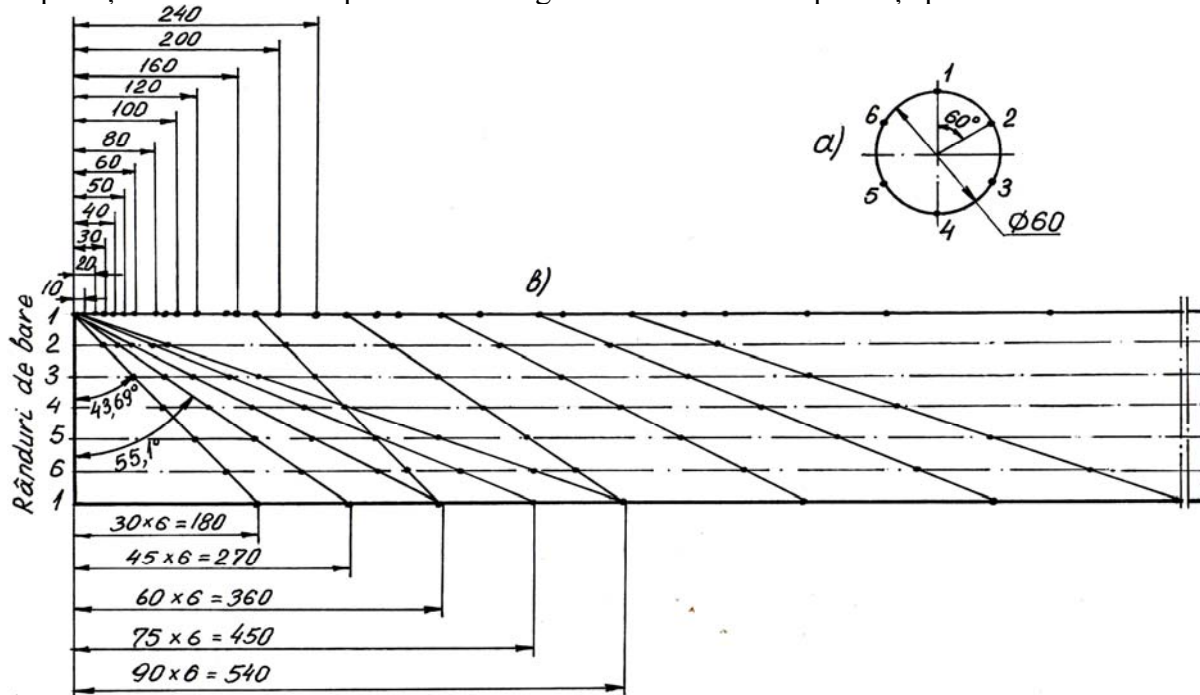


Fig. 4.1. Schema situării barelor pe suprafața arborelui: a) secțiunea arborelui; b) desfășurarea suprafeței arborelui pe plan.

Nivelul materialului în tobă a fost înclinat.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 4.1, iar în mod grafic - în fig. 4.2 și 4.3. Rezistența la înaintare prin nisip numai a unei bare constituie 117,2 N.

La majorarea numărului de bare rezistența la înaintare totală crește (fig. 4.2). Legitatea schimbării rezistențelor pentru pasuri de la 10 până la 120 mm este asemănătoare: creștere lină de la două bare până la patru, apoi creștere mai rapidă de la 4 bare până la 5. Pentru pasurile 160, 240 și 340 mm creșterea rezistenței este continuă și foarte mare pentru toate numerele de bare.

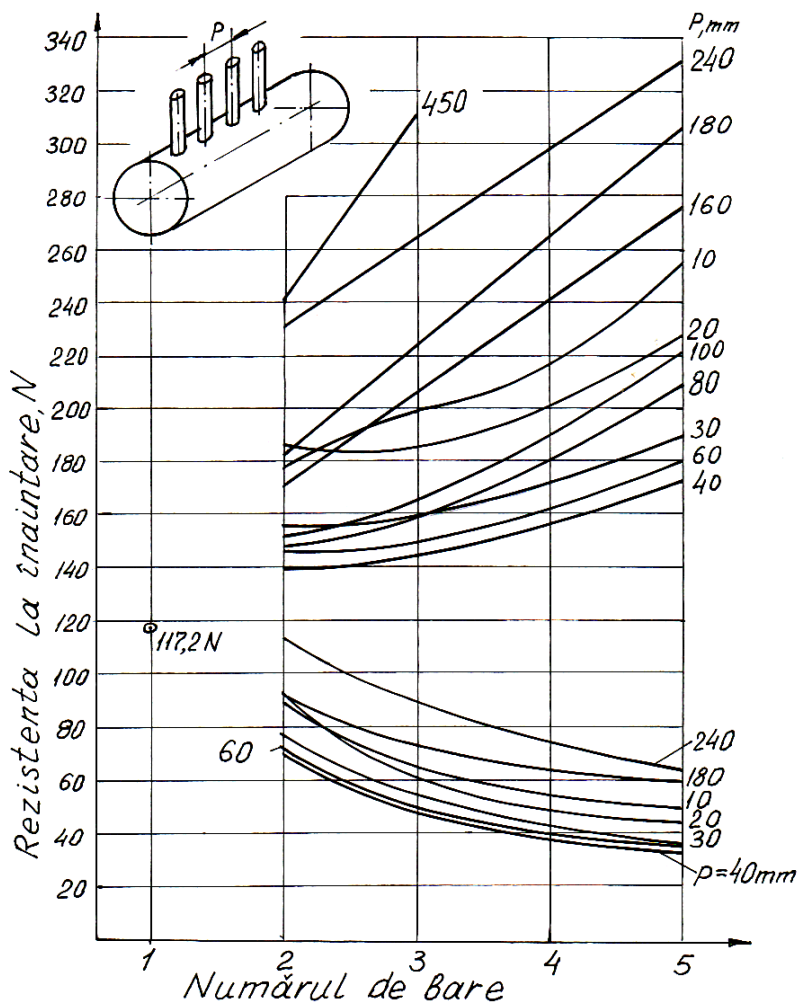


Fig. 4.2. Rezistența la înaintare funcție de numărul de bare și pasul lor longitudinal (mai jos de linia 120 N sunt prezentate rezistențele raportate la o bară)

Pasul barelor are o influență deosebită asupra rezistenței la înaintare (fig. 4.3). Când pasul este egal cu 10 mm (distanța dintre bare este egală cu zero) rezistența are valori destul de mari. La majorarea pasului barelor rezistența se micșorează foarte simțitor și atinge valoarea minimă când pasul este de 60 mm pentru nivelul înclinat al lui. Majorarea de mai departe a pasului conduce la creșterea rezistenței la înaintare. Această legitate se respectă pentru toate numerele de bare cercetate.

Valorile mari ale rezistenței la distanță minimă dintre bare (raportul $p/d = 1$, unde p este pasul barelor, iar d diametrul barelor) se datorează faptului că barele împing înaintea lor masa de material fără divizarea acesteia. La majorarea pasului printre bare începe să treacă o parte de

Tabelul 4.1. Rezistența la înaintare în N
funcție de numărul de bare și pasul lor longitudinal

Numărul de bare	Pasul barelor, mm														
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	160	180	240	340	450	540
2	180	187	155	140	144	147	146	149	148	168	183	231	241	242	243
	90*	93,5	77,5	70	72	73,5	73	74,5	74	84	91,5	115,5	120,5	121	121,5
3	200	185	140	162	149	151	167	179	197	222	235	298	317	314	–
	66,7	61,7	46,7	54	49,7	50,3	55,7	59,7	65,7	74	78,3	99,3	105,7	104,7	–
4	216	201	183	151	158	160	167	182	207	236	255	301	320	–	–
	54	50,3	45,8	37,8	39,5	40	41,8	45,5	51,8	59	63,8	75,3	80	–	–
5	256	228	189	174	200	181	211	225	247	276	306	327	–	–	–
	51,2	45,6	37,8	34,8	40	36,2	42,2	45	49,4	55,2	61,2	65,4	–	–	–

* la numitor este prezentată rezistența raportată la o bară din cele situate în material

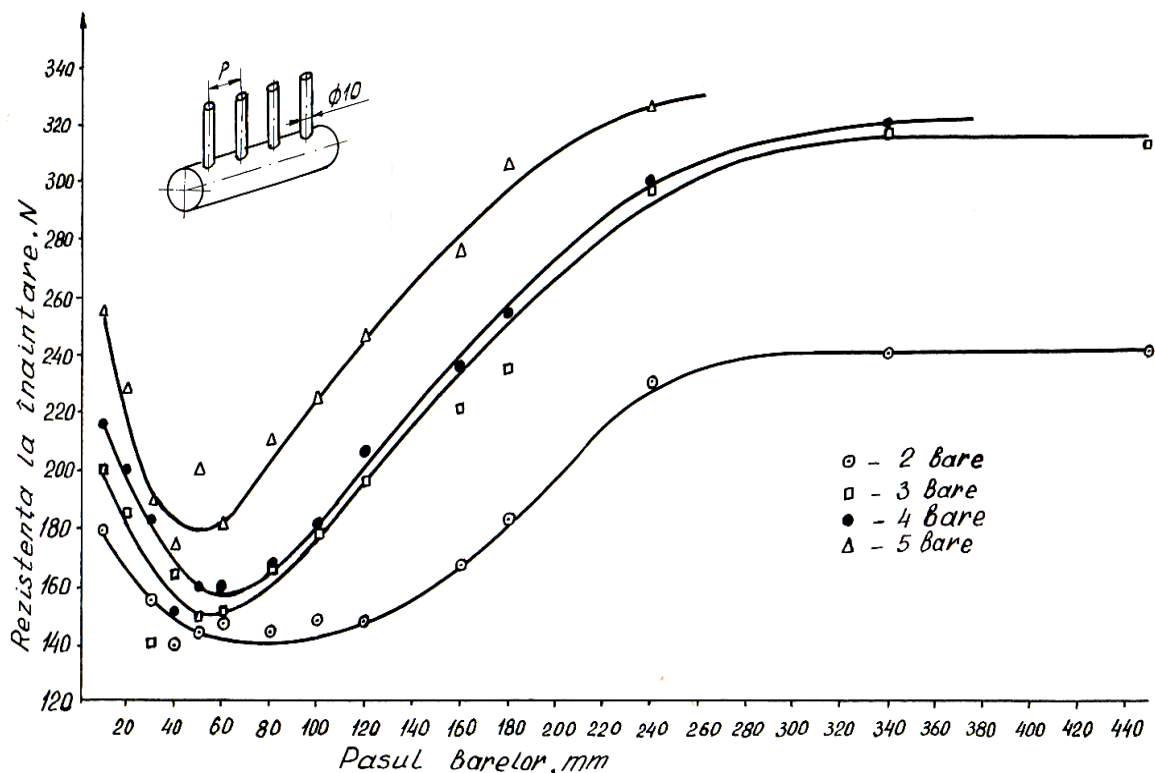


Fig. 4.3. Rezistența la înaintare funcție de pasul longitudinal al barelor și numărul lor pe arbore

material și aceasta conduce la micșorarea rezistenței la înaintare. Valoarea minimă se obține când raportul p/d este egal cu 5...8. În acest caz mobilitatea materialului dintre bare este destul de înaltă datorită acționării asupra lui a barelor megieșe – are loc interacțiunea barelor în procesul trecerii lor prin material.

Procesul de majorare a mobilității materialului se poate lămuri în felul următor. Când prin material trece numai o bară volumul acționat de ea în care particulele se pun în mișcare este V_1 (fig. 4.4,a). Dacă, concomitent, la o distanță oarecare, trece și altă bară, atunci ea va acționa volumul V_2 (fig. 4.4,b). Când barele se găsesc destul de aproape aceste volume se suprapun (fig. 4.4,c). Volumul suprapus va fi V_3 (hașurare în cruciș). Forțele de acționare a particulelor f_1 și f_2 sunt îndreptate radial de la centrul barelor spre periferia zonelor.

Acționarea concomitentă a particulelor volumului V_3 de către forțele din stânga și din dreapta sub diferite unghiuri față de direcția de deplasare în funcție de situarea particulei contribuie la afânarea masei de material și creșterea mobilității lui. Mobilitatea materialului din zona V_3 este mai înaltă decât în zonele V_1 și V_2 . Mobilitatea mărită a materialului din zona V_3 contribuie la micșorarea rezistenței la deplasare a barelor.

Când distanța dintre bare se mărește, zona V_3 cu mobilitate mărită a particulelor se micșorează, interacțiunea barelor diminuează și rezistența crește (fig. 4.3). La pasul barelor egal aproximativ cu 300 mm pentru 2 bare și 320...340 mm pentru 3 și 4 bare 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 (fig. 4.4).

$$p = \frac{B}{2} + \frac{B}{2} = B. \quad (4.1)$$

Rezistența raportată la o bară se micșorează cu mărirea numărului de bare. Aceasta are loc, după părerea noastră, din următoarea cauză. Când în material intră concomitent mai multe bare (fig. 4.5), zonele lor de acționare în material se intersectează în așa mod că influența unei bare se

transmite nu numai zonei de acțiune a barei vecine, ci și mai departe. Și invers, materialul acționat de o bară este concomitent

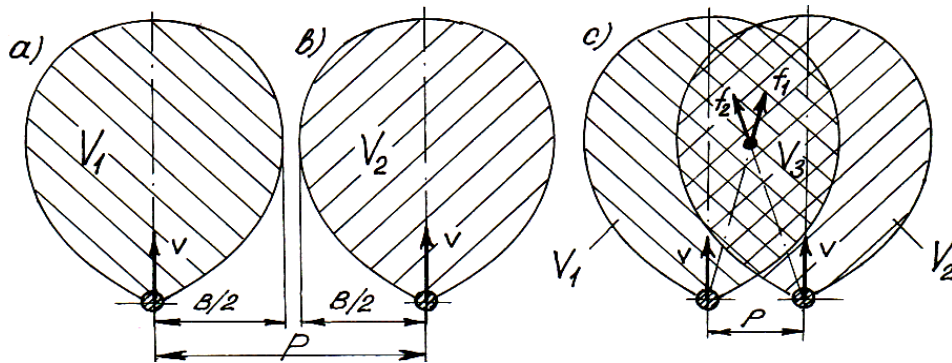


Fig. 4.4. Schema acțiunii materialului de către bare

acționat de barele vecine și de cele situate mai departe. Aceasta conduce la majorarea mobilității materialului și micșorarea rezistenței raportate.

Cercetările efectuate într-un malaxor cu 33 bare situate în șah pe suprafața arborelui în condiții egale cu cele precedente au demonstrat că rezistența la înaintare a barelor malaxorului (16 bare în material) are aceeași valoare ca și rezistența numai a unei singure bare. Aceasta dovedește încă o dată faptul existenței și importanței interacțiunii barelor în procesul malaxării.

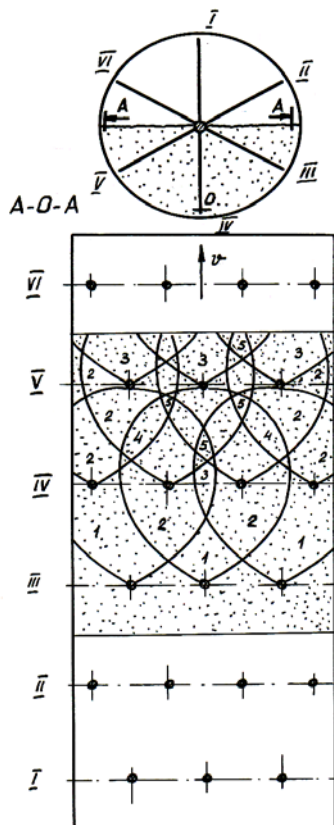


Fig. 4.5. Schema interacțiunii barelor prin intermediul materialului din tobă: I-VI – numărul de rânduri longitudinale de bare; 1 – acțiunea materialului de către o bară; 2...5 – numărul de interacțiuni ale zonelor de material

Rezistența la înaintare în material cu nivelul orizontal este cu mult mai mare decât în materialul cu suprafața înclinată față de orizont. Această se datorează faptului că, la intrarea barelor în material cu nivelul orizontal are loc mai întâi presarea materialului și după aceasta împingerea lui

în jos și în stânga (fig. 4.6). În procesul presării cu forța P particulele de nisip transmit această forță tobei ceea ce contribuie la creșterea forței de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei. Componenta orizontală a forței de presare P_0 este egală în acest moment cu zero. Din cauză presării zona de acționare a barei asupra materialului se mărește, se mărește și forța de frecare dintre particule.

După intrarea barei în material componenta orizontală P_0 crește, iar cea verticală P_v se micșorează. Cercetările au demonstrat că rezistența crește până când unghiul de rotire a barei de la poziția orizontală (axa x) devine egal cu $\alpha_{\max} = 70...80^0$, apoi la rotirea de mai departe rezistența se micșorează. Această micșorare a rezistenței la înaintare se lămurește prin aceea că componenta verticală P_v a forței de presare se micșorează și, deci, se micșorează și forța de frecare dintre particule, material și suprafața interioară a tobei. Totodată, stratul de material din fața barei se micșorează, iar granițele periferice ale zonei de acționare se apropie de suprafața exterioară a materialului și apoi ies din material. Deci lungimea arcului BC (fig. 4.6) reprezintă aproximativ grosimea zonei de material acționat de bară în direcția deplasării barei și poate fi determinată cu formula

$$L_{BC} = \frac{L}{4} + \frac{L}{4} \left(\frac{90 - \alpha_{\max}}{90} \right), \quad (4.2)$$

unde L – lungimea circumferinței cu diametrul D ;

α_{\max} – unghiul de rotire a barei la care se obține valoarea maximă a rezistenței la înaintare.

Pentru $\alpha_{\max} = 80^0$ lungimea $L_{BC} = 0,262$ m și este puțin mai mică decât grosimea zonei de material acționată de bară și măsurată perpendicular pe direcția deplasării barei (subcapitolul 5.5).

Când unghiul de rotire a barei devine egal cu 90^0 asupra materialului acționează numai componenta orizontală a forței P și pentru deplasarea zonei de material în stânga este necesar de a învinge rezistențele de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei, care se datorează forțelor de gravitație a masei de material de dinaintea barei, și rezistențele de frecare dintre particulele materialului. La rotirea de mai departe ($\alpha > 90^0$) bara împinge materialul în sus și, în așa mod, ea învinge rezistențele de frecare dintre particule, forța de gravitație a materialului din fața barei și forța de frecare dintre material și tobă.

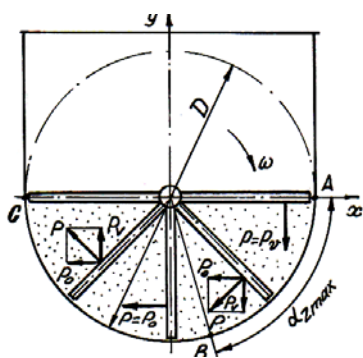


Fig.4.6. Schema acționării barei asupra materialului din tobă

4.2. Bare situate pe suprafața arborelui pe o linie elicoidală

Unghiul dintre rândurile longitudinale de bare este de 60^0 . Pasul barelor măsurat în lungul axei malaxorului este de 30, 45, 60, 75 și 90 mm. Diametrul barelor - 10 mm, coeficientul de umplere a tobei $K_u = 0,5$, materialul din malaxor este nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1,25$ mm. Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 4.2, iar reprezentarea lor grafică – în fig. 4.7.

Tabelul 4.2. Rezistența la înaintare
funcție de numărul de bare pe linia elicoidală

Numărul de bare		Rezistența în N pentru pasul barelor p în mm									
total	în material	30		45		60		75		90	
		Z_t	Z'	Z_t	Z'	Z_t	Z'	Z_t	Z'	Z_t	Z'
1	1	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
2	2	128	64	103	52	107	54	123	62	156	78
3	3	122	41	94	31	97	32	100	33	139	46
4	4	104	26	104	26	111	28	109	27	138	35
5	4	108	27	116	29	103	26	116	29	148	37
6	4	100	25	118	30	111	29	141	35	151	38
7	5	157	31	159	32	167	33	194	39	218	44
8	6	159	27	172	29	174	29	218	36	234	39
9	7	156	22	157	22	183	26	214	31	234	33
10	8	152	19	154	19	184	23	214	27	234	29
11	8	148	19	166	21	181	23	211	26	247	31
12	8	160	20	166	21	190	24	223	28	260	33
13	9	211	23	199	22	247	27	280	31		
14	10	212	21	225	23	247	25	262	26		
15	11	221	20	226	21	254	23	274	25		
16	12	221	18	224	19	243	20				
17	12	221	18	234	20	246	21				
18	12	248	21	262	22	262	22				
19	13	300	23	294	23						
20	14	300	21	308	22						
21	15	287	19								
22	16	295	18								

Z_t – rezistența tuturor barelor

Z' - rezistența raportată la o bară din cele situate în material

La majorarea numărului de bare pe linia elicoidală, rezistența la înaintare a lor se micșorează foarte simțitor. Valoarea minimă se obține când numărul de bare este 3 (afară de pasul barelor egal cu 30 mm), apoi rezistența crește lin până la numărul de bare egal cu 6. Când pe arbore sunt șapte bare rezistența crește brusc. Aici se termină prima spiră a liniei elicoidale. Prima și a șaptea bară sunt situate pe una și aceeași linie care-i paralelă cu axa arborelui. Aceste două bare înving concomitent rezistența materialului neacționat de alte bare din stânga primei bare și din dreapta barei a șaptea, și, din această cauză, rezistența crește brusc.

La mărirea de mai departe a numărului de bare rezistența descrește pentru barele cu pasul egal cu 30 și 45 mm și crește nu prea mult pentru celelalte pasuri. Când numărul de bare este 11 și 12 pentru toate pasurile are loc creșterea rezistenței, iar la numărul de bare egal cu 13 creșterea este bruscă. Aici se termină spira a doua a liniei elicoidale: barele 1 și 13 sunt situate pe o linie paralelă cu axa arborelui. La spira a treia procesul de schimbare a rezistențelor este asemănător. Majorarea bruscă a rezistențelor are loc când în material intră concomitent barele care se găsesc la începutul și la finele fiecărei spire elicoidale și pe o linie paralelă cu axa arborelui.

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

Efectul micșorării rezistențelor sau a creșterii line a lor la majorarea numărului de bare se observă la fiecare spiră elicoidală și se lămurește prin aceea că bara precedentă acționează zona

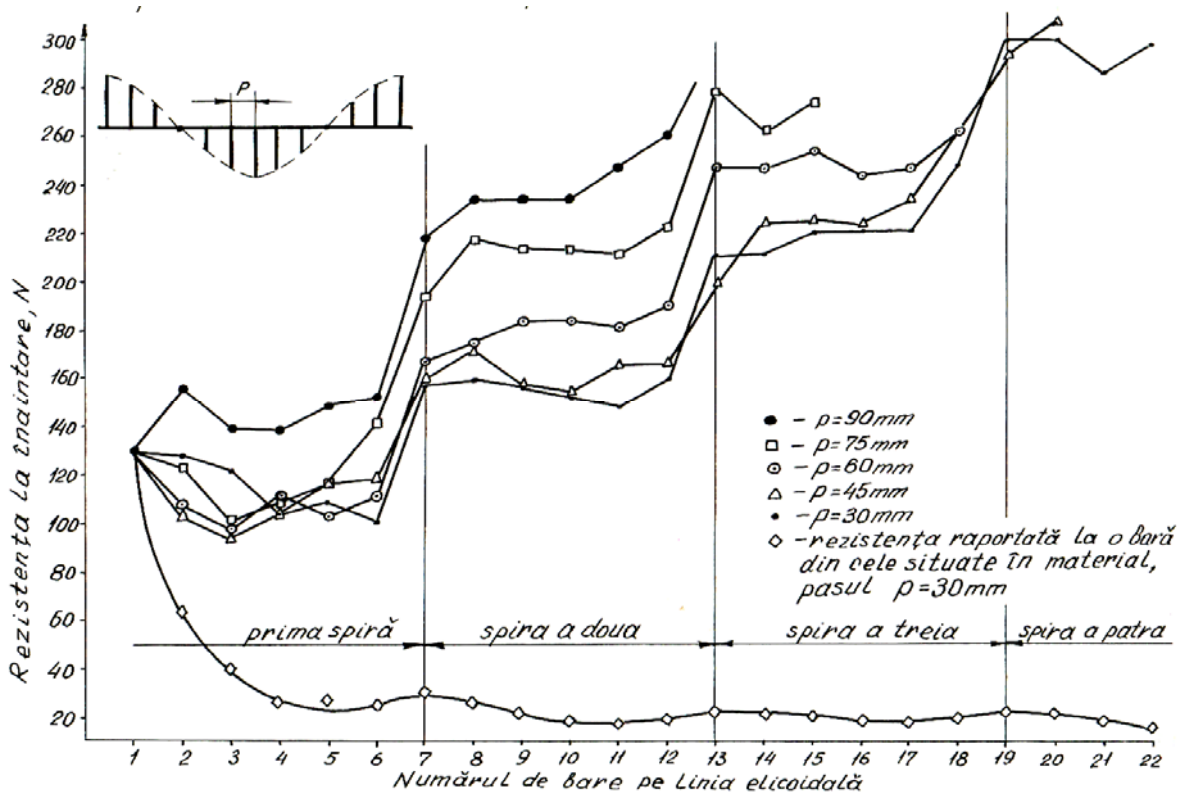


Fig. 4.7. Rezistența la înaintare funcție de numărul de bare pe linia elicoidală și pasul lor longitudinal

de material situată în față și în părțile laterale. Bara următoare trece prin materialul deja parțial afânat de cea precedentă și de aceea întâmpină o rezistență foarte mică.

După cum s-a demonstrat în subcapitolul 4.1, pasul barelor $p=45\text{...}50$ mm este optimal din punct de vedere al micșorării rezistențelor pentru bare situate pe o linie paralelă cu axa malaxorului și în număr mai mare ca 2. Acest efect joacă un rol destul de semnificativ și pentru bare situate pe o linie elicoidală. Rezistența minimă se observă la pasul barelor $p=30\text{...}45$ mm.

Rezistența raportată la o bară din cele care se găsesc în material se micșorează de cinci ori în comparație cu rezistența numai a unei bare când numărul de bare crește de la unu până la patru, apoi se mărește puțin la finele primei spire elicoidale. Mărirea de mai departe a numărului de bare conduce la micșorarea lină a rezistenței raportate de la o spiră la alta. Când pe linia elicoidală sunt 19 bare (13 din ele în material) rezistența raportată la o bară situată în material este de 5,8 ori mai mică decât rezistența unei singure bare. La mărirea de mai departe a numărului de bare, rezistența raportată se schimbă foarte puțin și devine aproximativ constantă.

4.3. Rezistența de amestecare în malaxorul pentru mortar

Experiențele efectuate în prealabil au dat posibilitate de a selecta factorii cu ponderea cea mai mare de influență asupra rezistențelor de amestecare care apar în malaxoarele cu organe de amestecare în formă de bare. Acești factori sunt (valori naturale): $\tilde{\alpha}$ - unghiul dintre rândurile longitudinale de bare ($\tilde{\alpha} = 120 \pm 60^\circ$); \tilde{p} - pasul barelor în lungul axei malaxorului sau distanța dintre rândurile transversale de bare ($\tilde{p} = 45 \pm 15\text{mm}$); \tilde{n} - turația arborelui ($\tilde{n} = 120 \pm 60\text{min}^{-1}$); $\tilde{K}u$ - coeficientul de umplere a tobei cu amestec ($\tilde{K}u = 0,45 \pm 0,15$). Factorii menținuți la nivel constant: diametrul barei - 10 mm, diametrul circumferinței descrise de capetele barelor - 300 mm, lungimea tobei 316 mm, mediul de lucru - nisip de râu cu dimensiunea particulelor $a \leq 2$ mm și umiditatea 5...6 %.

A fost efectuat un număr de 24 de măsurători în conformitate cu planul D – optimal de tipul B₄ [38]. Acest plan este în nemijlocita apropiere de planurile D – optimale și include experimentul factorial deplin de tipul 2⁴ în vârfurile hipercubului și 8 puncte situate în centrele fețelor tridimensionale. Matricea de planificare și rezultatele experimentale sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Planul de tipul B₄ pentru patru factori

Nr. crt	Sucesiunea realizării	Codul	Rezistența, N	Nr. crt	Sucesiunea realizării	Codul	Rezistența, N
1	2	3	4	1	2	3	4
1	2	(1)	68	13	12	ab	68
1	2	3	4	1	2	3	4
2	5	d	200	14	14	abd	260
3	3	c	76	15	11	abc	70
4	7	cd	220	16	22	abcd	240
5	10	b	40	17	15	αa	164
6	1	bd	112	18	24	-αa	64
7	6	bc	36	19	20	αb	84
8	9	bcd	100	20	23	-αb	180
9	4	a	84	21	21	αc	64
10	13	ad	384	22	19	-αc	76
11	19	ac	82	23	18	αd	180
12	16	acd	380	24	17	-αd	22

Situarea barelor pe suprafața desfășurată a arborelui conform planului B₄ este prezentată în fig.4.8. Măsurarea rezistenței de amestecare s-a efectuat în conformitate cu metodica descrisă în subcapitolul 3.2.

S-a obținut polinomul de gradul doi care descrie adecvat procesul de amestecare (factorii sunt codificați)

$$Y = 88,6 + 45,3\alpha - 36,9p - 1,3n + 85,0Ku + 25,4\alpha^2 + 43,4p^2 - 18,6n^2 + 12,4Ku^2 - \alpha p - 2,25\alpha n + 34,25\alpha Ku - 3,5pn - 23,5pKu - 1,25nKu. \quad (4.3)$$

Valorile critice ale coeficienților: b_{ocr}=6,51; b_{icr}=3,2; b_{iicr}=8,56; b_{ijcr}=3,4 (dispersia reproductibilității S²{Y}=10).

Coeficienții b₃, b₁₂, b₁₃ și b₃₄ după valoarea absolută sunt mai mici decât valorile critice corespunzătoare și se egalează cu zero. Modelul matematic final este

$$Y = 88,6 + 45,3\alpha - 36,9p + 85,0Ku + 25,4\alpha^2 + 43,4p^2 - 18,6n^2 + 12,4Ku^2 + 34,25\alpha Ku - 3,5pn - 23,5pKu. \quad (4.4)$$

Corespunderea modelului obținut procesului de amestecare studiat s-a estimat cu ajutorul criteriului Fisher

$$F_{\text{exp}} = 17,12 < F_{\text{tab}} = 19,38 \left\{ \begin{array}{l} f_{\text{nc}} = 13 \\ f_1 = 2 \\ \alpha = 0,05 \end{array} \right\}.$$

Deoarece valoarea experimentală a criteriului este mai mică decât cea teoretică, tragem concluzia că modelul polinomial obținut descrie adecvat procesul de amestecare.

Analizând modelul vedem că cea mai mare influență asupra rezistenței de amestecare o au coeficientul de umplere Ku, unghiul dintre rândurile longitudinale de bare α și pasul barelor p. La majorarea coeficientului Ku și a unghiului α rezistența se mărește, iar la creșterea pasului p

rezistența se micșorează. Cele mai semnificative efecte pătratice sunt efectele de pe lângă p^2 și α^2 . Interacțiunea factorilor αKu și pKu este cea

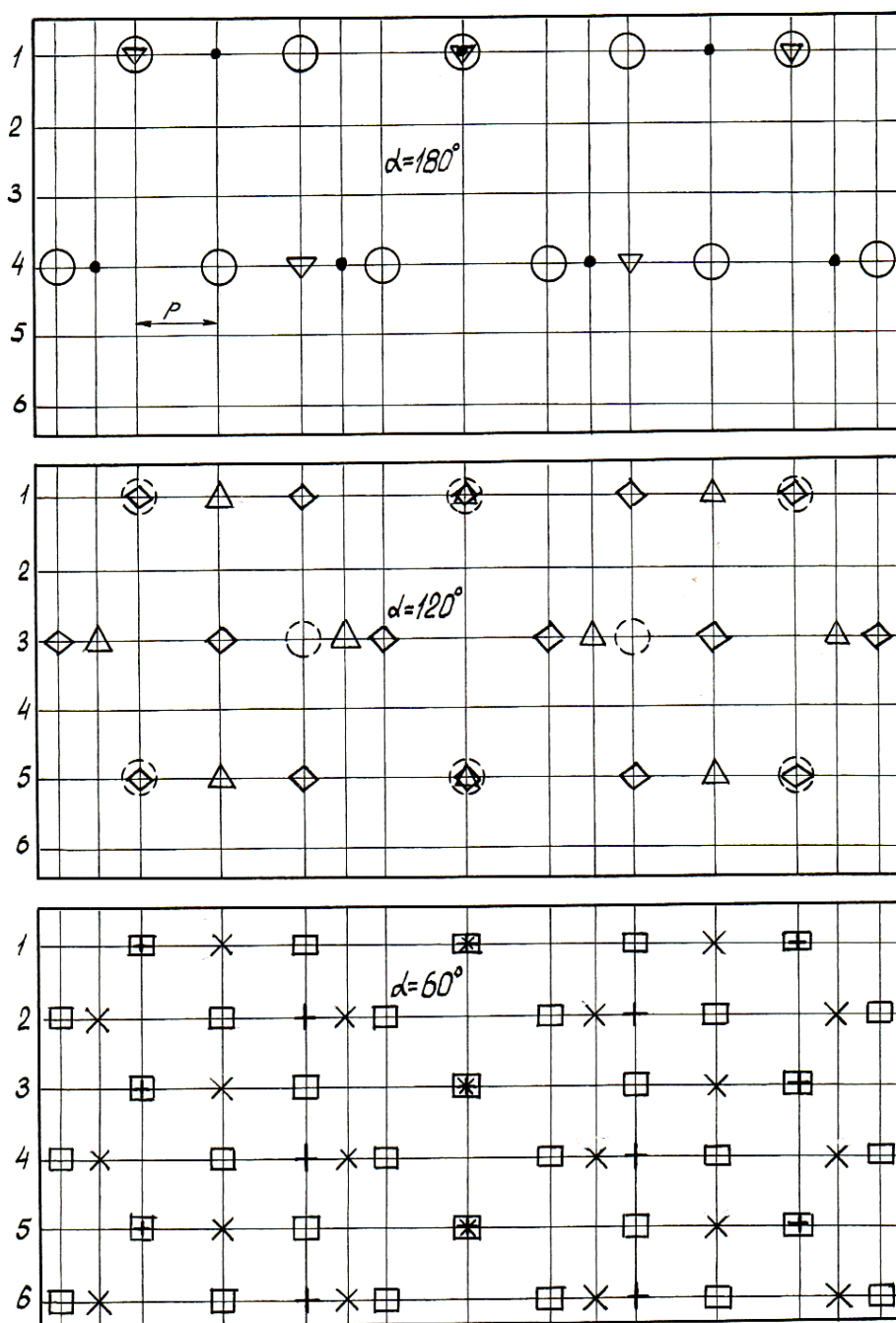


Fig. 4.8. Locurile de fixare a barelor pe suprafața desfășurată a arborelui conform planului B_4 : 1-6 – numărul rândurilor longitudinale de bare

mai valoroasă. La majorarea concomitentă a unghiului dintre rândurile longitudinale de bare și a coeficientului de umplere Ku are loc creșterea rezistenței de amestecare deoarece efectul interacțiunii αKu are semnul plus.

Tabelul 4.4. Explicații la planul de tipul B₄ și la fig. 4.8

Numărul rândului longitudinal de bare	Indicarea locului de fixare a barei	Unghiul α , grade	Pasul barelor p , mm	Numărul de experiențe	Numărul de bare
1;4	●	180	45	1	7
1;4	▽	180	60	4	5
1;4	○	180	30	4	11
1;3;5	⊖	120	60	1	8
1;3;5	◇	120	30	1	16
1;3;5	△	120	45	4	10
1 – 6	+	60	60	4	15
1 – 6	□	60	30	4	33
1 – 6	×	60	45	1	21

Pentru evidențierea influenței fiecărui factor aparte asupra rezistenței de amestecare s-au construit dependențele grafice $Y=f(x_i)$ prezentate în fig. 4.9. Dependența grafică a

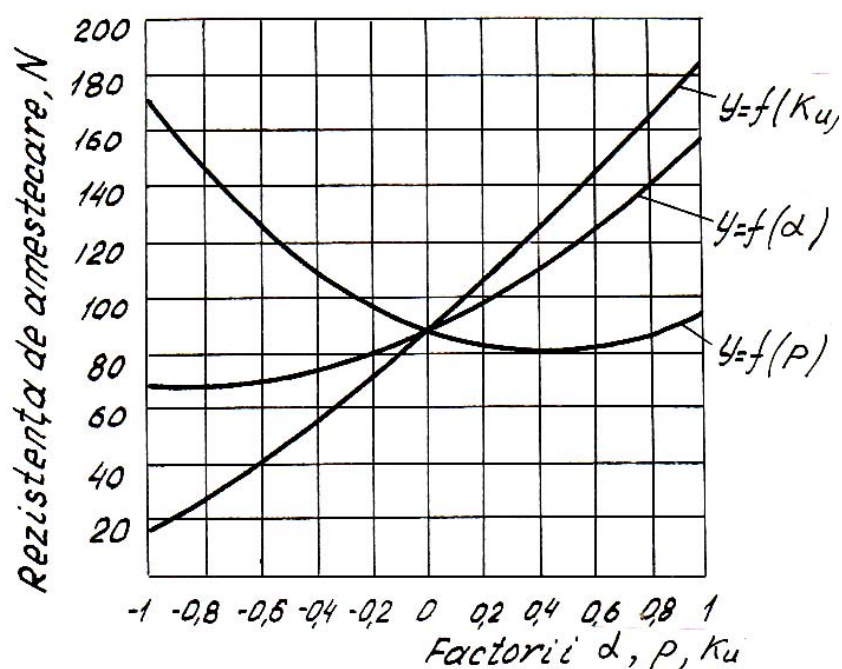


Fig. 4.9. Dependența rezistenței de amestecare de factorii α , p și K_u

fiecărui factor s-a construit menținând ceilalți la nivelul zero codificat. Vedem că cea mai mare curbă o are linia care descrie influența pasului barelor p și se lămurește prin faptul că efectul pătratic al acestui factor este cel mai mare. La majorarea pasului barelor p rezistența se micșorează, apoi viteza de micșorare diminuează și la $p \geq +0,4$ rezistența începe să crească. Acest fenomen se datorează interacțiunii barelor. La majorarea unghiului dintre rândurile longitudinale de bare α , rezistența nu se schimbă suficient până la valoarea $\alpha = -0,5$, apoi rezistența crește și pentru $\alpha =$

+ 1 ($\tilde{\alpha}=180^\circ$) ea devine egală cu 160 N. Această creștere se datorează gradului mai mic de afânare a materialului

de către bare. Creșterea rezistenței de amestecare la majorarea coeficientului de umplere K_u se datorează mării volumului de material acționat de către bare și forței de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei malaxorului.

Pentru evidențierea influenței interacțiunilor factorilor asupra rezistenței de amestecare s-au construit nomograme care demonstrează în mod grafic influența interacțiunilor αp , αK_u și pK_u asupra rezistenței de amestecare (fig. 4.10–4.12).

Rezistența de amestecare se mărește de la 61 N până la 220 N (fig. 4.10), la majorarea unghiului α și micșorarea concomitentă a pasului p . Mărirea pasului de la 30 până la 54 mm conduce la micșorarea rezistenței pentru toate unghiurile

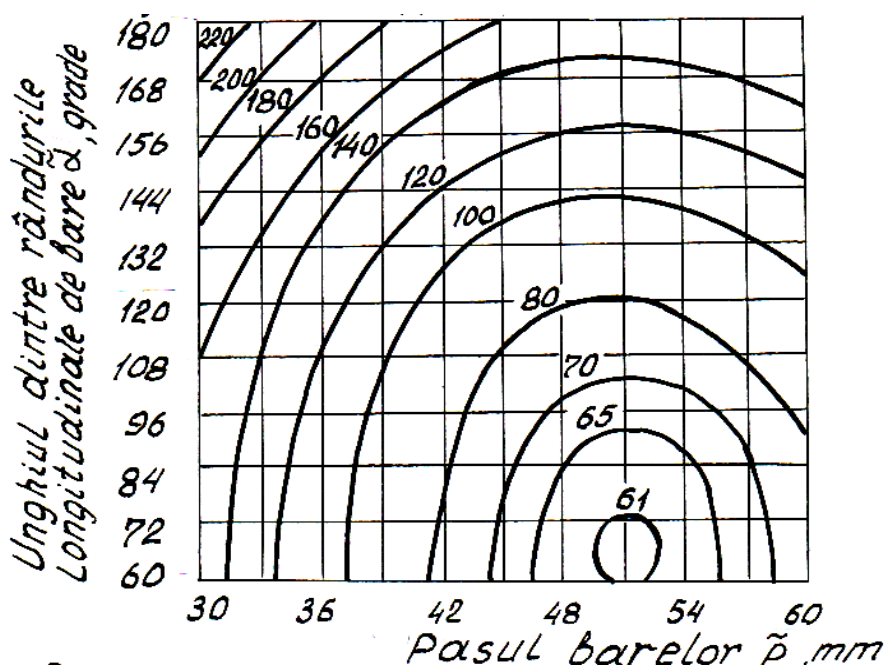


Fig. 4.10. Rezistența de amestecare funcție de α și p

α , însă când pasul este mai mare de 54 mm rezistența începe să crească. Pentru diferite valori ale pasului p la unghiuri mici dintre rândurile longitudinale de bare α rezistențele sunt mai mici.

La majorarea coeficientului de umplere K_u (fig. 4.11), rezistența de amestecare crește pentru unghiul dintre rândurile longitudinale de bare $\tilde{\alpha} = 60^\circ$ de la 30 până la 130 N, iar pentru $\tilde{\alpha} = 180^\circ$ - de la 50 până la 280 N.

Majorarea concomitentă a unghiului dintre rândurile longitudinale de bare α și a coeficientului de umplere K_u contribuie la o creștere mai mare a rezistențelor: de la 30 până la 280 N. La coeficienți mici de umplere $\tilde{K}_u = 0,3 \dots 0,36$, majorarea unghiului α influențează foarte slab asupra rezistenței, însă când coeficientul de umplere $\tilde{K}_u = 0,6$ unghiul α influențează foarte puternic - rezistența crește de la 130 până la 280 N. Pentru coeficienți de umplere mari și unghiuri mici dintre rândurile longitudinale de bare rezistențele de amestecare sunt relativ mici.

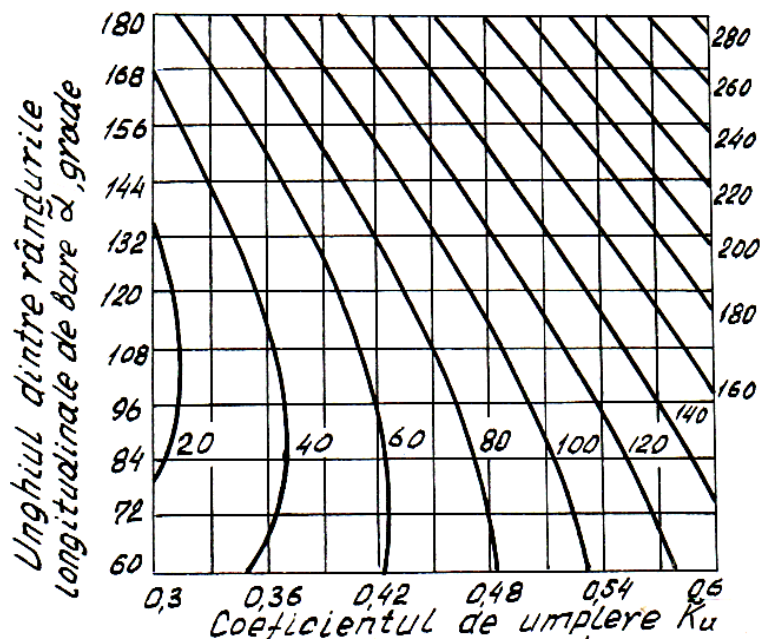


Fig. 4.11. Rezistența de amestecare funcție de αKu

Nomograma (fig. 4.12) descrie influența interacțiunii pKu asupra rezistenței de amestecare. La majorarea coeficientului de umplere Ku (pasul longitudinal al barelor $p = \text{const.}$) rezistența de amestecare crește pentru orice pas. Însă la pasuri mari creșterea

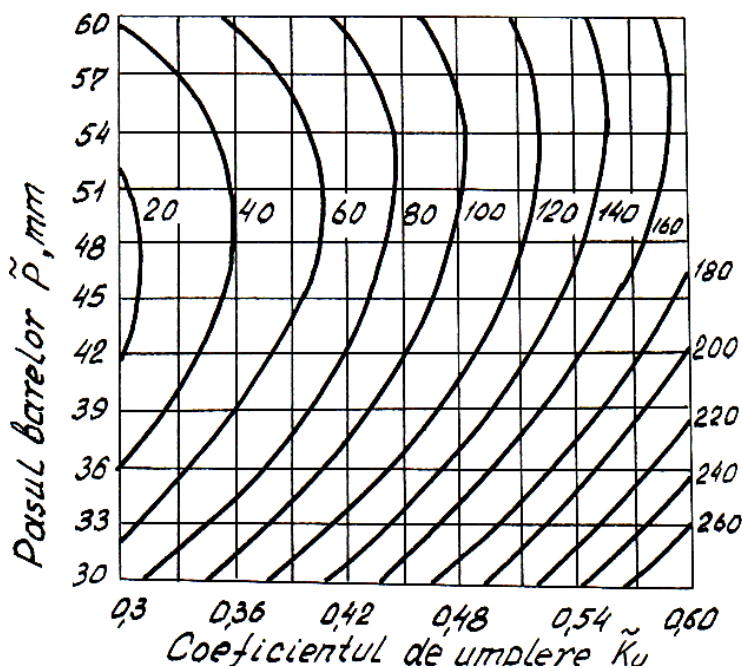


Fig. 4.12. Rezistența de amestecare funcție de p și Ku

rezistenței este mai mică decât la pasuri mici (la pasul $\tilde{p} = 60$ mm rezistența crește de la 40 până la 170 N, iar la $\tilde{p} = 30$ mm creșterea este de la 70 până la 280 N). Aceasta se lămurește prin faptul că la micșorarea pasului barelor se mărește numărul lor și trecerea materialului printre bare întâmpină rezistențe mai mari. Micșorarea pasului barelor p și majorarea concomitentă a coeficientului de umplere Ku conduce la creșterea rezistenței și invers.

Tot în acest malaxor, însă echipat cu șase rânduri longitudinale de bare ($\tilde{\alpha} = 60^\circ$), cu

pasul barelor $\tilde{p} = 45$ mm, având pe arbore câte două răzuitoare lângă pereții laterali și șapte bare cu răzuitoare fixate la capetele lor s-au efectuat testări pentru determinarea rezistenței de amestecare care se formează în procesul preparării amestecului de beton cu granulație fină. Diametrul barelor a fost de 10 mm, turația arborelui – 60 rot/min. Componenta betonului: ciment, nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1$ mm, nisip cu dimensiunea $a = 5 \dots 7$ mm, apă. Pentru coeficientul de umplere egal cu 0,4 rezistența de amestecare în stare uscată constituie 95 N. În procesul amestecării umede (raportul A/C=0,4) rezistența de amestecare a avut aceeași valoare. După o durată de amestecare de 45 s s-a obținut un amestec de beton omogen.

La prepararea amestecului de beton cu granulație fină rezistența este mai mare decât la amestecarea nisipului cu dimensiunea particulelor $a \leq 2$ mm. Pentru condițiile folosite la prepararea betonului ($\tilde{\alpha} = 60^\circ$, $\tilde{p} = 45$ mm, $\tilde{K}_u = 0,5$, $\tilde{n} = 60$ rot/min) rezistența de amestecare a nisipului determinată cu polinomul (4.1) constituie 34,2 N și este de 2,78 ori mai mică. Rezistența mare la prepararea betonului este consecință a utilizării răzuitoarelor și a densității mai mari a amestecului de beton.

Malaxorul cu volumul amestecului preparat de 80 dm^3 confecționat la întreprinderea S.A. „INCOMAȘ” a fost supus încercărilor la prepararea mortarului de tencuire. El este echipat cu câte două răzuitoare radiale lângă pereții laterali și cu 19 răzuitoare fixate la capetele barelor. Malaxorul asigură o calitate înaltă a amestecului după o durată de amestecare numai de 45 s.

Parametrii principali ai malaxorului sunt: diametrul interior al tobei $D = 0,56$ m; lungimea interioară a tobei $L = 0,83$ m; volumul amestecului preparat $V_a = 0,08 \text{ m}^3$; momentul nominal rezistent de torsiune $T_n = 230 \text{ N.m}$; frecvența de rotație $n = 60$ rot/min; puterea motorului $N = 1,5$ kW; productivitatea tehnică $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{oră}$.

Schema situării locurilor de fixare a barelor și răzuitoarelor pe suprafața desfășurată a arborelui malaxorului este prezentată în fig. 4.13.

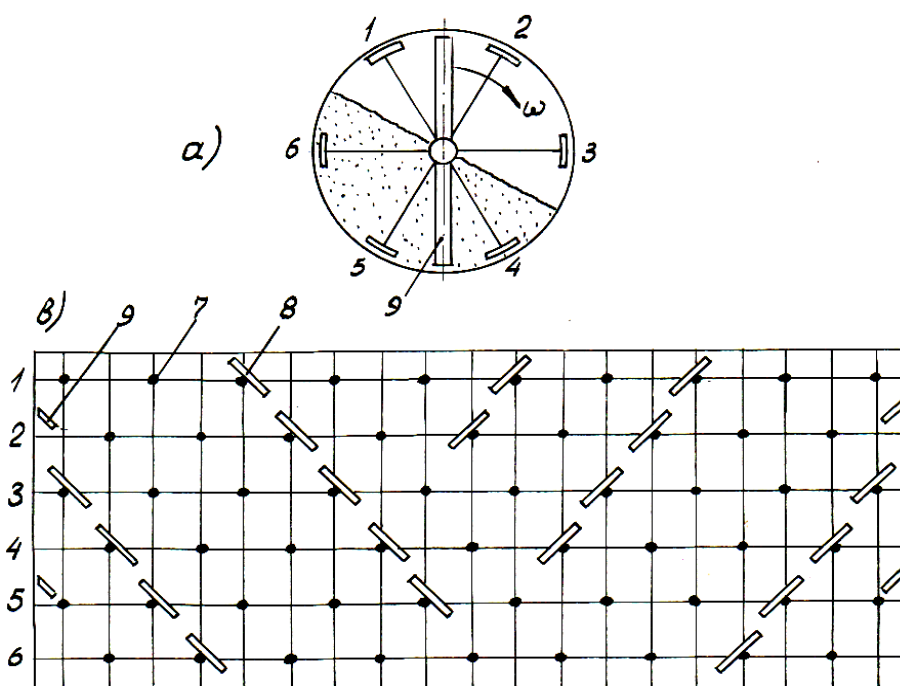


Fig. 4.13. Secțiunea transversală a malaxorului (a) și schema situării locurilor de fixare a barelor și răzuitoarelor radiale pe suprafața desfășurată a arborelui(b): 1 – 6 - rândurile longitudinale de bare; 7 – bară fără răzuitor; 8 – bară cu răzuitor; 9 – răzuitor radial

4.4. Rezistența de amestecare a malaxorului funcție de lungimea lui

Pentru malaxorul cu bare cu diametrul tobei $D = 300$ mm cu 6 rânduri longitudinale de bare și pasul barelor în fiecare rând $p = 90$ mm s-a determinat rezistența de amestecare funcție de lungimea lui. Materialul din toabă este nisipul cu dimensiunea particulelor $a \leq 1$ mm și umiditatea $W \approx 2\%$. S-a determinat rezistența pentru două cazuri: a) materialul din toabă are nivelul orizontal; b) nivelul materialului este înclinat sub un unghi care se obține la rotirea multiplă a arborelui cu bare. Lungimea malaxorului variază în limitele $L=150\text{...}780$ mm, raportul $L/D=0,5\text{...}2,6$, coeficientul de umplere a tobei cu nisip $K_u=0,1\text{...}0,5$. Rezistența s-a determinat conform metodei descrise în subcapitolul 3.2. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 4.5, iar reprezentarea lor grafică – în fig. 4.14.

Tabelul 4.5. Rezistența de amestecare a malaxorului în N funcție de lungimea lui și coeficientul de umplere

Coeficientul de umplere K_u	Lungimea malaxorului în mm (raportul L/D) și situarea nivelului materialului											
	150(0,5)		240(0,8)		330(1,1)		420(1,4)		600(2)		780(2,6)	
	orizon.	înclin.	orizon.	înclin.	orizon.	înclin.	orizon.	înclin.	orizon.	înclin.	orizon.	înclin.
0,1	12	4	28	8	12	4	36	16	40	12	44	16
0,2	44	28	72	48	56	36	68	48	108	72	120	72
0,3	80	60	100	72	96	72	120	92	184	128	196	144
0,4	100	76	116	84	148	100	208	128	264	176	325	224
0,5	180	140	180	132	224	144	280	208	368	228	468	293

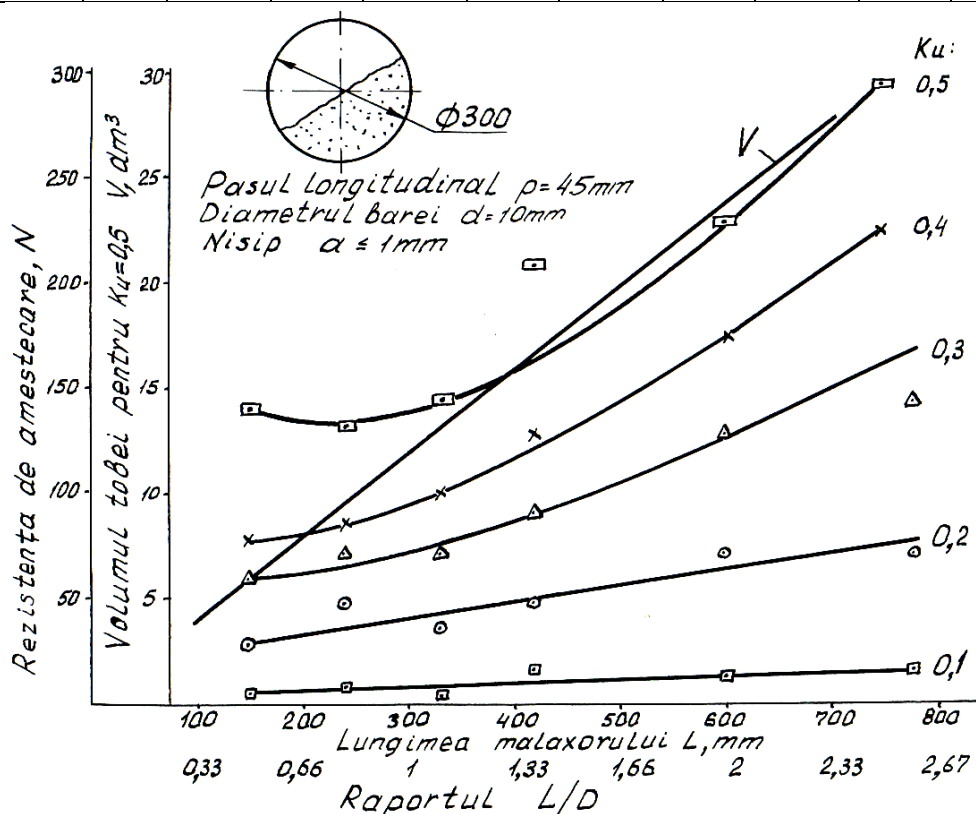


Fig. 4.14. Rezistența de amestecare funcție de lungimea malaxorului

Numărul total de bare și a celor situate în material este prezentat în tabelul 4.6, iar rezistența la înaintare care revine la o bară din cele situate în material – în tabelul 4.7 și fig. 4.15.

Tabelul 4.6. Numărul total de bare (la numărător) și celor din material (la numitor) funcție de lungimea malaxorului și coeficientul de umplere K_u

Coeficientul de umplere K_u	Lungimea malaxorului, mm					
	150	240	330	420	600	780
0.1	9/3	15/5	21/7	27/9	39/13	51/17
0.2	9/3	15/5	21/7	27/9	39/13	51/17
0.3	9/4	15/7	21/10	27/13	39/19	51/25
0.4	9/5	15/8	21/11	27/14	39/20	51/26
0.5	9/5	15/8	21/11	27/14	39/20	51/26

Rezistența de amestecare la lungimi mici ale tobei (raportul $L/D=0,5$; $K_u = 0,5$) este mare în comparație cu rezistența de amestecare în malaxoarele cu raportul $L/D=0,8...1,1$ în care și volumul materialului este mai mare și bare în materialul sunt mai multe. Acest efect se poate lămurii prin aceea că distanța de la bare pînă la pereții laterali ai tobei este foarte mică și zona de material acționată de bare depășește această distanță, are loc frecarea materialului de pereții laterali ceea ce majorează rezistența de deplasare.

Tabelul 4.7. Rezistența de amestecare în N care revine la o bară din cele situate în material

Coeficientul de umplere K_u	Lungimea malaxorului în mm și situarea nivelului materialului											
	150		240		330		420		600		780	
	oriz.	încl.	oriz.	încl.	oriz.	încl.	oriz.	încl.	oriz.	încl.	oriz.	încl.
0,1	4	1	5,6	1,6	1,7	0,6	4	1,8	3,1	1	2,6	1
0,2	15	9	14	9,6	8	5,1	7,6	5,3	8,3	5,5	7,1	4,2
0,3	20	15	14,3	10,3	9,6	7,2	9,2	7,1	9,7	6,7	7,8	5,8
0,4	25	15,2	14,5	10,5	13,5	9,1	14,9	9,1	13,2	8,8	12,5	8,6
0,5	36	28	22,5	16,5	20,4	13,1	20	14,9	18,4	11,4	18,0	11,25

Cu creșterea distanței dintre pereți acest efect în comparație cu rezistența totală nu este semnificativ.

La majorarea lungimii malaxorului începînd de la $L=330$ mm rezistența de amestecare crește aproximativ direct proporțional pentru toți coeficienții de umplere ceea ce se poate lămurii prin creșterea direct proporțională a volumului de material antrenat de către bare. Creșterea rezistenței este diferită pentru diferiți coeficienți de umplere. Când coeficientul de umplere este egal cu 0,1 rezistența crește foarte puțin la majorarea lungimii tobei de la 150 pînă la 780 mm: unghiul de înclinare a liniei $Z = f(L)$ este egal cu $1,09^0$.

Cu cât coeficientul de umplere a tobei este mai mare cu atât și creșterea rezistenței este mai mare. Unghiul de înclinare a funcțiilor $Z=f(L)$ tot crește și este egal cu 4^0 pentru $K_u = 0,2$; $7,6^0$ pentru $K_u = 0,3$; $12,5^0$ pentru $K_u = 0,4$ și $0,5$.

Rezistența de amestecare care revine la o bară din cele situate în material se micșorează brusc la majorarea lungimii tobei de la 150 pînă la 330 mm pentru coeficienții de umplere 0,5; 0,4 și 0,3, apoi are loc micșorarea lină și începînd cu raportul $L/D=1,67$ valoarea rezistenței practic nu se mai schimbă (fig. 4.15.). La coeficienți mari de umplere rezistența care revine la o bară este mai mare.

Astfel, pentru raportul $L/D=2,6$ rezistența de amestecare are următoarele valori: 1 N pentru $K_u=0,1$; 4,2 N pentru $K_u=0,2$; 5,8 N pentru $K_u=0,3$; 8,6 N pentru $K_u=0,4$ și 11,25 N pentru $K_u=0,5$. Valorile acestor rezistențe pot fi folosite pentru calculul de rezistență a barelor și arborelui malaxoarelor destinate preparării amestecurilor uscate.

Din punctul de vedere al micșorării rezistenței care revine la o bară utilizarea malaxorului cu raportul L/D mai mic ca 1,0 și mai mare ca 1,67 nu este rațională. Deci, raportul optimal este 1,1...1,67. Însă din punct de vedere a rezistenței totale, raportul trebuie adoptat 1,1...1,3.

Pentru obținerea expresiei matematice a dependenței rezistenței de amestecare de valoarea coeficientului de umplere K_u și de raportul L/D s-au efectuat experiențe în conformitate cu planul D-optimal pentru doi factori [38]. Factorii cercetați: x_1 - raportul

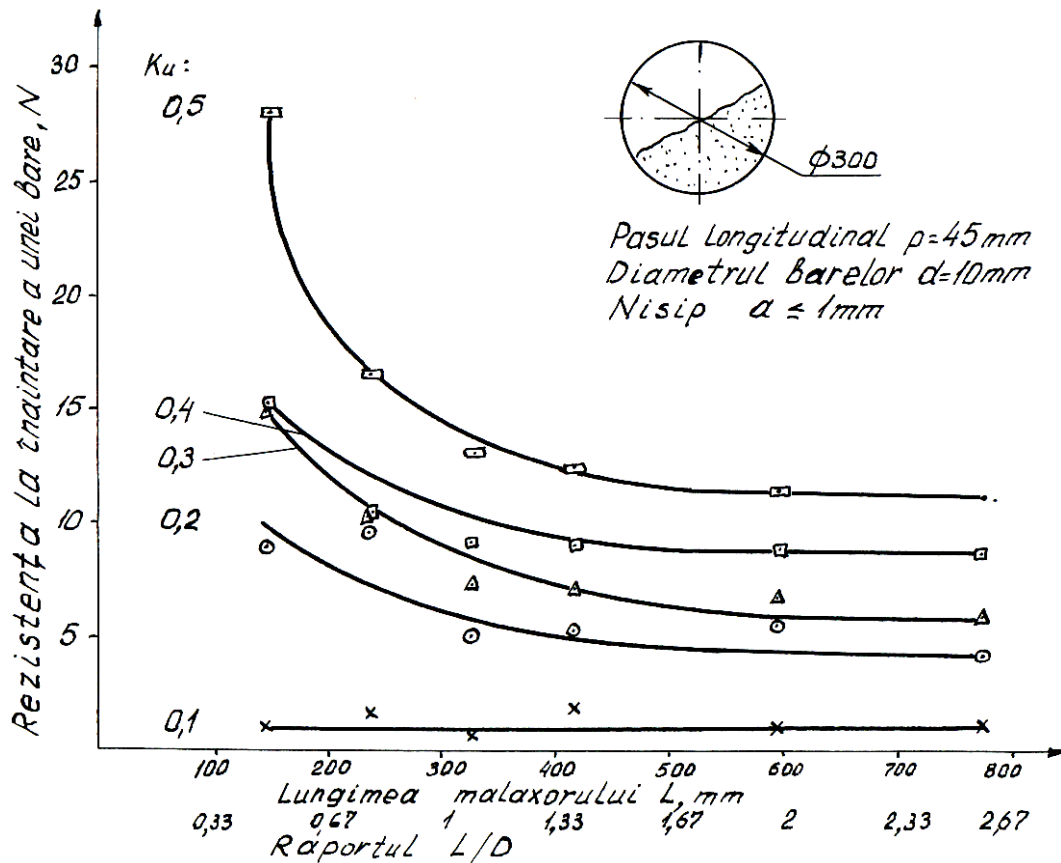


Fig. 4.15. Rezistența la înaintare care revine la o bară din cele situate în material funcție de lungimea malaxorului

L/D ($\tilde{x}_1 = 1.25 \pm 0.75$); x_2 - coeficientul de umplere K_u ($\tilde{x}_2 = 0.3 \pm 0.2$).

Analiza pe principiul legii de regresie a datelor experimentale a condus la obținerea relațiilor matematice a rezistenței de amestecare în N:

pentru nivelul orizontal al materialului în tobă

$$Z = 122 + 53x_1 + 120x_2 + 40x_1x_2 + 18x_2^2, \quad (4.5)$$

pentru nivelul înclinat

$$Z = 92 + 27x_1 + 86x_2 + 20x_1x_2, \quad (4.6)$$

$$F_{calc.} = 2,81 < F_{tab} = 19,16 (f_1 = 3; f_2 = 2; \alpha = 0,05),$$

în care x_i - valoarea codificată a factorului i ;

$F_{calc.}, F_{tab}$ - valorile criteriului Fisher calculat și tabular;

f_1, f_2 - gradele de libertate la numărător și la numitor;

α - gradul de semnificație.

Cea mai mare influență asupra rezistenței de amestecare o are coeficientul de umplere (factorul x_2). Raportul L/D influențează mai puțin rezistența. Pe locul al treilea după gradul de influență se găsește interacțiunea factorilor x_1x_2 . Efectul pătratic în ecuația (4.6) nu este semnificativ, tot așa și efectul pătratic al factorului x_1 în ecuația (4.5). Toți coeficienții au semnul plus ceea ce dovedește faptul că toate efectele conduc la creșterea rezistențelor de amestecare.

CONCLUZII:

1. Există o valoare optimală a pasului barelor situate pe arbore la care rezistența la înaintare a acestora prin nisip este minimă: $p = 50$ mm pentru 5 bare, $p = 60$ mm pentru 3 și 4 bare și $p = 60...80$ mm pentru 2 bare. Valori mici ale rezistenței la pasurile optimale se obțin datorită interacțiunii barelor prin intermediul materialului din tobă care conduce la majorarea mobilității lui.

2. La pasuri mari ale barelor, când interacțiunea zonelor de acționare lipsește, fiecare bară învinge separat rezistențele și rezistența totală la deplasare este mare și constantă. Valoarea pasului la care rezistența devine constantă caracterizează grosimea transversală a zonei de material acționate de o bară și constituie 300...340 mm.

3. Rezistența raportată la o bară se micșorează cu majorarea numărului de bare datorită suprapunerii zonelor de acționare a lor în așa mod că influența unei bare se transmite nu numai zonei de acționare a barei vecine, ci și mai departe și invers.

4. La majorarea numărului de bare în prima spiră a liniei elicoidale are loc micșorarea rezistenței de înaintare (afară de pasul $p = 90$ mm), apoi creșterea ei lină până la numărul de bare egal cu 6 și creșterea bruscă la numărul de bare egal cu 7 care încheie spira.

5. Mărirea numărului de bare la spira a doua conduce la micșorarea rezistenței de înaintare ($p = 30$ și 45 mm) și creșterea lină ($p = 60,75$ și 90 mm) și, la atingerea numărului de bare care încheie spira elicoidală (13), are loc creșterea bruscă a rezistenței. Creșterea bruscă a rezistenței are loc totdeauna când într-o linie se găsesc barele de la începutul și finele fiecărei spire - aceste bare înving concomitent rezistența materialului neacționat încă de alte bare și situat în stânga de prima bară și în dreapta de bara de la finele spirei.

6. Micșorarea rezistenței sau creșterea ei lină cu majorarea numărului de bare se datorează afănării materialului de barele precedente.

7. Rezistența raportată la o bară din cele situate în material se micșorează brusc la creșterea numărului de bare, apoi se menține la o valoare aproximativ constantă: 1 N pentru pasul barelor $p = 30$ mm; 22 N pentru $p = 45$ mm; 23 N pentru $p = 60$ mm; 27,5 N pentru $p = 75$ mm; 31 N pentru $p = 90$ mm.

8. Începând cu spira a doua majorarea pasului longitudinal al barelor conduce la creșterea rezistenței totale și rezistenței raportate la o bară. Pentru nisip rezistența minimă se obține la pasurile barelor egale cu 30...45 mm.

9. Creșterea rezistenței la finele fiecărei spire este aproximativ de una și aceeași valoare pentru fiecare pas de bare aparte. Așa, pentru pasul barelor 30 mm creșterea rezistenței are următoarele valori: $A_{7-6} = Z_7 - Z_6 = 157 - 100 = 57$ N; $\Delta_{13-12} = 211 - 160 = 51$ N; $\Delta_{19-18} = 52$ N. Pentru pasul $p = 45$ mm creșterea este egală cu 41, 33 și 33 N respectiv.

10. S-a obținut modelul matematic de gradul doi care descrie adecvat influența asupra rezistenței de amestecare a următorilor factori: unghiul dintre rândurile longitudinale de bare α , pasul longitudinal al barelor p , turația arborelui malaxorului n și coeficientul de umplere Ku .

11. Cea mai mare influență asupra rezistenței de amestecare o are coeficientul de umplere Ku , unghiul dintre rândurile longitudinale de bare α și pasul barelor p . La majorarea lui α și Ku rezistența crește. La majorarea pasului p rezistența se micșorează, apoi crește puțin.

12. S-au construit nomograme care descriu influența interacțiunilor factorilor αp , αKu , și pKu asupra rezistenței de amestecare.

13. La majorarea unghiului dintre rândurile longitudinale de bare α și concomitent a coeficientului de umplere Ku are loc creșterea rezistenței de amestecare, efectul de pe lângă αKu este cel mai mare și-i cu semnul plus. La majorarea unghiului α și micșorarea concomitentă a pasului p rezistența se mărește. Micșorarea pasului barelor p și majorarea concomitentă a coeficientului de umplere Ku conduce la creșterea rezistenței.

14. Din punctul de vedere al micșorării rezistenței care revine la o bară, utilizarea malaxorului cu raportul L/D mai mic de 1,0 și mai mare ca 1,67 nu este rațională.

5. Blocarea organelor de amestecare

Malaxoarele cu organe de lucru în formă de bare asigură intensificarea procesului de amestecare datorită majorării zonei volumetrice de acționare a barelor asupra materialului, divizării materialului în mai multe șuvoaie și recombinații lor ulterioare, măririi numărului de acționări ale organelor de amestecare la o unitate de volum, acționării concomitente a tuturor particulelor amestecului de către organele de amestecare. Totodată, datorită interacțiunii organelor de amestecare prin intermediul materialului, rezistența de amestecare se micșorează semnificativ.

Acest proces de amestecare se produce forțat și poate fi utilizat la prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar și de beton plastic și vârtos. Cu toate acestea în procesul amestecării apar cazuri de blocare a particulelor între organele de amestecare și corp ceea ce conduce la : majorarea consumului de energie necesar pentru prepararea amestecului; majorarea consumului de materiale pentru confecționarea malaxorului din cauza forțelor mari care acționează asupra organelor de amestecare, arborilor, transmisiei, rulmenților; fărâmițarea agregatelor și ca rezultat - la modificarea compoziției granulometrice inițiale și deci a calității articolelor fabricate.

5.1. Procesul blocării

Dacă în procesul funcționării malaxorului cu amestecare forțată între organul de amestecare 1 (fig. 5.1,b) și corpul tobei 2 nimeresc bucăți de agregate 3 în formă de pană și organul de amestecare este stopat din cauza apariției forțelor de rezistență adăugătoare și anume, a forțelor de frecare dintre agregat și tobă, acest proces este numit blocare. Probabilitatea blocării este funcție de valoarea aerului dintre capătul organului de amestecare și suprafața interioară a corpului malaxorului și dimensiunea particulelor.

La rotirea arborelui cu organele de amestecare și apariția blocării pe graficul dependenței rezistenței la înaintare de timp apar salturi de forță. Dacă particula nu iese din blocaj, valoarea maximă a rezistenței se păstrează atâta timp cât se produce blocarea, deci pe parcursul maximum a jumătății de rotație pentru coeficientul de umplere $K_v=0,5$.

În practică, din cauza blocării nu se oprește nici un malaxor. Aceasta se datorează faptului că motoarele malaxoarelor au o putere mai mare decât cea necesară pentru amestecare și învingerea forțelor de blocare, iar elementele malaxorului sunt confecționate de așa mărime și cu așa rezistență mecanică ca să reziste la sarcinile mari de blocare. În procesul amestecării datorită acestui fapt are loc strivirea agregatelor care nimeresc între capătul organului de amestecare și corp. În multe malaxoare cu palete ultimele sunt înzestrate cu amortizoare (arcuri, bare de torsiune) care permit ridicarea organului de amestecare la apariția rezistențelor mari și trecerea lui pe deasupra agregatului stopat. În acest caz cheltuielile sus menționate sunt cu mult mai mici, iar agregatele nu sunt fărâmițate.

S-a cercetat blocarea organelor de lucru care reprezintă bare fixate în șah pe suprafața arborelui. Pentru a evidenția procesul de blocare s-au folosit particule destul de mari, dimensiunea medie a cărora era de 22,7 mm. Diametrul malaxorului $D=300$ mm, diametrul barelor $d=10$ mm, unghiul dintre rândurile longitudinale de bare $\alpha=60^\circ$, pasul longitudinal al barelor $p=30$ mm.

Cercetările efectuate au demonstrat că în procesul funcționării malaxorului blocarea apare în următoarele locuri:

- a) între bare și suprafața interioară a peretelui de capăt 4 al malaxorului (fig. 5.1,a);
- b) între capetele barelor și suprafața interioară a părții cilindrice a tobei (fig. 5.1,b);
- c) între trei bare megieșe (fig. 5.1,c,e);
- d) între materialul blocat între bare și suprafața interioară a părții cilindrice a tobei (fig. 5.1,d);
- e) între materialul blocat între bare și suprafața interioară a peretelui de capăt (fig. 5.1,e);
- f) blocarea totală care include toate tipurile de blocare sus - numite.

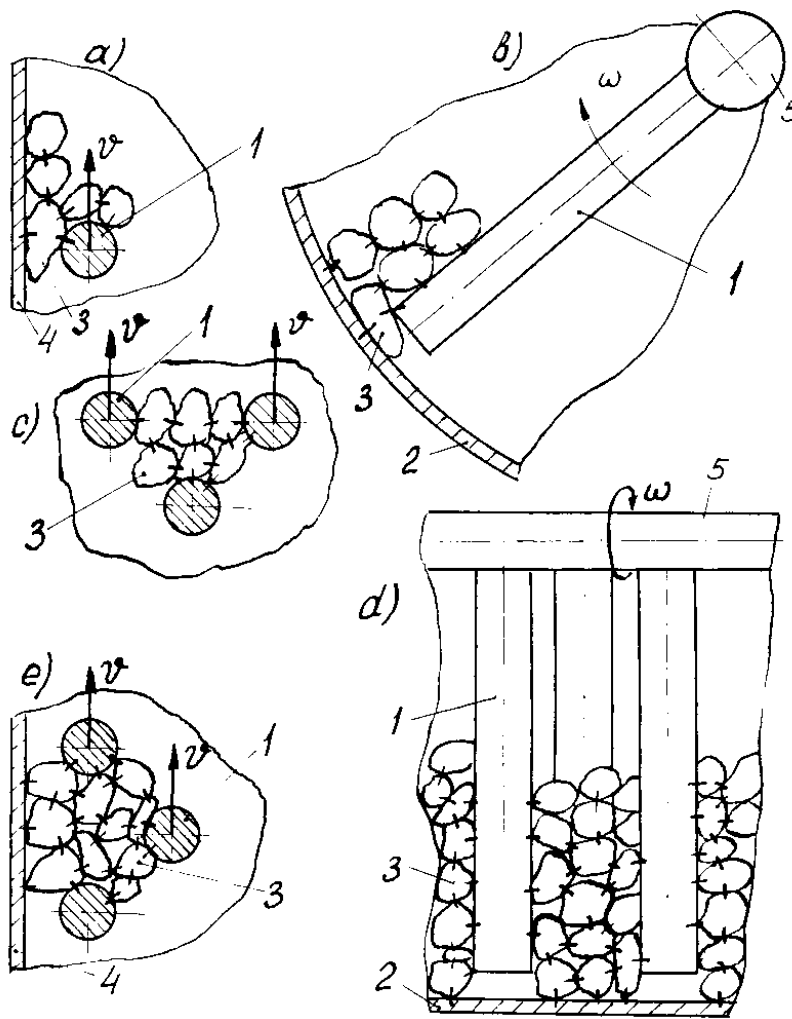


Fig. 5.1. Scheme de blocare a particulelor și barelor în procesul amestecării: 1-bară; 2- partea cilindrică a tobei; 3-particulă de material; 4-perete de capăt; 5- arbore

Blocarea de tipul A (fig. 5.1,a) are loc când distanța dintre bară și suprafața peretelui lateral este mai mică decât dimensiunea a particulelor.

Blocarea de tipul B (fig. 5.1,b) depinde de distanța dintre capătul barei și suprafața interioară a părții cilindrice a tobei. La distanțe mici particula în formă de pană care se află între capătul barei și suprafața cilindrică a tobei asigură cu o probabilitate destul de înaltă blocarea. Și în acest caz blocarea nu are loc dacă distanța dintre capătul barei și corp este mai mare decât dimensiunea particulei.

Blocarea de tipul C (fig. 5.1,c) depinde atât de distanța dintre barele rândului longitudinal de bare cât și de distanța dintre rândurile longitudinale. Această blocare este posibilă cu o probabilitate mai înaltă în zonele situate mai aproape de centrul malaxorului unde distanța dintre rândurile longitudinale este mai mică decât la capetele barelor.

Blocarea de tipul D (fig. 5.1,d) este posibilă când are loc blocarea de tipul C, iar forțele de frecare care apar între material și suprafața interioară a părții cilindrice a tobei sunt foarte mari. La majorarea forței de acționare are loc strivirea particulelor și deplasarea organelor de amestecare până când nu apare blocarea în alt loc. Dacă forțele de frecare între material și suprafața cilindrică a tobei sunt mai mici decât forța de acționare masa de material se deplasează împreună cu barele fără ca să aibă loc amestecarea.

Blocarea de tipul E (fig. 5.1,e) apare între materialul blocat între bare și suprafața interioară a peretelui de capăt. Aici au loc procese analogice ca și la blocarea de tipul D.

Blocarea totală are loc când se petrec toate tipurile de blocări. În acest caz pentru a deplasa organele de amestecare este necesară o forță de acționare de așa mărime care va asigura distrugerea particulelor în toate locurile de blocare. Apariția blocării totale depinde de dimensiunile zonei de material acționat de către bare. Dimensiunile zonei depind de interacțiunea particulelor care în fig. 5.1 este indicată cu linii normale scurte duse prin punctele de contactare ale particulelor. Cu cât coeficientul de frecare a particulelor este mai mare cu atât zona de interacțiune a particulelor se extinde mai departe și probabilitatea blocării se mărește. Când coeficientul de frecare este mic barele împing înaintea lor o zonă îngustă de material.

5.2. Unghiul de blocare a particulei și luful optimal dintre capătul barei și suprafața tobei

Între capetele barelor și suprafața interioară a tobei există totdeauna un oarecare luft. Valoarea acestui luft, mărimea particulelor amestecului care pot fi blocate între capătul barei și corpul malaxorului și de asemenea forma geometrică a lor influențează puternic asupra rezistenței de înaintare a barelor prin amestec. Cunoașterea unghiului de blocare a particulelor dă posibilitate de a determina corelația dintre dimensiunea particulei și valoarea lufului la care blocarea nu are loc. Aceasta permite alegerea parametrilor constructivi ai malaxorului cu rezistență de amestecare minimă.

5.2.1. Particula în formă de sferă pe o suprafață cilindrică

Când bara 1 (fig.5.2), la rotirea ei în stânga împreună cu arborele 4, se atinge de particula 3, începe rostogolirea acesteia pe suprafața interioară a tobei 2 sub acțiunea forței tangențiale P și forței de frecare dintre capătul barei și sferă. Forța normală N crește foarte rapid din cauza măririi coardei EC și, ca rezultat, forța de frecare în punctele C și E se mărește. Din cauza forțelor mari de frecare, particula nu se mai rostogolește și poate să se deplaseze în stânga prin alunecare sau să se găsească în stare nemișcată (blocată) în funcție de valoarea acestor forțe.

Forța R care menține particula în blocaj este egală cu suma proiecțiilor forțelor F pe axa x [42]. Axa x este perpendiculară pe linia care unește punctele C și E de contactare a particulei cu bara și cu suprafața interioară a tobei și trece prin centrul sferei. Forța R se determină din relația

$$R = 2F \cos \frac{\alpha}{2} = 2Nf \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (5.1)$$

unde α - unghiul dintre tangentele duse prin punctele de contactare E și C, numit unghi de blocare;

f – coeficientul de frecare dintre particulă și corp.

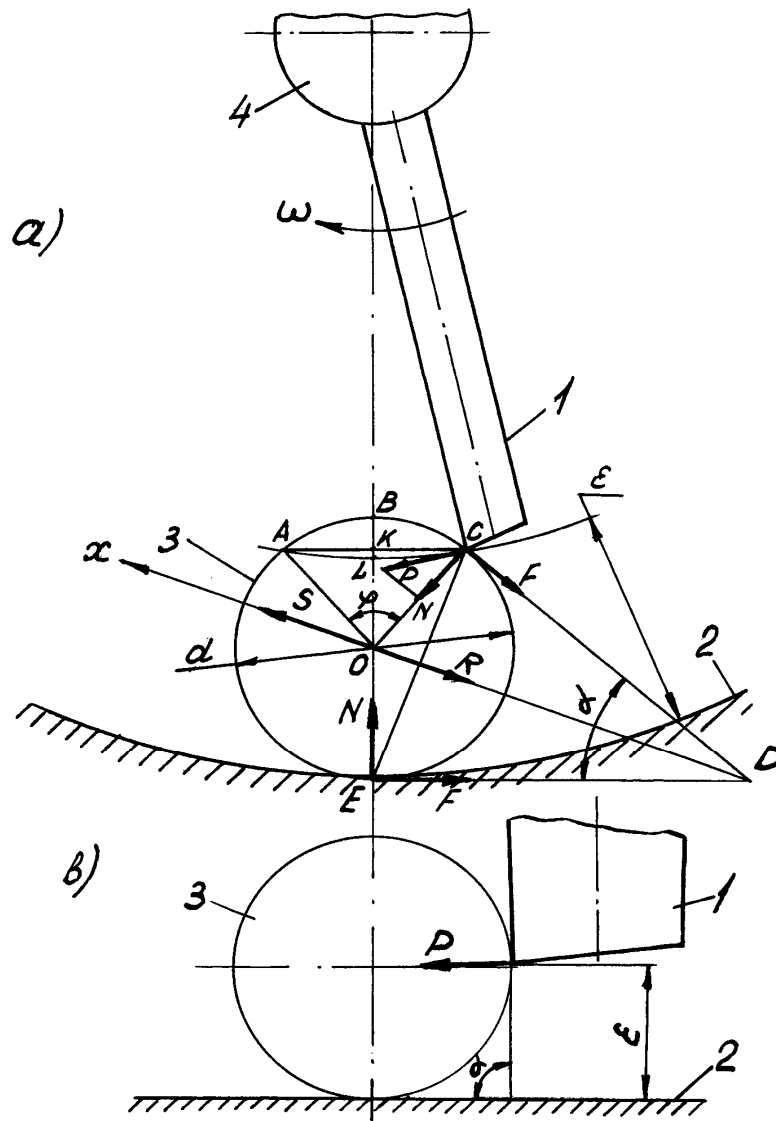


Fig.5.2. Schema de calcul a unghiului de blocare a particulei sferice: a) unghiul $\alpha < 90^\circ$; b) $\alpha = 90^\circ$

Forța S care tinde să scoată particula din blocaj este egală cu suma proiecțiilor forțelor N pe axa x

$$S = 2N \sin \frac{\alpha}{2} \quad (5.2)$$

Particula se va găsi în stare blocată atunci când R va fi mai mare decât S

$$R > S \quad (5.3)$$

Substituim în (5.3) valorile R și S din (5.1) și (5.2) și obținem:

$$2Nf \cos \frac{\alpha}{2} > 2N \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (5.4)$$

de unde

$$f > \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$f > \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Deoarece $f = \operatorname{tg} \rho$, unde ρ este unghiul de frecare, putem scrie:

$$\operatorname{tg} \rho > \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

și

$$\rho > \frac{\alpha}{2},$$

iar

$$\alpha < 2\rho. \quad (5.5)$$

Când unghiul de blocare α va fi mai mic decât unghiul dublu de frecare va avea loc blocarea și invers, blocarea va lipsi când unghiul α va fi mai mare decât 2ρ

$$\alpha > 2\rho. \quad (5.6)$$

Pentru materialele pietroase în contact cu oțelul valoarea medie a coeficientului de frecare f este egală cu 0,3, iar $\rho = \operatorname{arctg} f = \operatorname{arctg} 0,3 = 16,7^\circ$. Condiția lipsei blocării este $\alpha > 33,4^\circ$. Din aceasta reiese că luful ε dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei trebuie să fie mai mic decât dimensiunea particulei sferice.

Înălțimea BK a segmentului de cerc ABC se notează cu h care se determină cu relația [43]:

$$h = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{4}, \quad (5.7)$$

unde: r - raza particulei, $r = d/2$;

φ - unghiul central al segmentului ABC.

Deoarece $ED \perp EB$ și $CD \perp OC$ reiese că unghiul $BOC = EDC$, iar $EDC = \alpha$ și deci unghiul central $\varphi = 2\alpha = 2 \cdot 33,4^\circ = 66,8^\circ$.

Substituind φ în (5.7) se obține

$$h = d \sin^2 \frac{66,8^\circ}{4} = 0,0826d. \quad (5.8)$$

Luful ε este egal cu

$$\varepsilon = d - BL.$$

Deoarece dimensiunea particulei este cu mult mai mică decât lungimea barei 1 adoptăm $KL = 0$ și atunci $h = BK$, iar $\varepsilon = d - h$.

Pentru evitarea blocării este necesară condiția

$$\varepsilon < d - h. \quad (5.9)$$

Substituind în (5.9) valoarea lui h din (5.8) se obține

$$\begin{aligned} \varepsilon &< d - 0,0826d, \\ \varepsilon &< 0,9174d. \end{aligned} \quad (5.10)$$

În realitate, afară de forța R asupra particulei acționează și forța de rezistență a materialului din toabă situat în partea frontală a particulei. În acest caz probabilitatea blocării crește. Pentru evitarea blocării în așa condiții unghiul de blocare α trebuie să fie mai mare decât cel determinat cu relația (5.6). Rezolvarea funcțiilor (5.3) și (5.4) pentru diferite valori crescânde ale lui R arată că la creșterea rezistenței totale de 3,35 ori unghiul α trebuie să fie egal cu 90° . Deci pentru evitarea blocării la așa rezistență, unghiul α trebuie să fie mai mare de 90° .

Conform fig.5.2,b unghiul de blocare $\alpha \approx 90$ grade garantează lipsa blocării, deoarece reacțiunea normală N în punctul de contactare a particulei cu corpul practic este egală cu zero. Organul de lucru învinge numai forța de frecare datorită forței de gravitație a particulei, iar dacă în fața

particulei sunt alte particule, atunci - și forța de frecare cu corpul a acestor particule. Luftul ε în acest caz trebuie să fie egal sau mai mic decât raza particulei $\varepsilon \leq r$.

S-a cercetat interacțiunea dintre carota de granit 3 și bara 1 în toba cilindrică 2 (fig. 5.3). În poziția cea mai de jos a carotei în tobă când $\alpha_1 = 0$ interacțiunea dintre bara 1, carota 3 și toba 2 este asemănătoare cu cazul examinat mai sus (fig. 5.2,b). La rotirea barei 1 în direcția acelor de

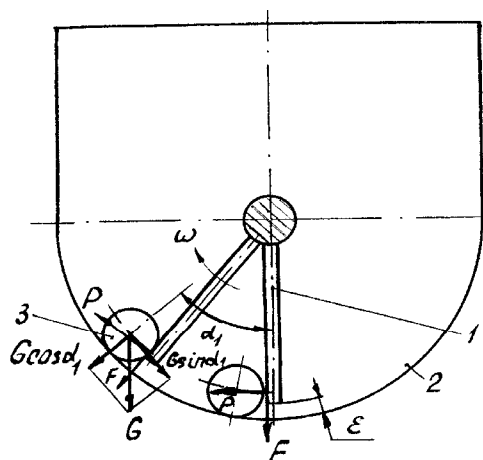


Fig. 5.3. Schema acțiunii barei asupra carotei situate în toba cilindrică

ceasornic, carota 3 mai întâi se rostogolește, apoi alunecă pe suprafața corpului 2. Aceasta are loc când distanța dintre capătul barei și corp ε nu este prea mare (tabelul 5.1).

Tabelul 5.1. Caracterul interacțiunii carotei de granit ($d = 41,5$ mm) cu bara și corpul tobei

Luftul mm	ε ,	Caracterul deplasării carotei		
		rostogolire	alunecare	blocare
3		până la $\alpha_1 = 50^\circ$	pentru $\alpha_1 > 50^\circ$	lipsește
26		până la $\alpha_1 = 44^\circ$	pentru $\alpha_1 > 44^\circ$	lipsește
34		lipsește	pentru $\alpha_1 = 24^\circ$	pentru $\alpha_1 > 24^\circ$
37		lipsește	lipsește	de la început, $\alpha_1 = 0$

Astfel, pentru $\varepsilon = 3$ mm carota se rostogolește până când centrul ei atinge unghiul $\alpha_1 = 50^\circ$. Deplasarea de mai departe a carotei se petrece prin alunecare. Același proces are loc și în cazul când luftul $\varepsilon = 26$ mm. Însă aici alunecarea începe la unghiul $\alpha_1 = 44^\circ$.

Schimbarea modului de deplasare a carotei de la rostogolire la alunecare pentru $\varepsilon = 3$ mm se datorează faptului că la majorarea unghiului de rotație a barei componenta tangențială $G \sin \alpha_1$ a forței de gravitație G a carotei se mărește, crește și forța de frecare dintre carotă și bară, iar forța de frecare dintre carotă și tobă $fG \cos \alpha_1$ se micșorează. Deoarece forța periferică este mai mare decât suma forțelor $G \sin \alpha_1$ și $fG \cos \alpha_1$ are loc alunecarea carotei pe suprafața corpului tobei.

Pentru luftul $\varepsilon = 26$ mm trecerea de la rostogolire la alunecare se petrece mai devreme - la unghiul $\alpha_1 = 44^\circ$, și se datorează creșterii forței $G \sin \alpha_1$ și a forței de frecare dintre bară și carotă și micșorării forțelor $G \cos \alpha_1$ și $fG \cos \alpha_1$.

Când $\varepsilon = 34$ mm carota mai întâi alunecă, apoi după 24° de rotație a barei are loc blocarea. Unghiul de blocare este aproape de valoarea 2ρ , forța $G \sin \alpha_1$ contribuie la apariția blocării.

Pentru $\varepsilon = 37$ mm blocarea are loc de la prima încercare de a roti bara datorită faptului că unghiul de blocare α este mai mic decât unghiul dublu de frecare ($\alpha < 2\rho$).

5.2.2. Particula în formă de sferă pe o suprafață plană

Bara 1 apasă pe partea superioară a granulei 3 (fig. 5.4) cu forța N . Reacțiunea planului 2 asupra granulei este egală cu N .

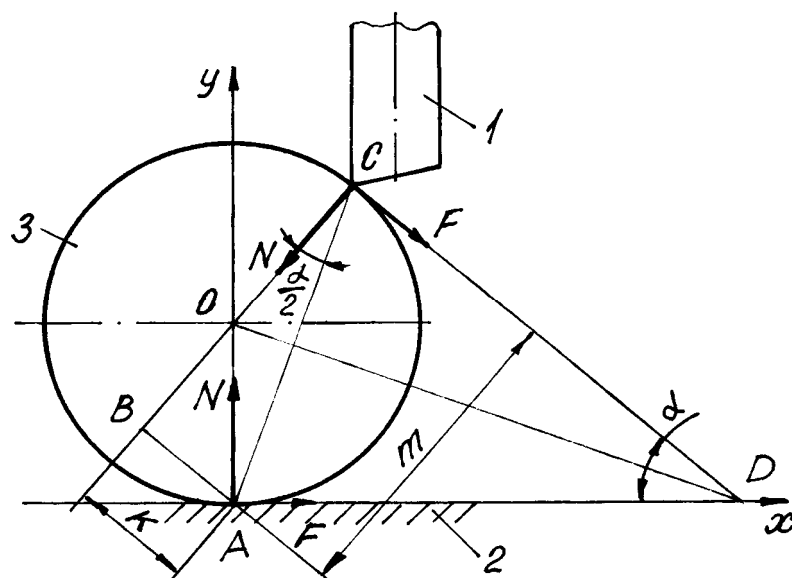


Fig. 5.4. Schema de calcul a unghiului de blocare a sferei pe o suprafață plană

Determinăm condițiile de blocare și deplasare a particulei (granulei) sferice situate pe un plan orizontal și acționată de o bară verticală.

Condiția de echilibru în stare blocată a sistemului corp-granulă-bară se scrie astfel. Momentul forțelor care acționează asupra granulei față de punctul A de contactare cu corpul 2 este egal cu zero

$$T_A = Nk - Fm = 0. \quad (5.11)$$

Forța de frecare $F = Nf$. Substituind F în (5.11) se obține

$$\begin{aligned} Nk - Nfm &= 0; \\ k - fm &= 0; \\ \frac{k}{m} &= f. \end{aligned}$$

Deoarece $OD \perp AC$ și $CD \perp BC$ reiese că $\angle ACB = \angle ODC = \alpha/2$. Deci

$$\frac{k}{m} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

și obținem

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \operatorname{tg} \rho; \\ \frac{\alpha}{2} &= \rho; \\ \alpha &= 2\rho. \end{aligned}$$

Blocarea va avea loc când unghiul α va fi mai mic decât 2ρ

$$\alpha < 2\rho. \quad (5.12)$$

Pentru excluderea blocării unghiul α trebuie să fie mai mare decât 2ρ .

Examinarea cazului când luftul este egal sau mai mic decât raza sferei. Când bara 1 situată în poziție verticală apasă pe sfera 3 ultima poate să se rostogolească sau să alunece pe planul orizontal 2 (fig. 5.5). Condiția de rostogolire (corpurile sunt absolut rigide): suma momentelor

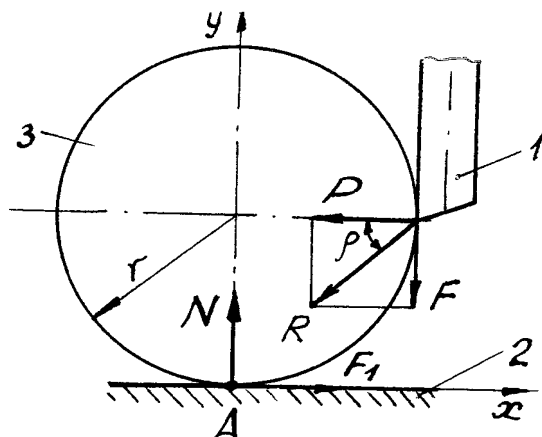


Fig. 5.5. Schema acțiunii sferei de către bară când unghiul de blocare $\alpha \leq 90^\circ$

forțelor care acționează asupra sferei față de punctul A este mai mare ca zero

$$\begin{aligned} \sum M_A &> 0, \\ Pr - Fr &> 0, \\ Pr - Pfr &> 0, \\ 1 - f &> 0 \\ f &< 1. \end{aligned}$$

Deci, ca sfera să se rostogolească, coeficientul de frecare f dintre bară și sferă trebuie să fie mai mic decât unu, unghiul de frecare ρ în acest caz trebuie să fie mai mic de 45° . Rezultanta R va trece mai la stânga de punctul A și se va produce rostogolirea.

Condiția de alunecare. Când coeficientul de frecare f va fi egal cu unu ($\rho = 45^\circ$), rezultanta R va trece prin punctul A și suma momentelor tuturor forțelor care acționează asupra sferei față de punctul A va fi egal cu zero. Echilibrul este asigurat când suma proiecțiilor forțelor pe axa x este egală cu zero:

$$\sum x = -P + F_1 = 0.$$

În acest caz sfera va aluneca în stânga cu viteză uniformă. Când coeficientul de frecare va fi mai mare decât unu ($\rho > 45^\circ$), rezultanta R va trece mai la dreapta de punctul A și suma momentelor tuturor forțelor care acționează asupra sferei față de punctul A va fi mai mică ca zero. Rotirea în direcția mișcării acelor de ceasornic nu are loc, deoarece apare forța de frecare dintre bară și sferă îndreptată contra acestei mișcări. Fiindcă $F_1 = P$ și $N = F$ are loc alunecarea pe suprafața cuvei malaxorului.

5.2.3. Particula în formă de prismă pe o suprafață plană

Bara 1 (fig. 5.6,a) acționează dintr-o parte asupra particulei 3 situată pe un plan orizontal 2. Forța de frecare dintre bară și particulă nu se ia în considerație. Asupra particulei acționează forța

de gravitație G și forța orizontală P . Forțele de reacție sunt (fig. 5.6,b): N – reacțiunea normală; F – forța de frecare îndreptată contra mișcării.

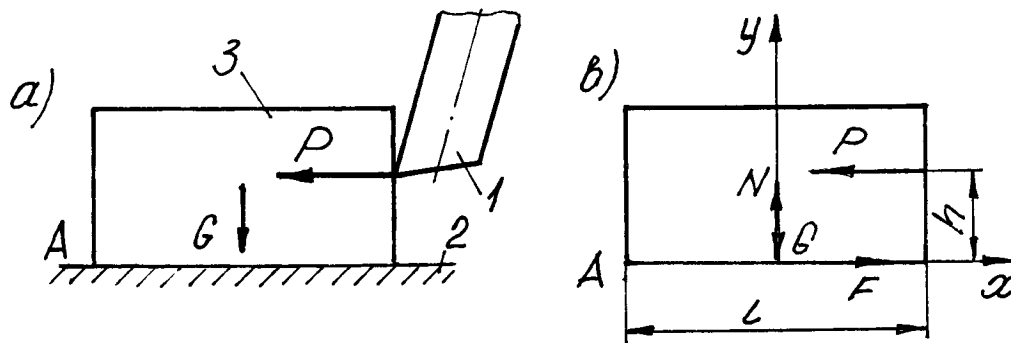


Fig. 5.6. Schema acțiunii particulei în formă de prismă de către bară (a) și forțele date și reacțiunile (b)

Ecuatiile de echilibru:

proiecțiile forțelor pe axa x

$$\sum F_{kx} = F - P = 0; \quad (5.13)$$

proiecțiile forțelor pe axa y

$$\sum F_{ky} = N - G = 0; \quad (5.14)$$

suma momentelor forțelor față de punctul A

$$\sum m_A(F_k) = Ph - G \frac{l}{2} + N \frac{l}{2} = 0; \quad (5.15)$$

Forța de frecare dintre particulă și planul orizontal

$$F = fN. \quad (5.16)$$

Din (5.13) reiese că $F=P$. Deplasarea particulei va avea loc când forța P va fi mai mare decât forța de frecare F . Din (5.14) obținem $N=G$, iar din (5.15)

$$Ph - \frac{Gl}{2} + \frac{Nl}{2} = 0,$$

$$Ph = 0.$$

Rezultă că deplasarea particulei fără rostogolire va avea loc când forța P va trece prin punctul A (brațul $h=0$). Deci luftul dintre capătul barei și suprafața corpului malaxorului trebuie să fie cât mai mic posibil.

Particula în formă de prismă este rezemată cu proeminența A pe un plan orizontal, iar în punctul B – pe organul de amestecare (fig. 5.7)

Asupra particulei acționează forța de gravitație G și forța orizontală P a organului de amestecare. În procesul deplasării barei înălțimea h este constantă. De aceea în cazul apariției condițiilor de răsturnare a particulei față de punctul A în punctul B apare o forță de frecare F_p îndreptată în jos (contra direcției răsturnării). Forțele de reacție sunt: N_A – reacțiunea normală în punctul A, F_A – forța de frecare în punctul A; N_B – reacțiunea normală în punctul B; F_B – forța de frecare în punctul B îndreptată contra căderii particulei în jos și forța de frecare F_p menționată mai sus.

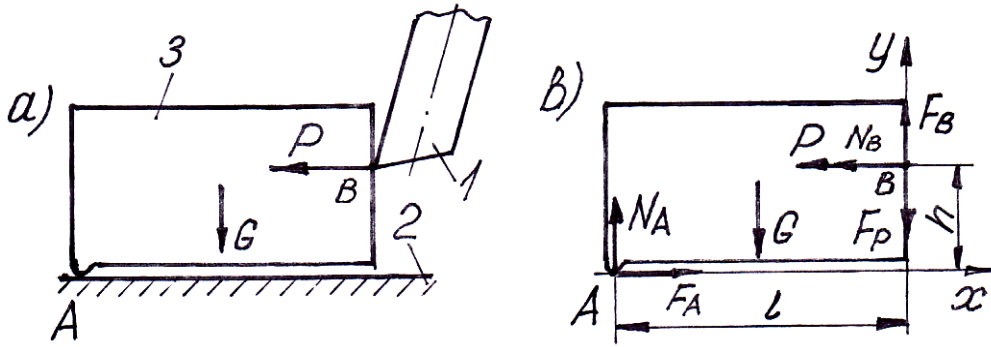


Fig. 5.7. Schema acțiunii particulei în formă de prismă cu două puncte de reazem A și B (a), forțele date și reacțiunile (b)

Ecuatiile de echilibru:

$$\sum F_{kx} = F_A - P - N_B = 0 \quad (5.17)$$

$$\sum F_{ky} = N_A + F_B - G - F_P = 0; \quad (5.18)$$

$$\sum m_A(F_k) = -G \frac{l}{2} + Ph + N_B h + F_B l - F_P l = 0; \quad (5.19)$$

$$\sum m_B(F_k) = -N_A l + F_A h + G \frac{l}{2} = 0; \quad (5.20)$$

$$F_A = fN_A; \quad (5.21)$$

$$F_B = fN_B; \quad (5.22)$$

$$F_P = fP. \quad (5.23)$$

Din (5.17) reiese că

$$F_A = P + N_B.$$

Deplasarea particulei în stânga va avea loc când suma forțelor P și N_B va fi mai mare decât forța de frecare F_A .

Determinarea reacțiunii normale N_A . Pentru aceasta în (5.18) substituim F_B din (5.22) și F_P din (5.23) și obținem

$$N_A + fN_B - G - fP = 0$$

Substituind valoarea lui P determinată din (5.17) obținem

$$N_A + fN_B - G + f(fN_A - N_B) = 0;$$

$$N_A + fN_B - G + f^2 N_A - fN_B = 0;$$

$$N_A(1 + f^2) = G;$$

$$N_A = \frac{G}{1 + f^2}. \quad (5.24)$$

Substituind (5.24) în (5.21) obținem F_A

$$F_A = G \frac{f}{1 + f^2}. \quad (5.25)$$

Substituind în (5.20) valoarea lui N_A din (5.24) și F_A din (5.25) se determină înălțimea h funcție de lungimea particulei l și coeficientul de frecare f

$$-\frac{G}{1 + f^2} l + \frac{Gfh}{1 + f^2} + G \frac{l}{2} = 0;$$

$$-\frac{l}{1 + f^2} + \frac{fh}{1 + f^2} + \frac{l}{2} = 0;$$

$$h = \frac{l(1 - f^2)}{2f}. \quad (5.26)$$

Din (5.18) se determină N_B . Efectuând transformările necesare obținem

$$N_B = G \frac{f}{1 + f^2}. \quad (5.27)$$

Din (5.19) se vede că forța P este egală cu zero ceea ce ne dovedește faptul că echilibrul particulei în stare statică va fi asigurat când înălțimea reazemului (punctul B) va fi egală sau mai mare decât h determinat cu formula (5.26). Rostogolirea particulei va avea loc când forța P va fi mai mare ca zero. Deplasarea particulei fără rostogolire va avea loc când înălțimea h va fi mai mică decât valoarea determinată cu formula (5.26) și P mai mare ca zero.

Particula în formă de prismă situată pe un plan orizontal este acționată de sus de organul de amestecare.

Asupra particulei acționează de sus sub un unghi α față de verticală forța R (fig. 5.8) pe care o descompunem în două forțe: P – orizontală și V – verticală. Forța de gravitație a particulei 3 nu se ia în considerație deoarece în realitate ea este foarte mică în comparație cu forța R . Forțele de reacțiune sunt (fig. 5.8,b): reacțiunea normală N și forța de frecare F îndreptată contra mișcării.

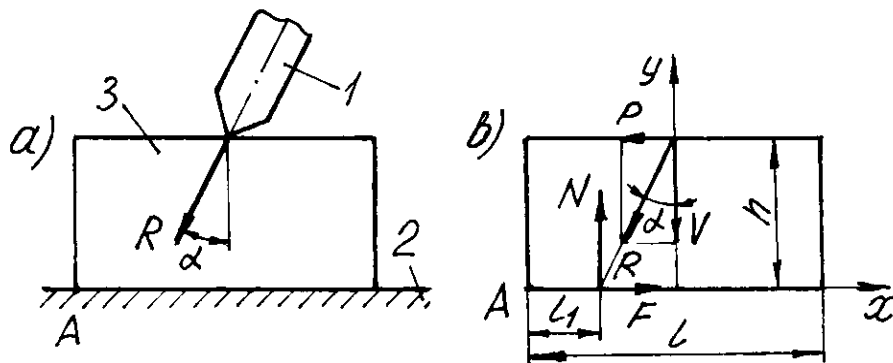


Fig. 5.8. Acționarea de sus a particulei în formă de prismă situată pe un plan orizontal

Ecuatiile de echilibru:

$$\sum F_{kx} = F - P = 0; \quad (5.28)$$

$$\sum F_{ky} = V - N = 0; \quad (5.29)$$

$$\sum M_A(F_k) = Ph - V \frac{l}{2} + N \frac{l_1}{2} = 0; \quad (5.30)$$

$$F = fN, \quad (5.31)$$

unde h – înălțimea particulei;

l - dimensiunea particulei măsurată în direcția mișcării;

f - coeficientul de frecare dintre particula 3 și planul 2.

Din (5.28) reiese că $F=P$. Forța P depinde de valoarea unghiului α de înclinare a barei față de verticală.

$$P = V \operatorname{tg} \alpha = N \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.32)$$

Având în vedere (5.31) scriem

$$fN = N \operatorname{tg} \alpha;$$

$$f = \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \rho = \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\rho = \alpha, \quad (5.33)$$

unde ρ - unghiul de frecare.

Dacă unghiul de înclinare α al forței R va fi mai mare decât unghiul de frecare ρ , particula se va deplasa în stânga ($\alpha > \rho$). Dacă α va fi mai mic decât ρ , particula se va bloca. Dacă rezultanta R va trece mai la stânga de punctul A, particula se va rostogoli, iar dacă va trece mai la

dreapta de punctul A, va avea loc depășirea particulei dacă α va fi mai mare decât ρ , sau blocarea - dacă α va fi mai mic decât ρ .

5.2.4. Particula în formă de pană pe o suprafață plană

Organul de amestecare 1 efectuează o deplasare rectilinie paralelă cu orizontul. La contactarea capătului barei 1 cu particula 3 în formă de pană apare forța R de contactare normală pe suprafața superioară a penei, pe care o descompunem în două forțe: $R \sin \alpha$ - orizontală și $R \cos \alpha$ - verticală. Forța de gravitație a particulei este mică în comparație cu forța R și nu se ia în considerație. Forțele de reacție sunt: reacțiunea normală N și forța de frecare F îndreptată contra mișcării.

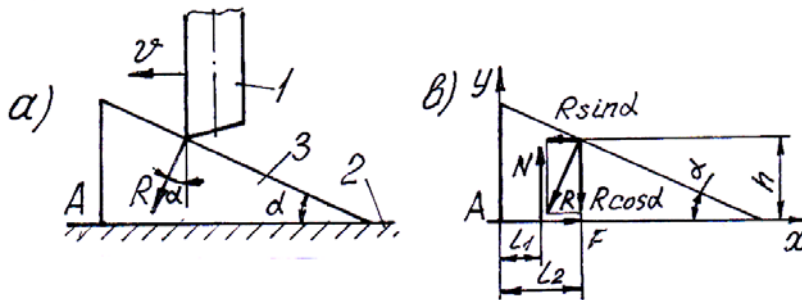


Fig. 5.9. Acțiunea de sus a particulei în formă de pană situată pe un plan orizontal

Ecuțiile de echilibru:

$$\sum F_{kx} = F - R \sin \alpha = 0 ; \quad (5.34)$$

$$\sum F_{ky} = N - R \cos \alpha = 0 ; \quad (5.35)$$

$$\sum M_A(F_k) = hR \sin \alpha + Nl_1 - l_2 R \cos \alpha = 0 ; \quad (5.36)$$

$$F = fN \quad (5.37)$$

unde α - unghiul penei;

h - înălțimea de acțiune a forței R .

Din (5.34) și (5.35) reiese

$$F = R \sin \alpha ; \quad (5.38)$$

$$N = R \cos \alpha. \quad (5.39)$$

Substituind (5.38) și (5.39) în (5.37) obținem

$$R \sin \alpha = fR \cos \alpha ;$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = f ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \rho ;$$

$$\alpha = \rho. \quad (5.40)$$

Când unghiul penei α va fi mai mic decât unghiul de frecare ρ va avea loc blocarea particulei. Când unghiul α va fi mai mare decât ρ particula se va deplasa în stânga. Dacă forța R va trece mai la stânga de punctul A va avea loc răsturnarea particulei.

5.2.5. Particula în formă de pană pe o suprafață cilindrică concavă

Examinăm cazul când bara (organul de amestecare) este perpendicular pe axa x (fig. 5.10). Organul de amestecare 1 se rotește în jurul axei tobei orizontale 2. La contactarea capătului barei cu particula 3 în formă de pană apare forța normală R pe care o descompunem în două forțe: orizontală $R \sin \alpha$ și verticală $R \cos \alpha$. Forța de gravitație a particulei nu se ia în considerație din cauza mărimii ei nesemnificative. Forțele de reacție sunt: reacțiunile normale N_A și N_B în punctele A și B corespunzător, forțele de frecare F_A și F_B în aceleași puncte. La o situație simetrică a barei față de punctele A și B forțele $N_A \sin \beta$ și $N_B \sin \beta$ sunt egale.

Condițiile de echilibru:

$$\sum F_{kx} = F_A \cos \beta + F_B \cos \beta - R \sin \alpha + N_A \sin \beta - N_B \sin \beta = 0; \quad (5.41)$$

$$\sum F_{ky} = -F_A \sin \beta + F_B \sin \beta + N_A \cos \beta + N_B \cos \beta - R \cos \alpha = 0; \quad (5.42)$$

$$F_A = fN_A; \quad (5.43)$$

$$F_B = fN_B, \quad (5.44)$$

unde β - unghiul dintre linia de acțiune a forței $R \cos \alpha$ și reacțiunile N_A și N_B .

Substituim (5.43) și (5.44) în (5.41) și având în vedere că $N_A \sin \beta = N_B \sin \beta$ obținem

$$\begin{aligned} fN_A \cos \beta + fN_B \cos \beta &= R \sin \alpha; \\ f(N_A \cos \beta + N_B \cos \beta) &= R \sin \alpha. \end{aligned} \quad (5.45)$$

Deoarece $F_A = F_B$ ecuația (5.42) se scrie în felul următor

$$N_A \cos \beta + N_B \cos \beta = R \cos \alpha. \quad (5.46)$$

Substituind (5.46) în (5.45) obținem

$$\begin{aligned} f(R \cos \alpha) &= R \sin \alpha; \\ f \cos \alpha &= \sin \alpha; \\ f &= \operatorname{tg} \alpha; \\ \rho &= \alpha. \end{aligned}$$

Când unghiul α al particulei va fi mai mare decât unghiul de frecare ρ blocarea nu va

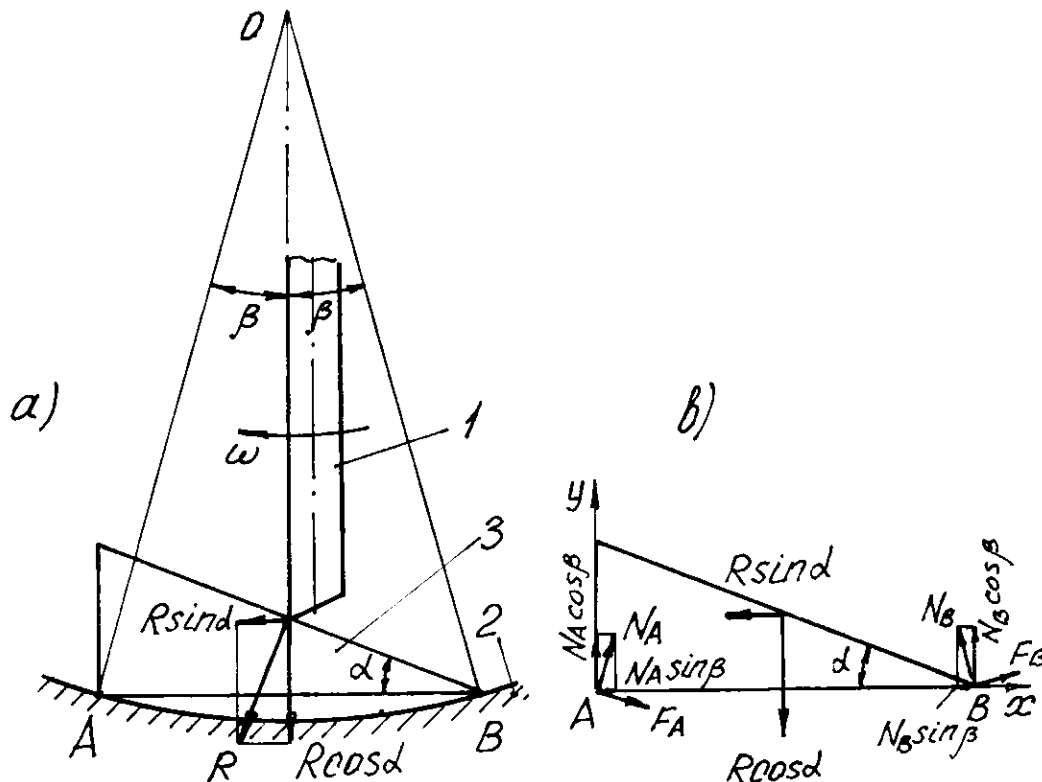


Fig. 5.10. Acțiunea de sus a particulei în formă de pană situată pe o suprafață cilindrică concavă

avea loc și invers. Trebuie de menționat faptul că în locul contactării barei cu particula din cauza tensiunilor locale mari poate avea loc distrugerea locală și formarea adânciturii în care se va situa capătul barei. Pereții acestei adâncituri servesc ca reazem pentru bară și, în așa mod, particula va fi împinsă de către bară indiferent ce unghi inițial α a avut particula.

5.3. Rezistența la înaintare a barei funcție de luftul dintre capătul ei și suprafața tobei

Malaxoarele de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare [27] dau posibilitate de a prepara amestecuri de mortar și de beton cu consum de energie mai mic datorită intensificării acestui proces și excluderii blocării. Amestecarea se efectuează prin cădere liberă a componentelor și forțat.

Deoarece, conform construcției acestui malaxor, distanța de la capătul organului de amestecare până la suprafața interioară a tobei trebuie să fie mai mare decât dimensiunea maximală a particulelor materialelor care se amestecă este necesar de a determina valorile acestui luft pentru diferite mărimi ale particulelor și în ce condiții apare sau dispăre blocarea organului de lucru. Pentru rezolvarea acestor întrebări s-au efectuat cercetări ale dependenței rezistenței la înaintare a barei (organului de amestecare) prin diferite medii de lucru de luftul dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei.

Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru s-a determinat conform metodei descrise în subcapitolul 3.2. Diametrul tobei malaxorului este de 300 mm, diametrul barei – 10 mm, mediul de lucru: nisip cu dimensiunile particulelor $a \leq 0,63$ mm, $a = 0,63...1,25$ mm, piatră spartă cu $a = 2,5...5$ mm, $a = 5...10$ mm și $a = 10...20$ mm. Umiditatea materialelor $W = 3.4$ %. Coeficientul de umplere a tobei $K_u = 0,5$.

Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 5.2 în care fiecare valoare reprezintă media a patru măsurători. Suprafața materialului în tobă este înclinată sub un unghi care se obține la rotirea multiplă a arborelui cu bara.

Tabelul 5.2. Rezistența la înaintare în N a barei funcție de luftul dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei

Luftul ϵ , mm	Mediul de lucru				
	nisip cu dimensiunea a, mm		piatră spartă cu dimensiunea a, mm		
	<0,63	0,63...1,25	2,5...5	5...10	10...20*
0,55	84	111	150	–	120
0,925	72	98	192	240	–
1,30	69	96	168	–	120
1,675	67	90	216	260	–
2,05	65	89	200	–	300
2,425	60	87	208	236	–
2,80	64	89	196	–	420
3,175	60	82	240	280	–
3,55	56	81	168	–	–
3,925	57	74	148	330	480
8,925	40	63	100	232	480
13,925	32	52	108	240	440
20,93	35	41	60	196	180
25,93	30	–	–	156	210
27,93	30	32	44	–	150
29,93	–	–	–	140	150

* pentru aceste dimensiuni coeficientul de umplere $K_u = 0,3$, diametrul barei $d = 20$ mm.

La trecerea barei prin material, rezistența la înaintare se mărește. Această creștere este însoțită de salturi ale rezistenței care apar din cauza blocării. Valoarea rezistenței salturilor la începutul mersului barei este mică, apoi crește cu adâncirea în material, atinge maximumul la un unghi egal cu $75...80^\circ$ de la orizontală. Fiecare salt de rezistență este însoțit de o trosnitură ceea ce confirmă sfărâmarea particulei care a nimerit între capătul barei și suprafața interioară a tobei. În procesul blocării între capătul barei și tobă pot nimeri 1, 2 și chiar 3 bucăți de material. Aceasta se întâmplă

datorită faptului că asupra bucăților de material se exercită tot timpul presiune din partea masei de material care le înconjoară.

Rezultatele experiențelor (tabelul 5.2 și fig. 5.11) ne arată că la lufturi mici sunt mici și rezistențele la înaintare pentru toate materialele cercetate și ele reprezintă rezistența la înaintare a barei fără blocare. La majorarea luftului rezistențele cresc brusc

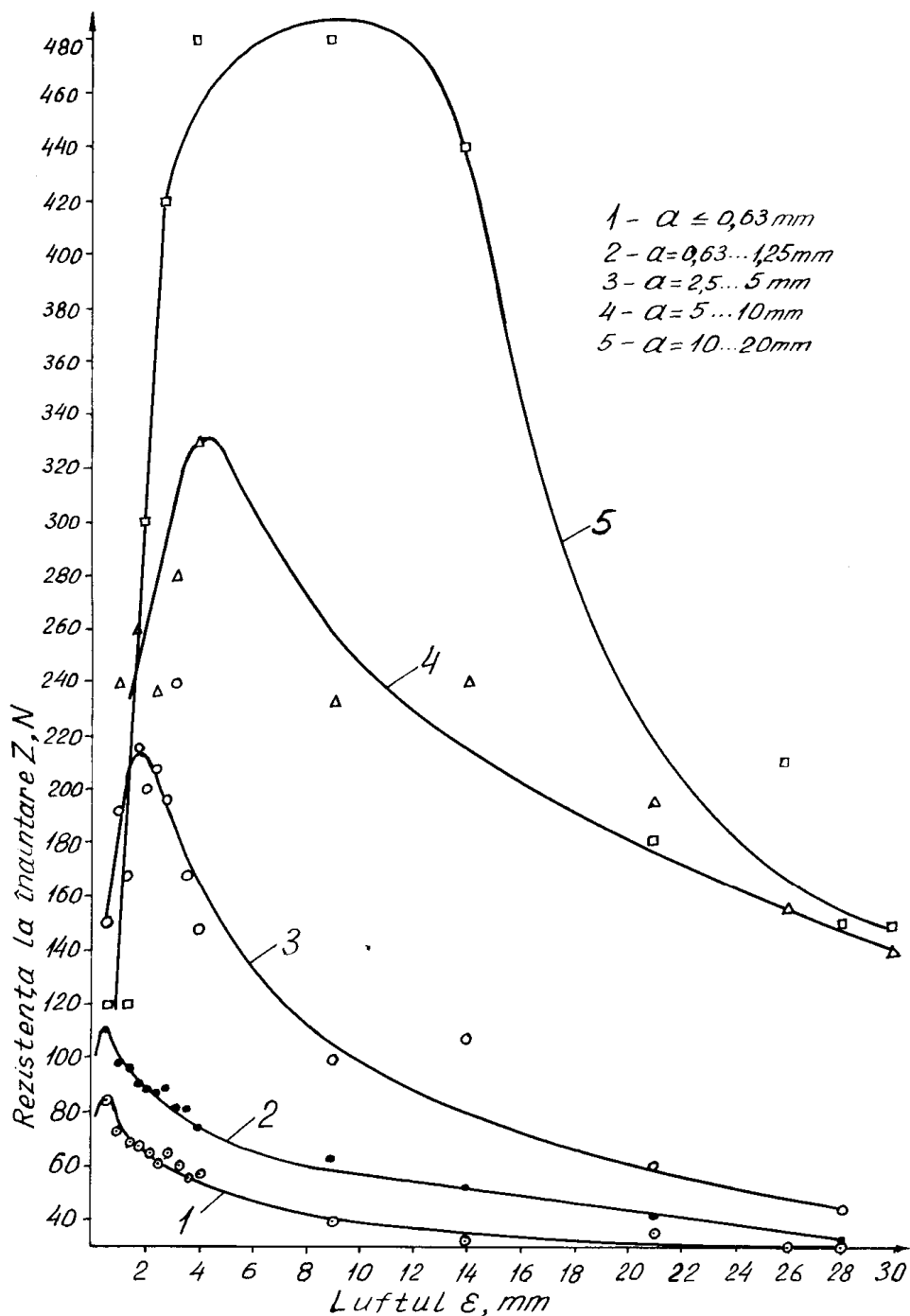


Fig. 5.11. Rezistența la înaintare Z funcție de luftul ε

și ating valori - limită diferite pentru diferite materiale. Așa, pentru nisip cu dimensiunea particulelor $a < 0,63 \text{ mm}$ valoarea maximală a rezistenței (84 N) se obține când luftul devine egal cu 0,50 mm, pentru nisip cu $a = 0,63 \dots 1,25 \text{ mm}$ și piatră spartă cu $a = 2,5 \dots 5 \text{ mm}$ valoarea maximală apare la luftul egal cu 0,55 mm și 1,675 mm corespunzător. Pentru piatră spartă cu $a = 5 \dots 10 \text{ mm}$ maximumul se obține la $\varepsilon = 4 \text{ mm}$, iar pentru $a = 10 \dots 20 \text{ mm}$ - la $\varepsilon = 4 \dots 9 \text{ mm}$. Valorile maximale

ale rezistențelor includ rezistența necesară pentru înaintarea barei prin material și rezistența datorită blocării.

La majorarea de mai departe a luftului vedem că pentru toate tipurile de materiale cercetate rezistența se micșorează nu prea brusc atingând valoarea egală cu rezistența la înaintare fără blocare, apoi micșorându-se cu creșterea luftului.

Schimbarea rezistențelor maxime funcție de dimensiunile particulelor se supune uneia și aceeași legărități: cu cât dimensiunile particulelor sunt mai mari cu atât rezistența maximală este mai mare. Aceasta se lămurește prin aceea că rezistența înregistrată reprezintă componenta tangențială a forței totale de acționare a particulei de către bară. Componenta tangențială depinde de cea normală, care la rândul ei – direct de dimensiunea particulei. Dependența rezistenței maxime de valoarea dimensiunilor particulelor este practic direct proporțională.

Rezultatele obținute ne dau posibilitate de a determina valoarea rezistenței la înaintare funcție de mărimea luftului dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei. Pentru a avea rezistențe minime de amestecare este necesar ca în malaxoarele de tip nou [27] luftul să fie mai mare de 8 mm pentru nisip cu dimensiunile particulelor $a \leq 1,25$ mm, $\varepsilon > 20$ mm pentru piatră spartă cu $a = 2,5 \dots 5$ mm și $\varepsilon > 28$ mm pentru $a = 5 \dots 20$ mm. Pentru aceste valori ale luftului rezistența la înaintare a barei este mai mică decât rezistența maximală care apare la blocare de 2,2...4,32 ori.

În conformitate cu recomandările [44] și a altor surse luftul dintre capătul paletelor și suprafața cuvei nu trebuie să depășească 5 mm. Anume la această valoare a luftului rezistența la înaintare a barei este maximală pentru piatră spartă cu dimensiunea $a = 5 \dots 10$ mm ($Z = 330$ N) și $a = 10 \dots 20$ mm ($Z = 480$ N). Deci valoarea luftului trebuie să fie cu mult mai mică decât cea recomandată. Însă această cerință este greu de îndeplinit pe o durată mare de timp, deoarece capetele paletelor se uzează foarte rapid, luftul crește, blocarea se întetește.

Utilizarea malaxorului cu tobă rotativă și arbore rotativ cu organe de amestecare în formă de bare cu luftul optimal între capetele barelor și suprafața interioară a tobei conduce la micșorarea rezistențelor la înaintare a barelor prin material de 2,2...4,32 ori.

Este importantă cunoașterea influenței gradului de umplere a tobei cu material (a coeficientului de umplere) asupra rezistenței la înaintare a barei pentru diferite lufturi dintre capătul barei și suprafața tobei și pentru diferite raze ale tobei. Pentru aceasta experiențele s-au efectuat în malaxorul de cercetare universal cu diametrele tobei de 0,55 m și 0,68 m. Materialul din tobă a fost piatra spartă (calcar) cu dimensiunile particulelor $a = 10 \dots 15$ mm, diametrul barei, confecționată din oțel 35HGSA cu rezistența - limită la rupere $\sigma_l = 1650$ MPa [45], este de 21 mm. S-au adoptat valori ale luftului $\varepsilon = 3$ mm și $\varepsilon = 27$ mm la care rezistența la înaintare trebuie să fie acceptată atât pentru malaxoarele cu palete (prima valoare) cât și pentru malaxoarele cu bare (valoarea a doua). Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 5.3 și în fig.5.12.

Vedem că la majorarea coeficientului de umplere rezistența la înaintare se mărește mai întâi lin (la $K_u = 0,1 \dots 0,2$), apoi creșterea rezistenței este foarte puternică ($K_u = 0,2 \dots 0,5$).

Raza mare a tobei conduce la formarea rezistențelor mai mari (curbele 3 și 4) pentru orice coeficient de umplere.

Tabelul 5.3. Rezistența la înaintare în N funcție de coeficientul de umplere K_u , raza tobei R și luftul ε

Raza tobei R , m	Luftul ε , mm	Coeficientul de umplere K_u				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,275	3	144	288	767	1386	2478
	27	109	262	689	1540	2126
0,340	3	143	445	991	2417	3700*
	27	140	496	1362	2091	3150

* $K_u = 0,42$

Vedem că la majorarea coeficientului de umplere rezistența la înaintare se mărește mai întâi lin (la $K_u=0,1...0,2$), apoi creșterea rezistenței este foarte puternică ($K_u=0,2...0,5$).

Raza mare a tobei conduce la formarea rezistențelor mai mari (curbele 3 și 4) pentru orice coeficient de umplere.

Influența aerului dintre capătul barei și corpul tobei depinde de valoarea coeficientului de umplere. Când coeficientul de umplere este egal cu 0,1 iar aerul $\varepsilon=3$ mm valorile rezistențelor la înaintare a barei nu se deosebesc semnificativ în tobe cu diferite raze. La coeficienți de umplere $K_u=0,15...0,35$ rezistența la înaintare este mai mare pentru aerul egal cu 27 mm pentru ambele raze ale tobei. La coeficienți de umplere mai mari de 0,38 rezistențele sunt mai mari când aerul este de 3 mm. Aceasta, la părerea noastră, este rezultatul influenței forțelor de gravitație a amestecului care contribuie la blocarea particulelor între capătul barei și corpul tobei.

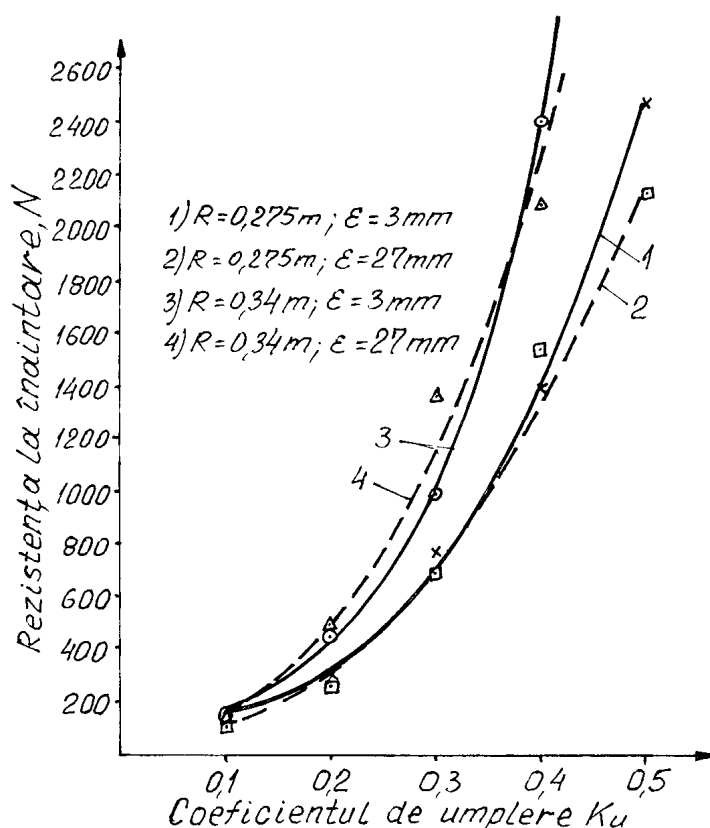


Fig. 5.12. Influența coeficientului de umplere K_u , a razei tobei R și aerului dintre capătul barei și corpul tobei asupra rezistenței de înaintare

5.4. Grosimea zonei de material acționat de organul de amestecare

Determinarea grosimii zonei de material acționat de bară în procesul amestecării urmărește câteva scopuri, și anume, studierea interacțiunii barelor, optimizarea situației barelor pe suprafața arborelui și determinarea lungimii malaxorului destinat cercetărilor rezistențelor la înaintare a barei prin diferite materiale.

Metodica determinării grosimii zonei de material acționat de bară constă în următoarele. Se determină rezistența la înaintare a barei prin diferite medii de lucru și pentru diferite distanțe l ale ei de la peretele de capăt (fig. 5.13,a), începând cu valoarea minimă a lui l . Distanța l la care nu mai are loc micșorarea rezistenței la înaintare a barei constituie jumătate din grosimea zonei de material acționat de bară.

Rezistența barei s-a determinat în malaxorul cu diametrul tobei egal cu 300 mm în nisip cu dimensiunea particulelor $a \leq 1$ mm și umiditatea $W=(3...4)\%$, coeficientul de umplere a tobei $K_u=0,5$ diametrul barei $d=10$ mm.

Rezultatele măsurărilor sunt prezentate în tabelul 5.4, iar în mod grafic - în fig. 5.14. Numărul de măsurări pentru fiecare distanță este 6.

Observăm, că (tabelul 5.4, fig. 5.14.) în nemijlocita apropiere a barei de peretele de capăt rezistența la înaintare este maximă. La majorarea distanței l rezistența se micșorează până când l atinge valoarea de 25 mm, apoi iarăși crește și la distanța $l= 40$ mm apare un maximum. Majorarea de mai departe a distanței l conduce la micșorarea lină a rezistenței, apoi ea rămâne constantă începând cu $l = 130...160$ mm.

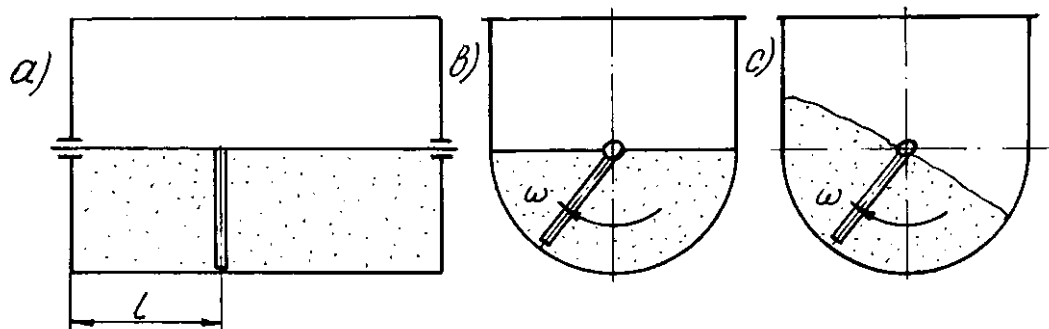


Fig. 5.13. Schema malaxorului: a)secțiunea longitudinală; b)secțiunea transversală (nivelul materialului orizontal); c)secțiunea transversală (nivelul materialului înclinat)

Tabelul 5.4. Rezistența la înaintare în N a barei prin nisip funcție de distanța ei de la peretele de capăt

Nr.	Situarea nivelului nisipului	Distanța de la perete până la centrul barei l , mm						
		8	25	40	70	100	130	160
1	orizontală (fig. 5.13,b)	164	106	110	100	94	82	78
2	înclinată (fig. 5.13, c)	98	66	74	62	62	52	52
	Raportul 1/2	1,67	1,61	1,49	1,61	1,52	1,58	1,5

Valoarea maximă a rezistenței la înaintare când distanța l este minimă se datorează faptului că între peretele de capăt și bară se produce blocarea (fig. 5.15,a). În această poziție bara învinge următoarele rezistențe: r_b - de blocare; r_f - de frecare dintre material și bară; r - de presare a masei de material din fața barei; z_{fp} - de frecare dintre material și suprafața peretelui de capăt.

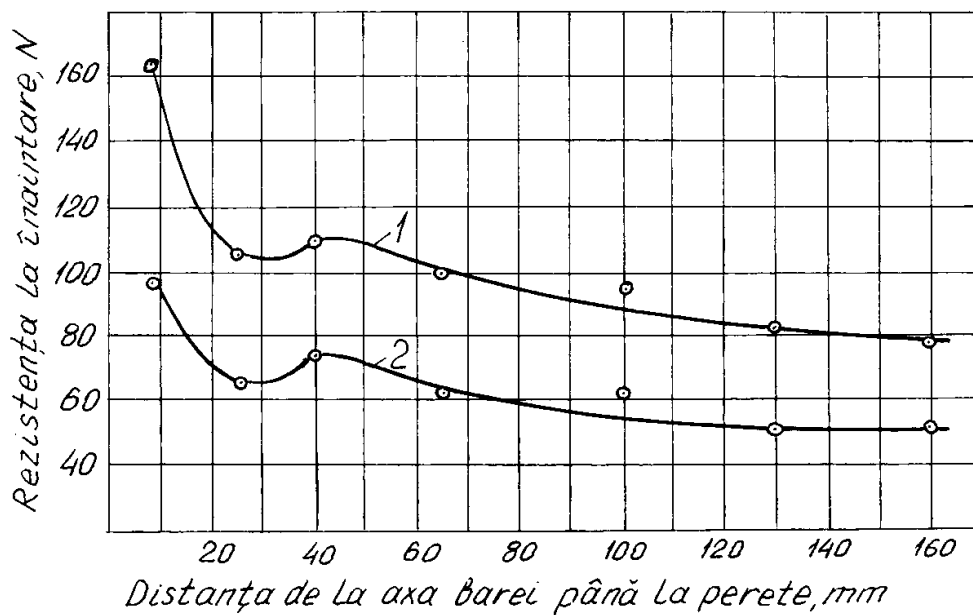


Fig. 5.14. Dependența rezistenței la înaintare de distanța barei de la peretele de capăt al tobei: 1-nivelul orizontal al materialului; 2-nivelul înclinat

La majorarea distanței l rezistența se micșorează, în primul rând, datorită diminuării efectului blocării și, în al doilea rând, din cauza micșorării suprafeței de frecare dintre material și peretele de capăt. În acest caz (fig. 5.15,b) bara învinge rezistențele r_f , r și r_{fp} . La majorarea de mai departe a distanței dintre bară și perete are loc majorarea volumului de material acționat de bară și situat în stânga ei. Aceasta conduce, necătând la micșorarea suprafeței de frecare dintre material și peretele de capăt, la majorarea rezistenței de deplasare.

Când distanța l este destul de mare (fig. 5.15,c), și anume, zona de material acționată de bară nu contactează cu peretele de capăt, bara învinge numai rezistențele r_f și r și de aceea rezistența totală este minimală și nu-și schimbă valoarea la majorarea lui l (fig. 5.14).

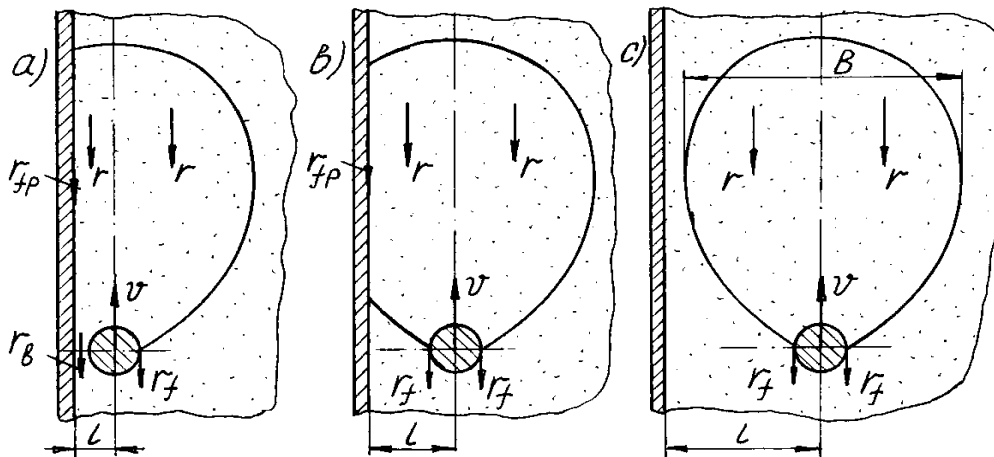


Fig. 5.15. Schemele zonelor de material acționate de bară (în secțiune transversală față de bară) funcție de distanța de la peretele de capăt

Pentru pozițiile barei indicate în fig. 5.15 se pot scrie următoarele ecuații de echilibru static al barei:

- a) $P=r_b+r_f+r+r_{fp}$;
- b) $P=r_f+r+r_{fp}$;
- c) $P=r_f+r$,

unde P -forța de acțiune a barei asupra materialului sau rezistența la înaintare a barei.

Folosind graficul din (fig. 5.14) putem determina grosimea zonei de material B care este acționată de bară. Dacă la majorarea distanței l nu mai are loc schimbarea rezistenței la înaintare a barei prin material aceasta înseamnă că zona de material nu mai contactează cu peretele de capăt. Vedem că la distanțe mai mari de 150...160 mm rezistența nu-și schimbă valoarea și deci grosimea zonei de material acționată de bară este $B=2l=300...320$ mm, sau $B = (30...32)d$, unde d este diametrul barei.

Altă concluzie se referă la influența poziției nivelului de material asupra rezistenței la înaintare a barei. Rezistența barei în material cu nivelul orizontal (fig. 5.13, b) este de 1,5...1,67 ori mai mare decât rezistența barei în material cu nivelul înclinat față de orizont (fig. 5.13, c). Nivelul înclinat al materialului se obține în rezultatul multiplelor treceri ale barei prin material și este o stare reală a procesului de amestecare.

Concluzii:

1. În malaxoarele cu bare pot avea loc următoarele tipuri de blocare a particulelor: între bare și peretele de capăt al tobei; între capetele barei și suprafața interioară a tobei; între trei bare megieșe; între materialul blocat între bare și suprafața cilindrică a tobei; idem și suprafața pereților de capăt; blocarea totală care include blocările sus - numite.

2. Unghiul de blocare a particulei în formă de sferă este egal sau mai mic decât unghiul dublu de frecare a particulei cu corpul tobei.

3. Pentru evitarea blocării particulei în formă de sferă aerul dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei trebuie să fie mai mic de $0,9d$, unde d este diametrul sferei. Dacă în fața particulei sunt alte particule aerul în acest caz trebuie să fie egal sau mai mic decât raza particulei.

4. La acțiunea particulei în formă de prismă de către bară deplasarea ei fără rostogolire va avea loc când forța de împingere va fi mai mare decât forța de frecare dintre particulă și corpul tobei și brațul ei față de suprafața de sprijin va fi nul.

5. Particula în formă de prismă rezemată cu partea din stânga cu o proeminență pe suprafața plană, iar cu partea laterală din dreapta pe bară se va găsi în echilibru când înălțimea reazemului din dreapta va fi egală sau mai mare decât h determinat cu formula (14). Rostogolirea particulei va avea loc când forța de acțiune va fi mai mare ca zero. Deplasarea ei fără rostogolire este posibilă când înălțimea de aplicare a forței de împingere va fi mai mică decât h , iar P va fi mai mare ca zero.

6. Particula în formă de prismă situată pe un plan orizontal și acționată de sus de organul de amestecare se va deplasa când unghiul de înclinare α al forței față de verticală va fi mai mare decât unghiul de frecare ρ . Dacă unghiul α va fi mai mic decât ρ va avea loc blocarea.

7. Utilizarea malaxorului cu tobă rotativă și arbore rotativ cu organe de amestecare în formă de bare cu aerul optimal între capetele barelor și suprafața interioară a tobei conduce la micșorarea rezistențelor la înaintare a barelor prin material de 2,2...4,32 ori.

8. Grosimea totală a zonei acționate de bară la deplasarea ei prin material este egală cu $B = (30...32)d$, unde d este diametrul barei.

9. Rezistența barei în material cu nivelul orizontal este de 1,5...1,67 ori mai mare decât rezistența barei în material cu nivelul înclinat față de orizont.

6. PRODUCTIVITATEA MALAXOARELOR

6.1. Raportul dintre diametrul arborelui malaxorului și diametrul interior al tobei

La determinarea volumului materialului din toba malaxorului când coeficientul de umplere este mai mare de 0,5 și arborele se găsește în material, trebuie să știm care este aria secțiunii materialului ocupată de arbore. La efectuarea calculelor prealabile diametrul arborelui nu este cunoscut, de aceea pe baza construcțiilor existente ale malaxoarelor trebuie stabilit care este diametrul preferențial în funcție de diametrul tobei. Pentru aceasta este destul de a determina raportul dintre diametrul arborelui și diametrul interior al tobei pentru malaxoarele de așa tip.

Tabelul 6.1. Raportul dintre diametrul arborelui malaxorului și diametrul interior al tobei

Tipul malaxorului	Bibliografia	Diametrul tobei D, m	Diametrul arborelui d, mm	Raportul d/D
SM-290	[46]	103 mm pe desen	9,5 mm pe desen	0,09
Malaxor cu două palete elicoidale	[14]	44 mm pe desen	3,5 mm pe desen	0,08
Idem	[31]	49 mm	6,5 mm	0,133
Malaxoare cu doi arbori orizontali:				
D-597A (U.R.S.S.)	[31]	0,632	0,075x0,075	0,119
D-617-2 (U.R.S.S.)	[31]	0,760	0,11x0,11	0,145
454 (S.U.A.)	[31]	0,660	0,076x0,076	0,115
908 (S.U.A.)	[31]	0,840	0,100x0,100	0,119
1360 (S.U.A.)	[31]	0,964	0,100x0,100	0,104
1815 (S.U.A.)	[31]	0,964	0,127x0,127	0,132
SMC-126 cu doi arbori pentru argilă (U.R.S.S.)	[13]	0,75	0,1	0,136
Betonieră S-543	[47]	0,6	0,09	0,15
Malaxor, 325 dm ³	[47]	0,83	0,075x0,075	0,09
Malaxor 1000 dm ³	[47]	1,237	0,136	0,109
Instalație pentru mortar Q = 10 m ³ /oră	[47]	45 mm pe desen	9,6 mm pe desen	0,21
Malaxor cu doi arbori SM-447 A	[46]	0,624	0,110	0,176

În acest scop s-au analizat construcțiile malaxoarelor (tabelul 6.1) și s-au determinat valorile raportului d/D , unde d este diametrul arborelui, iar D – diametrul interior al tobei.

Vedem că pentru malaxoarele analizate raportul d/D are valori diferite care se găsesc în limitele 0,08...0,21. Aruncăm valorile extreme 0,08 și 0,21. Valoarea medie a raportului d/D constituie $\left(\frac{\bar{d}}{D}\right) = 0,12446$. Adoptăm valoarea raportului $d/D = 0,125$.

6.2. Grosimea stratului de material funcție de coeficientul de umplere

Prepararea amestecurilor în malaxoare cu jgheab cu organe de amestecare în formă de bare și obținerea calității necesare a amestecului și a încărcării date a motorului este posibilă la umplerea jgheabului cu componentele amestecului cu un coeficient de umplere K_u stabilit din timp. De coeficientul de umplere depinde productivitatea malaxorului și valoarea rezistențelor de amestecare. La prepararea diverselor amestecuri coeficientul de umplere poate fi de asemenea diferit. La efectuarea cercetărilor malaxoarelor, când coeficientul de umplere este un factor variabil, fixarea lui la diferite niveluri este foarte importantă pentru obținerea rezultatelor juste de influență a lui asupra parametrilor tehnologici și de exploatare.

Coeficientul de umplere depinde de grosimea stratului h de material din toabă, de aceea cunoașterea valorilor grosimii stratului pentru diferiți coeficienți de umplere și diferite construcții de tobe ale malaxoarelor dă posibilitate de a stabili operativ valoarea coeficientului de umplere în diverse condiții de exploatare și experimentări, iar la comandarea automată a procesului de preparare a amestecurilor în malaxoare cu funcționare continuă este posibilă reglarea automată a grosimii stratului în jgheab în funcție de tipul amestecului și rezistența de amestecare.

6.2.1. Determinarea grosimii stratului de material din jgheabul cu secțiune transversală semicerc-dreptunghi

Conform [48] coeficientul de umplere K_u se determină cu raportul ariei secțiunii transversale a materialului din jgheab A_m față de aria secțiunii transversale a jgheabului A_j .

$$K_u = A_m / A_j \quad (6.1)$$

Menționăm că în unele lucrări [31,49] se consideră că coeficientul de umplere este egal cu unu ($K_u = 1,0$) atunci când toba este umplută până la axa arborilor orizontali, ceea ce nu corespunde cu relația (6.1).

Aria secțiunii transversale a jgheabului din fig. 6.1. pentru coeficientul de umplere $K_u = 1$ va fi

$$A_j = A_1 + A_2 - A_3, \quad (6.2)$$

unde A_1 - aria semicercului cu raza R ;

A_2 - aria dreptunghiului ABCD;

A_3 - aria secțiunii transversale a arborelui cu raza r .

Ariile menționate se calculează cu formulele:

$$A_1 = 0,5\pi R^2; \quad (6.3)$$

$$A_2 = AD \cdot AB = 2R \cdot R = 2R^2; \quad (6.4)$$

$$A_3 = \pi r^2 = \pi(0,125R)^2 = 0,049R^2. \quad (6.5)$$

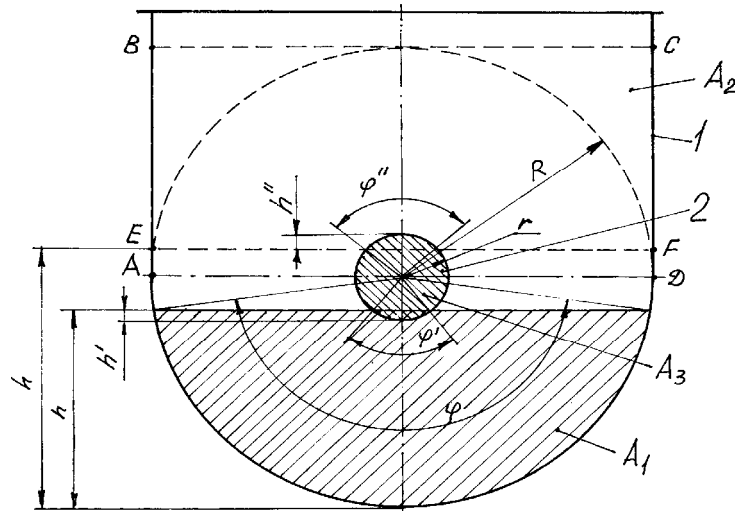


Fig.6.1. Schema de calcul a grosimii stratului de material în jgheab simplu cu secțiune transversală semicerc-dreptunghi: 1- jgheab; 2- arbore

Dependența $r=0,125R$ din formula (6.5) s-a obținut în rezultatul analizei construcțiilor malaxoarelor cu arbori orizontali cu palete (subcapitolul 6.1).

Substituind (6.3), (6.4) și (6.5) în (6.2) obținem

$$A_j = 0,5\pi R^2 + 2R^2 - 0,049R^2 = 3,521R^2. \quad (6.6)$$

Aria secțiunii transversale a materialului din jgheab se determină pentru patru cazuri: a) când $h < R-r$; b) $R-r < h < R$; c) $h < R+r$; d) $h > R+r$. Să analizăm fiecare caz aparte.

a) $h < R-r$; materialul nu ajunge până la arbore.

Secțiunea transversală a materialului reprezintă un segment de cerc aria căruia se determină conform [50] cu formula

$$A_m = A_{\text{segm}} = 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi), \quad (6.7)$$

unde φ - unghiul central al segmentului în rad. (fig.6.1).

Substituind (6.6) și (6.7) în (6.1) obținem

$$K_u = \frac{0,5R^2(\varphi - \sin \varphi)}{3,521R^2} = 0,142(\varphi - \sin \varphi). \quad (6.8)$$

Determinăm valorile unghiului central φ pentru diferiți coeficienți de umplere. Pentru $K_u=0,1$ ecuația (6.8) se rezolvă astfel

$$0,1 = 0,142(\varphi - \sin \varphi);$$

$$0,7042 = \varphi - \sin \varphi;$$

$$\sin \varphi = \varphi - 0,7042.$$

Valorile lui $\sin \varphi$ se găsesc în limitele -1 și +1, deci

$$-1 \leq \varphi - 0,7042 \leq 1,$$

de unde

$$-0,2958 \leq \varphi \leq 1,07042.$$

Pentru $K_u=0,1$ valoarea lui φ este de 1,697 rad., iar înălțimea segmentului este egală cu grosimea stratului de material și se determină conform [43] cu formula

$$h = 2R \sin^2\left(\frac{\varphi}{4}\right). \quad (6.9)$$

Substituind în (6.9) valoare unghiului φ obținem $h=0,33889R$.

Analogic se determină φ și h pentru coeficienții de umplere $K_u=0,2$ și $K_u=0,3$. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 6.2. La calcularea valorii lui h pentru $K_u=0,4$ vedem că h este mai mare decât $R-r$ de aceea trecem la cazul b).

b) $R-r < h < R$, arborele se găsește în material.

Aria secțiunii transversale a materialului se determină cu relația

$$A_m = A_{\text{segm}} - A'_{\text{segm}} = 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) - 0,5r^2(\varphi' - \sin \varphi'), \quad (6.10)$$

unde A_{segm} – aria segmentului de material (formula 6.7);

A'_{segm} – aria segmentului arborelui cu unghiul central φ' (fig.6.1).

Substituind (6.10) și (6.6) în (6.1) obținem formula pentru determinarea coeficientului de umplere ținând seama de relația $r = 0,125R$

$$K_u = 0,142(\varphi - \sin \varphi) - 0,0022(\varphi' - \sin \varphi'). \quad (6.11)$$

În formula (6.11) sunt două necunoscute φ și φ' chiar dacă K_u este dat. De aceea pentru un malaxor concret cu raza $R=150$ mm s-au determinat unghiurile φ și φ' folosind formula (6.9), apoi coeficienții de umplere cu formula (6.11) pentru următoarele grosimi ale stratului de material h : 135, 140 și 145 mm. Coeficienții K_u calculați pentru aceste grosimi sunt prezentați în fig. 6.2. Din graficul construit vedem că pentru $K_u=0,4$ grosimea stratului este $h=138,3$ mm. Pentru această grosime s-a determinat unghiul φ și φ' folosind formula (6.9). Substituind φ în formula (6.9) grosimea stratului de material în mod general pentru $K_u=0,4$ se va determina cu relația $h=0,922R$.

c) $h < R+r$; grosimea stratului de material este mai mare decât raza cercului R însă nu depășește suma razei cercului cu raza arborelui.

Aria secțiunii transversale a materialului se determină cu relația

Tabelul 6.2. Grosimea h a stratului de material în malaxorul cu ax orizontal și jgheab cu transversală semicerc-dreptunghi în funcție de coeficientul de umplere K_u pentru diferite raze R ale jgheabului (raza arborelui $r = 0,125R$)

Coeficientul de umplere K_u	Grosimea stratului de material h , m					
	Formula de calcul a lui h	Raza jgheabului R , m				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	$0,33889R$	0,0339	0,0678	0,1017	0,1356	0,1694
0,2	$0,5513 R$	0,0551	0,1103	0,1654	0,2205	0,2757
0,3	$0,7398 R$	0,0740	0,1480	0,2219	0,2959	0,3699
0,4	$0,9220 R$	0,0922	0,1844	0,2766	0,3688	0,4610
0,5	$1,1200 R$	0,1120	0,2240	0,3360	0,4480	0,5600
0,6	$1,2958 R$	0,1296	0,2592	0,3887	0,5183	0,6479
0,7	$1,4719 R$	0,1472	0,2944	0,4416	0,5888	0,7360
0,8	$1,6479 R$	0,1648	0,3296	0,4944	0,6592	0,8240
0,9	$1,8240 R$	0,1824	0,3648	0,5472	0,7296	0,9120
1.0	$2,000 R$	0,2000	0,4000	0,6000	0,8000	1,0000

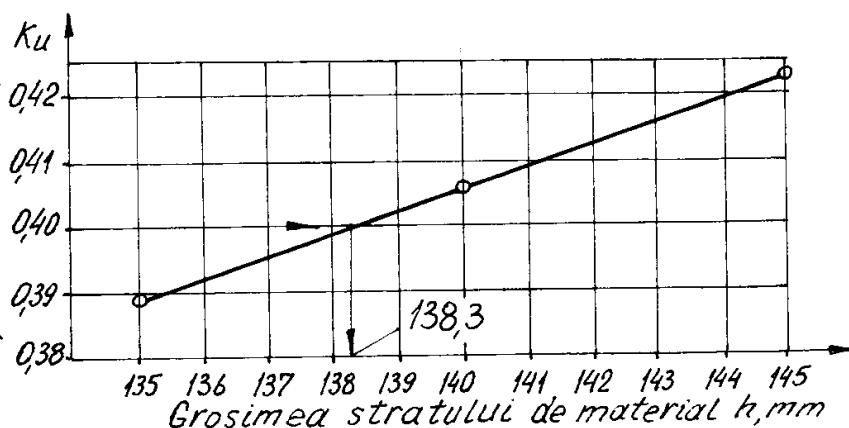


Fig. 6.2. Dependența coeficientului de umplere K_u de grosimea stratului de material h

$$\begin{aligned}
 A_m &= A_1 - 0,5A_3 + (h-R)2R - [0,5A_3 - 0,5r^2(\varphi'' - \sin\varphi'')] = \\
 &= 0,5\pi R^2 - 0,5 \times 0,049R^2 + 2Rh - 2R^2 - [0,5 \times 0,049R^2 - 0,5(0,125R)^2(\varphi'' - \sin\varphi'')] = \quad (6.12) \text{ unde } \varphi'' \\
 &= 2Rh - 0,47906R^2 + 0,007813R^2(\varphi'' - \sin\varphi''),
 \end{aligned}$$

- unghiul central al segmentului arborelui (fig.6.1).

Coeficientul de umplere K_u se determină cu formula

$$K_u = \frac{2Rh - 0,47906R^2 + 0,007813R^2(\varphi'' - \sin\varphi'')}{3,521R^2} \quad (6.13)$$

Folosind aceeași procedură ca și în p.b pentru grosimea stratului de material de 155, 160 și 168,75 mm s-a determinat coeficientul de umplere, iar din graficul construit – valoarea lui h . Pentru $K_u=0,5$ grosimea h este de 167,95 mm. Pentru această grosime s-a determinat unghiul φ'' folosind formula (6.9). S-a obținut următoarea relație pentru determinarea grosimii stratului de material în acest tip de malaxoare pentru $K_u=0,5$ $h = 1,1199R$.

d) $h > R+r$; *materialul acoperă arborele.*

Aria secțiunii transversale a materialului se determină cu relația

$$A_m = A_1 + (h-R)2R - A_3 = 0,5\pi R^2 + (h-R)2R - 0,049R^2, \quad (6.14)$$

iar coeficientul de umplere cu formula

$$K_u = \frac{A_m}{A_j} = \frac{1,57R^2 + 2Rh - 2R^2 - 0,049R^2}{3,521R^2} = \frac{2Rh - 0,479R^2}{3,521R^2}. \quad (6.15)$$

Pentru $K_u=0,6$; 0,7; 0,8; 0,9 și 1,0 se determină h folosind relația (6.15). Rezultatele determinării lui h sunt prezentate în tabelul 6.2, iar reprezentarea grafică în fig.6.3.

6.2.2. Determinarea grosimii stratului de material din jgheabul cu secțiune transversală în formă de cerc

Schema secțiunii jgheabului în formă de cerc este prezentată în fig. 6.4. Aria totală a secțiunii transversale a jgheabului pentru $K_u=1$ va fi

$$A_j = A_4 - A_3 = \pi R^2 - \pi r^2 = 3,14R^2 - 3,14(0,125R)^2 = 3,091R^2; \quad (6.16)$$

unde A_4 – aria cercului cu raza R ; A_3 – aria cercului cu raza r .

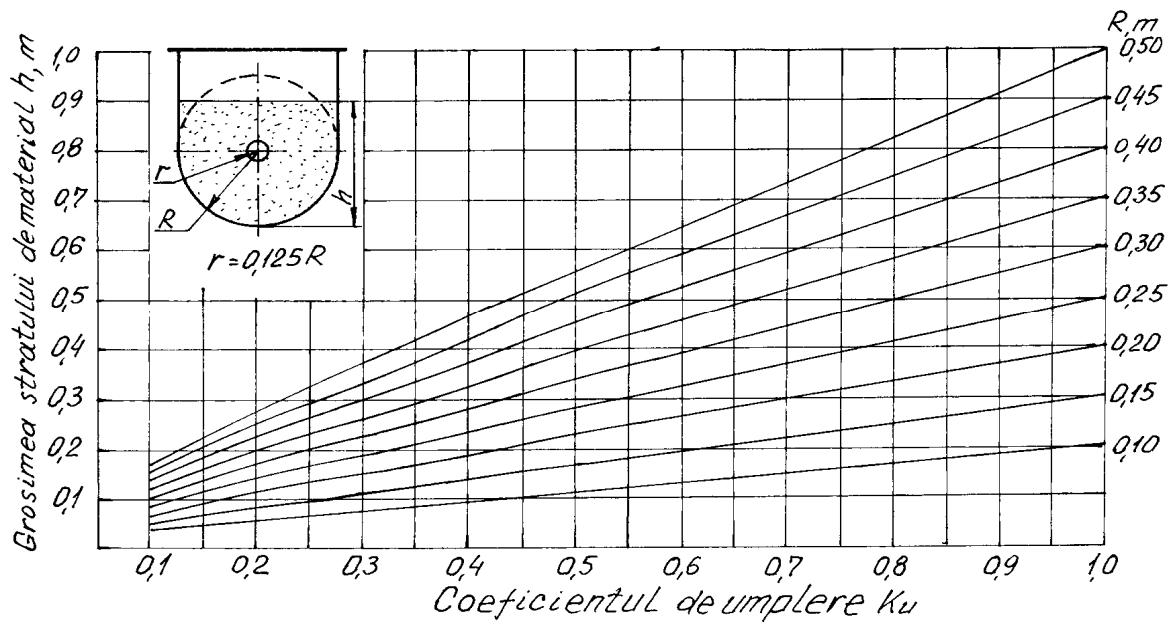


Fig. 6.3. Dependența grosimii h a stratului de material din jgheabul cu secțiune transversală semicerc – dreptunghi de coeficientul de umplere K_u

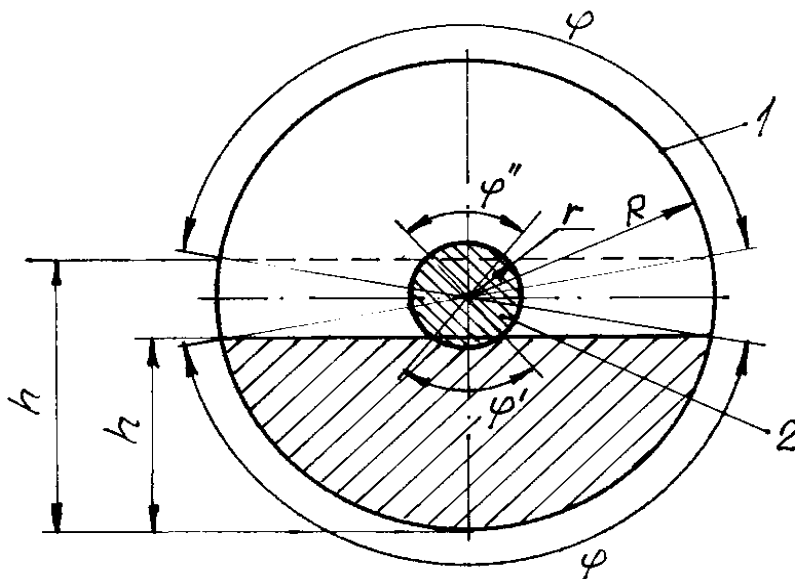


Fig. 6.4. Schema de calcul a grosimii stratului de material în jgheabul malaxorului: 1-corp; 2-arbore

Analogic cu calculele efectuate mai sus analizăm patru cazuri: a) $h < R - r$; b) $R - r < h < R$; c) $h < R + r$; d) $h > R + r$.

a) $h < R - r$

Aria secțiunii transversale a materialului se determină cu formula (6.7). Coeficientul de umplere.

$$K_u = \frac{A_m}{A_j} = \frac{0,5R^2(\varphi - \sin \varphi)}{3,091R^2} = 0,16176(\varphi - \sin \varphi). \quad (6.17)$$

Pentru coeficienții de umplere $K_u = 0,1; 0,2; 0,3; \text{ și } 0,4$ se determină unghiul central φ și apoi, folosind formula (6.9), valoarea lui h în funcție de R . Formulele corespunzătoare și valorile lui h sunt prezentate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3. Grosimea h a stratului de material în malaxorul cu ax orizontal și jgheab cu secțiune transversală cerc funcție de coeficientul de umplere K_u pentru diferite raze R ale jgheabului (raza arborelui $r=0,125R$)

Coeficientul de umplere K_u	Grosimea stratului de material h , m					
	formula de calcul a lui h	raza semicircumferinței jgheabului R , m				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	$0,3095R$	0,0310	0,0619	0,0929	0,1238	0,1548
0,2	$0,5023 R$	0,0502	0,1005	0,1507	0,2009	0,2512
0,3	$0,6724 R$	0,0672	0,1345	0,2017	0,2690	0,3362
0,4	$0,8321 R$	0,0832	0,1664	0,2496	0,3328	0,4161
0,5	$1,0000 R$	0,1000	0,2000	0,3000	0,4000	0,5000
0,6	$1,1679 R$	0,1168	0,2336	0,3504	0,4672	0,5840
0,7	$1,3276 R$	0,1328	0,2655	0,3983	0,5310	0,6638
0,8	$1,4977 R$	0,1498	0,2995	0,4493	0,5991	0,7489
0,9	$1,6905 R$	0,1691	0,3381	0,5072	0,6762	0,8453
1.0	$2,0000 R$	0,2000	0,4000	0,6000	0,8000	1,0000

b) $R-r < h < R$

Aria secțiunii transversale a materialului se determină cu formula (6.10), iar coeficientul de umplere va fi

$$K_u = \frac{A_m}{A_j} = \frac{0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) - 0,0078R^2(\varphi' - \sin \varphi')}{3,091R^2} = \quad (6.18)$$

$$= 0,16176(\varphi - \sin \varphi) - 0,0025(\varphi' - \sin \varphi').$$

Pentru coeficientul de umplere $K_u=0,5$ unghiurile centrale φ și φ' sunt egale cu 3,14 rad și deci grosimea stratului de material din formula (6.9) va fi $h = R$.

c) $h < R+r$

Aria secțiunii transversale a materialului va fi

$$A_m = \pi R^2 - \pi r^2 - 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) + 0,5r^2(\varphi'' - \sin \varphi'') = 3,14R^2 - 3,14(0,125R)^2 -$$

$$- 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) + 0,5(0,125R)^2(\varphi'' - \sin \varphi'') = 3,091R^2 - 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) +$$

$$+ 0,0078R^2(\varphi'' - \sin \varphi''), \quad (6.19)$$

iar coeficientul de umplere

$$K_u = \frac{A_m}{A_j} = \frac{3,091R^2 - 0,5R^2(\varphi - \sin \varphi) + 0,0078R^2(\varphi'' - \sin \varphi'')}{3,091R^2} = \quad (6.20)$$

$$= 1 - 0,16176(\varphi - \sin \varphi) + 0,0025(\varphi'' - \sin \varphi'').$$

Deoarece pentru $K_u=0,4$ $h < R-r$ din cauza simetriei secțiunii transversale de mai sus de axa orizontală cu cea de mai jos pentru $K_u=0,6$ h va fi mai mare decât $R+r$ și de aceea trecem la cazul d . La necesitate pentru calcularea valorilor lui h pentru K_u de la 0,5 pînă la 0,6 se va folosi relația (6.20).

d) $h > R+r$.

În acest caz $\varphi''=0$ și formula (6.20) se va scrie în felul următor

$$K_u = 1 - 0,16176(\varphi - \sin \varphi). \quad (6.21)$$

Pentru coeficienții de umplere $K_u=0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ și 1,0 s-au determinat valorile unghiului central φ folosindu-ne de metoda rezolvării pentru formula (6.8). Grosimea stratului de material în acest caz se determină cu formula

$$h = 2R - 2R \sin^2 \frac{\varphi}{4}. \quad (6.22)$$

Rezultatele determinării grosimii stratului de material sunt prezentate în tabelul 6.3, iar reprezentarea lor grafică – în fig.6.5.

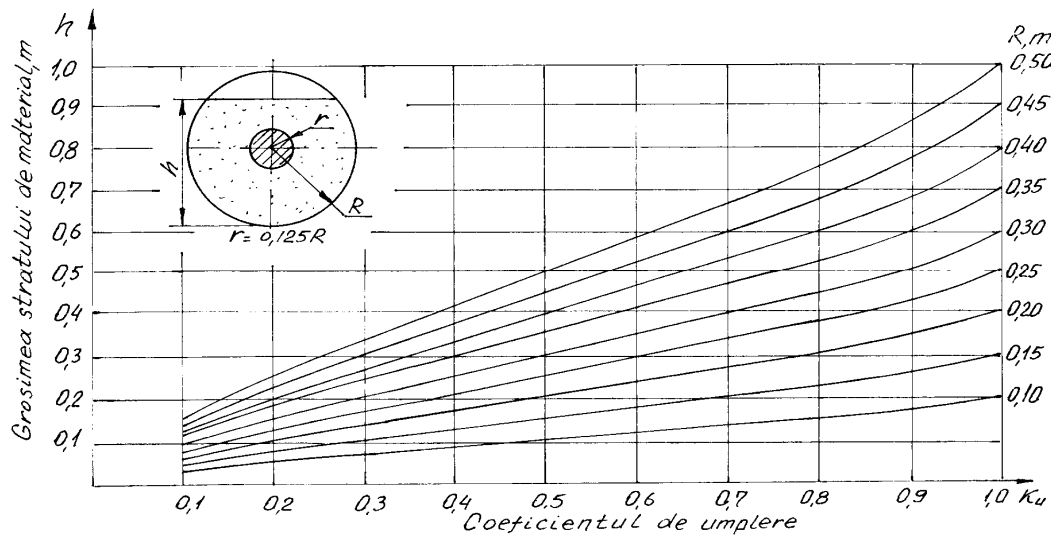


Fig. 6.5. Dependenta grosimii h a stratului de material din jgheabul cu secțiune transversală cerc de coeficientul de umplere K_u

6.3. Nomograma pentru determinarea volumului geometric al tobei

Volumul geometric al tobei (jgheabului) malaxorului cu secțiunea transversală semicerc-dreptunghi (fig. 6.1) se calculează cu formula

$$V = A_j L, \quad (6.23) \text{ unde } A_j$$

– aria secțiunii transversale a jgheabului, determinată cu formula (6.6), m^2 ;

L – lungimea interioară a tobei, m.

Substituind (6.6) în (6.23) obținem:

$$V = 3,521R^2L, \quad (6.24) \text{ unde}$$

R – raza interioară a tobei, m.

Adoptăm următoarele intervale de variație a parametrilor:

$$R = 0,1 \dots 1,0 \text{ m};$$

$$L = 0,2 \dots 3,0 \text{ m};$$

$$V = 0,007 \dots 10,563 \text{ m}^3.$$

Pentru construirea nomogramei adoptăm pentru V diferite valori, și anume: 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14 m^3 . De exemplu, pentru $V = 0,01 \text{ m}^3$ formula (6.24) se va scrie astfel

$$0,01 = 3,521R^2L. \quad (6.25)$$

Substituim în (6.25) următoarele valori ale lui R : 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1 m. Determinăm L , iar rezultatele le introducem în desenul din fig. 6.6.

Tot așa procedăm pentru celelalte valori ale lui V . Nomograma construită (fig. 6.6) dă posibilitate de a determina volumul tobei când sunt cunoscute valorile lui R și L și invers, pentru valoarea volumului V dat putem alege diferite combinații ale razei R și lungimii L .

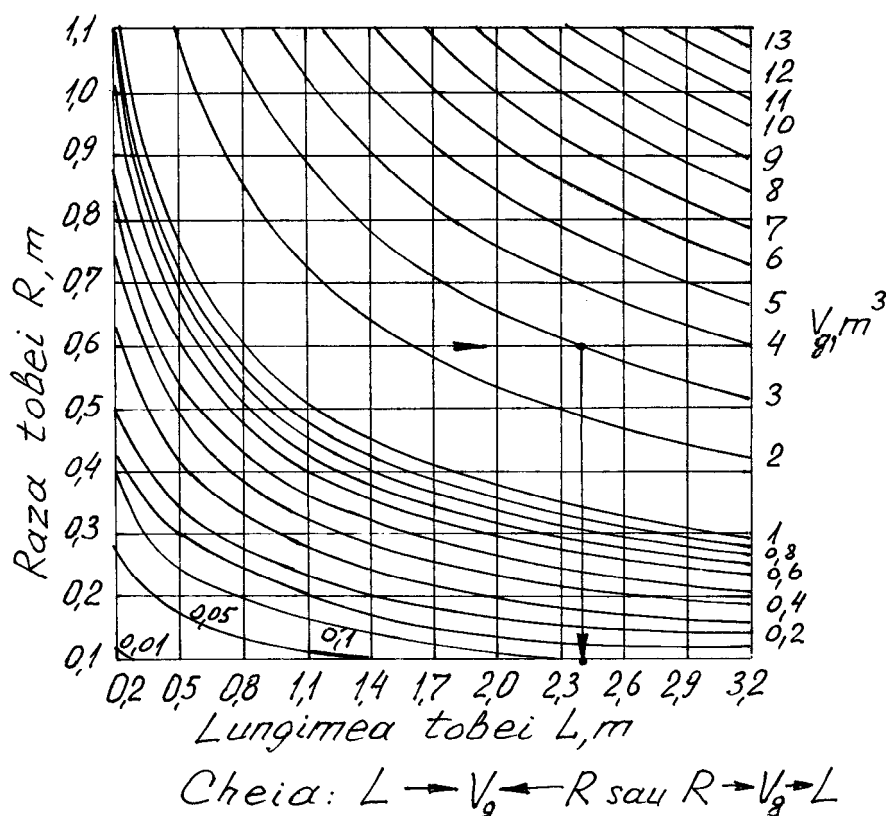


Fig. 6.6. Nomograma pentru determinarea volumului geometric al tobei malaxorului V cu secțiune transversală semicerc-dreptunghi funcție de raza tobei R și lungimea ei L

6.4. Durata ciclului de preparare a amestecului

Durata încărcării. Analizând clasificarea diverselor lucrări efectuate de om în funcție de valoarea sarcinii fizice și intensitatea lucrului [50] concludem că încărcarea nisipului în malaxor corespunde categoriei a opta de lucrări (cea mai grea), și anume, săparea pământului cu lopata cu viteza de 10 cicluri pe minut câte 6 kg la fiecare ciclu. Productivitatea acestor lucrări este de 1 kg/s sau 0,67 dm³/s (pentru densitatea medie a materialului $\rho=1,5$ kg/dm³).

Durata încărcării în secunde a volumului de material V_m în dm³ se determină cu relația

$$T_i = \frac{V_m}{0,67}. \quad (6.26)$$

Durata amestecării. Pentru malaxoarele cu bare cu frecvența de rotație a arborelui 60 rot/min adoptăm durata amestecării $T_a=45s$ ceea ce asigură o calitate înaltă a amestecului (subcapitolul 7.2).

Durata descărcării prin bascularea tobei se adoptă $T_d=10s$, iar *durata revenirii tobei* la poziția inițială - $T_r=2s$.

Durata ciclului de preparare a amestecului în secunde se determină cu relația

$$T_c = T_i + T_a + T_d + T_r = \frac{V}{0,67} + 45 + 10 + 2 = \frac{V_m}{0,67} + 57. \quad (6.27)$$

6.5. Productivitatea malaxorului funcție de parametrii geometrici ai tobei

Numărul de cicluri pe oră se calculează cu formula

$$n_c = \frac{3600}{T_c}, \quad (6.28) \text{ unde}$$

T_c – durata unui ciclu, s.

Productivitatea malaxorului în m^3/h

$$Q = V_a n_c / 1000, \quad (6.29) \text{ unde}$$

V_a – volumul amestecului preparat, dm^3 , $V_a = V_m K_s$, în care K_s este coeficientul de spor egal cu 0,8 pentru mortar.

Rezultatele determinării duratei încărcării tobei cu materiale, duratei ciclului, numărului de cicluri pe oră și a productivității funcție de volumul tobei sunt prezentate în tabelele 6.4 -6.6, iar reprezentarea grafică a acestor funcții – în fig. 6.7.

Tabelul 6.4. Productivitatea malaxorului la încărcarea lui de către o persoană ($K_u=0,5$;

$K_s=0,8$)

Volumul geometric al tobei V_g, dm^3	Volumul materialului din toabă V_m, dm^3	Volumul amestecului preparat V_a, dm^3	Durata încărcării T, s	Durata unui ciclu T_c, s	Numărul de cicluri pe oră n_c	Productivitatea $Q, m^3/h$
10	5	4	7,5	64,5	55,8	0,22
20	10	8	14,9	71,9	50,1	0,40
30	15	12	22,4	79,4	45,3	0,54
40	20	16	29,9	86,9	41,4	0,66
50	25	20	37,3	94,3	38,2	0,76
60	30	24	44,8	101,8	35,4	0,85
70	35	28	52,2	109,2	33,0	0,92
80	40	32	59,7	116,7	30,8	0,99
90	45	36	67,2	124,2	29,0	1,04
100	50	40	74,6	131,6	27,4	1,10
200	100	80	149,3	206,3	17,5	1,40
300	150	120	223,9	280,9	12,8	1,54
400	200	160	298,5	355,5	10,1	1,62
500	250	200	373,1	430,1	8,4	1,68
600	300	240	447,8	504,8	7,1	1,70
700	350	280	522,4	579,4	6,2	1,74
800	400	320	597,0	654,0	5,5	1,76
900	450	360	671,6	728,6	4,9	1,76
1000	500	400	746,3	803,3	4,5	1,80
1500	750	600	1119,4	1176,4	3,1	1,86
2000	1000	800	1492,5	1549,5	2,3	1,84
2500	1250	1000	1865,7	1922,7	1,9	1,90
3000	1500	1200	2238,8	2295,8	1,6	1,92
3500	1750	1400	2611,9	2668,9	1,3	1,82
4000	2000	1600	2985,1	3042,1	1,2	1,92

Din tabelul 6.4 reiese că productivitatea crește foarte rapid, și anume, de la 0,22 m^3/h până la 1,4 m^3/h când volumul tobei malaxorului se mărește de la 10 dm^3 pînă la 200 dm^3 și

încărcarea este efectuată de un muncitor. La încărcarea tobei de către două persoane (tabelul 6.5) productivitatea crește semnificativ până la volumul tobei egal cu 500 dm³ și atinge valoarea de 2,956 m³/h. Și, în sfârșit, la încărcarea tobei de către trei persoane (tabelul 6.6) creșterea semnificativă mai are loc când volumul tobei atinge valoarea de 700 dm³, iar productivitatea devine egală cu 4,368 m³/h.

Majorarea de mai departe a volumului tobei pentru cazurile cercetate nu este rațională deoarece productivitatea crește foarte puțin. Putem concluda că volumul geometric optim al tobei la încărcarea manuală este de: 200 dm³ – la încărcarea de către o persoană; 500 dm³ – încărcarea de către două persoane; 700 dm³ – încărcarea de către trei persoane.

Tabelul 6.5. Productivitatea malaxorului la încărcarea lui de către două persoane ($K_u=0,5$; $K_s=0,8$)

Volumul geometric al tobei V_g, dm^3	Volumul materialului din tobă V_m, dm^3	Volumul amestecului preparat V_a, dm^3	Durata încărcării T, s	Durata unui ciclu T_c, s	Numărul de cicluri pe oră n_c	Productivitatea $Q, \text{m}^3/\text{h}$
10	5	4	3,75	60,75	59,26	0,24
20	10	8	7,45	64,45	55,86	0,45
30	15	12	11,2	68,20	52,79	0,63
40	20	16	14,95	71,95	50,03	0,80
50	25	20	18,65	75,65	47,59	0,95
60	30	24	22,40	79,40	45,34	1,09
70	35	28	26,10	83,10	43,32	1,21
80	40	32	29,85	86,85	41,45	1,33
90	45	36	33,60	90,60	39,74	1,43
100	50	40	37,30	94,30	38,18	1,53
200	100	80	74,65	131,65	27,35	2,19
300	150	120	111,95	168,95	21,31	2,56
400	200	160	149,25	206,25	17,45	2,79
500	250	200	186,55	243,55	14,78	2,96
600	300	240	223,90	280,90	12,82	3,08
700	350	280	261,20	318,20	11,31	3,17
800	400	320	298,50	355,50	10,13	3,24
900	450	360	335,80	392,80	9,16	3,30
1000	500	400	373,15	430,15	8,37	3,35
1500	750	600	559,70	616,70	5,84	3,50
2000	1000	800	746,25	803,25	4,48	3,58
2500	1250	1000	932,85	989,85	3,64	3,64
3000	1500	1200	1119,40	1176,40	3,06	3,67
3500	1750	1400	1305,95	1362,95	2,64	3,70
4000	2000	1600	1492,55	1549,55	2,32	3,71

Productivitatea malaxorului în regim de funcționare automată s-a calculat adoptând durata încărcării materialelor în tobă $T_i=10$ s, durata amestecării, descărcării și revenirii la poziția inițială 57 secunde. În așa fel, durata ciclului va fi $T_c=67$ secunde, iar numărul de cicluri pe oră $n_c=53,7$. Productivitatea malaxorului se determină cu formula

$$Q=53,7V_s/1000. \quad (6.30)$$

Rezultatele calculului productivității sunt prezentate în tabela 6.7. În mod grafic această funcție reprezintă o linie dreaptă care începe la intersecția axei absciselor cu axa ordonatelor și-i înclinată față de axa absciselor cu un unghi $\alpha=88,93^{\circ}$ (fig. 6.7).

Tabelul 6.6. Productivitatea malaxorului la încărcarea lui de către trei persoane
($K_u=0,5$; $K_s=0,8$)

Volumul geometric al tobei V_g, dm^3	Volumul materialului din toabă V_m, dm^3	Volumul amestecului preparat V_a, dm^3	Durata încărcării T, s	Durata unui ciclu T_c, s	Numărul de cicluri pe oră n_c	Productivitatea $Q, \text{m}^3/\text{h}$
10	5	4	2,5	59,5	69,5	0,24
20	10	8	5,0	62,0	58,1	0,47
30	15	12	7,5	64,5	55,8	0,67
40	20	16	10,0	67,0	53,7	0,86
50	25	20	12,4	69,4	51,9	1,04
60	30	24	14,9	71,9	50,1	1,20
70	35	28	17,4	74,4	48,4	1,36
80	40	32	19,9	76,9	46,8	1,50
90	45	36	22,4	79,4	45,3	1,63
100	50	40	24,9	81,9	44,0	1,76
200	100	80	49,8	106,8	33,7	2,70
300	150	120	74,6	131,6	27,4	3,29
400	200	160	99,5	156,5	23,0	3,68
500	250	200	124,4	181,4	19,8	3,96
600	300	240	149,3	206,3	17,5	4,20
700	350	280	174,1	231,1	15,6	4,37
800	400	320	199,0	256,0	14,1	4,51
900	450	360	223,9	280,9	12,8	4,61
1000	500	400	248,8	305,8	11,8	4,72
1500	750	600	373,1	430,1	8,4	5,04
2000	1000	800	497,5	554,5	6,5	5,20
2500	1250	1000	621,9	678,9	5,3	5,3
3000	1500	1200	746,3	803,3	4,5	5,4
3500	1750	1400	870,6	927,6	3,9	5,46
4000	2000	1600	995,0	1052,0	3,4	5,44

La volume mici ale tobei productivitatea obținută în mod manual și automat nu se deosebește foarte mult. Însă, deja de la volumul tobei de 100 dm^3 diferența dintre aceste două moduri de preparare a mortarului este semnificativă. La încărcarea tobei de către o persoană productivitatea constituie $Q=1,1 \text{ m}^3/\text{h}$, iar în mod automat - $Q=2,148 \text{ m}^3/\text{h}$. Diferența este de $1,048 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pentru majorarea productivității malaxorului și îmbunătățirea calității amestecului când încărcarea se face în mod manual, malaxorul se amenajează cu unu sau câteva recipiente pentru materialele uscate, gura de evacuare a cărora este de aceeași lungime ca

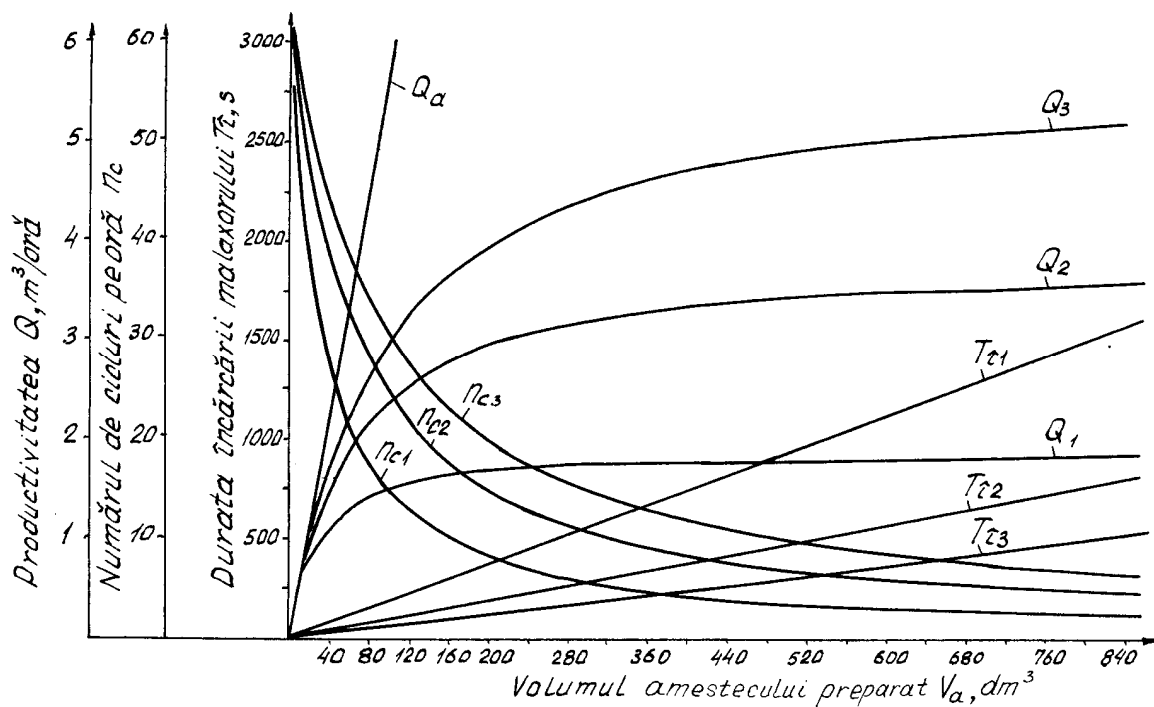


Fig. 6.7. Productivitatea malaxorului Q , numărul de cicluri pe oră n_c , durata încărcării T_i funcție de volumul amestecului preparat V_a : Q_1, T_{i1}, n_{c1} – încărcarea de către o persoană; Q_2, T_{i2}, n_{c2} – două persoane; Q_3, T_{i3}, n_{c3} – trei persoane; Q_a - funcționare automată

Tabelul 6.7. Productivitatea malaxorului la funcționarea lui în regim automat ($T_i = 10$ s, $K_u = 0,5$; $K_s = 0,8$)

Volumul amestecului preparat V_a, dm^3	Productivitatea $Q, \text{m}^3/\text{h}$	Volumul amestecului preparat V_a, dm^3	Productivitatea $Q, \text{m}^3/\text{h}$
4	0,22	200	10,74
8	0,43	240	12,89
12	0,65	280	15,04
16	0,86	320	17,18
20	1,07	360	19,33
24	1,29	400	21,48
28	1,50	600	32,22
32	1,72	800	42,96
36	1,93	1000	53,70
40	2,15	1200	64,44
80	4,30	1400	75,18
120	6,44	1600	85,92
160	8,59		

și lungimea tobei. Volumul fiecărui recipient este egal cu volumul componentului corespunzător conform dozajului. Existența acestor recipiente dă posibilitate de a efectua încărcarea lor cu componentele amestecului pentru ciclul următor concomitent cu amestecarea componentelor ciclului prezent și de a încărca materialele uniform în lungul tobei, ceea ce contribuie la micșorarea timpului de amestecare necesar pentru obținerea omogenității depline a amestecului.

În așa mod, durata ciclului de preparare a unui amestec se micșorează în comparație cu procesul de executare consecutivă a operațiilor cu durata de amestecare. De exemplu, durata ciclului pentru prepararea unui amestec în malaxorul cu volumul amestecului preparat $V_a = 80 \text{ dm}^3$ și efectuarea consecutivă a operațiilor constituie 206,3 s (tabelul 6.4), iar productivitatea este de $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$. La suprapunerea operațiilor durata ciclului se micșorează cu 40 s (din care 5 secunde descărcarea recipientului), iar productivitatea crește cu $0,33 \text{ m}^3/\text{h}$, deci cu 23,6%. La încărcarea materialului de către două persoane productivitatea crește cu 43,5%, în comparație cu încărcarea tot de două persoane, însă fără suprapunerea operațiilor, iar de către trei persoane – cu 59,9%.

CONCLUZII:

1. Analiza datelor bibliografice a demonstrat că valoarea medie a raportului diametrului arborelui malaxorului d față de diametrul interior al tobei D este egală cu 0,125.

2. S-au obținut relații matematice pentru calcularea grosimii stratului de material în malaxoarele cu ax orizontal cu secțiunea transversală semicerc-dreptunghi și cerc funcție de coeficientul de umplere pentru diferite raze ale jgheabului.

3. S-a construit nomograma pentru determinarea volumului geometric al tobei funcție de diametrul și lungimea tobei.

4. S-a determinat volumul geometric optimal al tobei malaxorului care asigură productivitatea maximă rațională la încărcarea manuală: 200 dm^3 (80 dm^3 volumul amestecului) – la încărcarea de către o persoană; 500 dm^3 (200 dm^3 volumul amestecului) – încărcarea de către două persoane; 700 dm^3 (280 dm^3 volumul amestecului) – încărcarea de către trei persoane.

5. În malaxorul echipat cu buncăre de încărcare cu lungimea egală cu lungimea tobei și executarea procesului de preparare a amestecului cu suprapunerea operațiilor (încărcarea manuală a buncărelor în procesul malaxării) productivitatea se mărește cu 23,6 % (încărcarea de către o persoană), 43,5 % (două persoane) și 59,9 % (trei persoane).

7. CALITATEA AMESTECĂRII

7.1. Metodica de apreciere a calității amestecării

Calitatea amestecării s-a apreciat pentru două moduri de situare a componentelor în tobă: 1) un component al amestecului este turnat în jumătatea din stânga a tobei, iar celălalt – în jumătatea din dreapta (situare verticală); 2) un component este așezat în partea inferioară a tobei distribuit uniform, iar celălalt – deasupra primului distribuit tot uniform (situare orizontală). După un număr anumit de rotații al arborelui se iau probe și se determină cantitatea particulelor componentelor. Dacă cantitatea componentelor în probă este egală și constituie 50 și 50 % calitatea amestecului se apreciază ca înaltă.

În fig. 7.1 sunt prezentate schemele situării inițiale a componentelor amestecului în toba malaxorului și locurile de luare a probelor. După umplerea tobei cu componentele cercetate peretele despărțitor se înlătură.

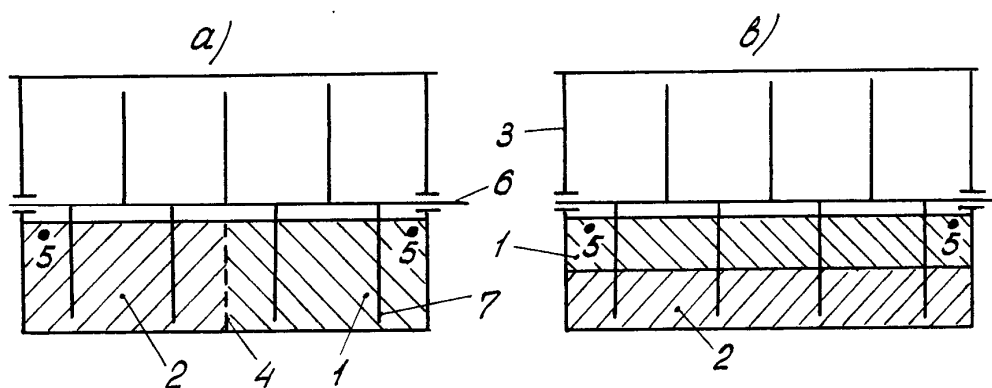


Fig. 7.1. Schema situării componentelor amestecului: a) situare verticală; b) situare orizontală. 1-primul component; 2-componentul al doilea; 3-tobă; 4-perete despărțitor; 5-locul de luare a probei; 6-arbore; 7-bară (organ de amestecare)

Efectuarea măsurărilor în conformitate cu schema din fig. 7.1,a dă posibilitate de a aprecia efectul migrării particulelor dintr-o parte a tobei în cealaltă a ei și invers. Folosind schema din fig. 7.1,b apreciem efectul migrării particulelor din stratul inferior în stratul superior și invers. Situația verticală a straturilor ne dă posibilitate de a cerceta migrația orizontală, iar situația orizontală a straturilor – migrația verticală a particulelor. În așa mod este posibilă cercetarea evoluției procesului de amestecare în fazele sale succesive.

Pentru crearea condițiilor egale în procesul migrării particulelor ambelor straturi trebuie ca dimensiunile lor să fie egale și să aibă una și aceeași densitate. Particulele unui strat se vopsesc în altă culoare decât cea a stratului al doilea ceea ce dă posibilitate de a determina numărul particulelor migrante în probă. Separarea particulelor după fiecare experiență necesită un consum mare de timp. Pentru sporirea acestui proces un strat se formează din particule necolorate, al doilea strat – din particule colorate în cantitate de 10 % și particule necolorate în cantitate de 90 % amestecate minuțios. La amestecarea completă a acestor două straturi, în amestec vor fi 5 % de particule colorate și 95 % de particule necolorate. Determinarea cantității particulelor migrante în punctele 5 a fig. 7.1 se efectuează prin luarea probelor cu un recipient cu volumul de 75 cm³ ceea ce constituie 638 particule. Volumul primului component (primului strat) este compus din 3600 cm³ de particule necolorate și 400 cm³ de particule colorate, deci 90 % și 10 % corespunzător. Volumul componentului al doilea constituie 4000 cm³ de particule necolorate. La obținerea amestecării complete numărul de particule colorate în probă va constitui 5 % din volumul probei, sau 32 particule.

7.2. Calitatea amestecării în malaxoarele cu acțiune ciclică

În malaxorul cu diametrul interior de 300 mm cu organe de amestecare în formă de bare cu diametrul de 10 mm fixate în șah pe suprafața arborelui cu pasul longitudinal al barelor de 30; 45 și 60 mm și unghiul dintre rândurile longitudinale de bare 60° și 120° volumul tobei se divizează în două părți egale cu un perete despărțitor. La fiecare experiență se toarnă două componente: în partea stângă particule de o culoare, iar în cea dreaptă - de altă culoare. Coeficientul de umplere $K_u=0,45$. După înlăturarea peretelui despărțitor se efectuează rotirea arborelui cu frecvența de 60min^{-1} . Rezultatele determinării cantității particulelor componentelor la capetele tobei sunt prezentate în tabelul 7.1, iar decurgerea procesului de migrație a particulelor în mod grafic – în fig. 7.2.

Tabelul 7.1. Cantitatea particulelor de bază B și migratoare M în procente funcție de numărul de rotații al arborelui

Numărul de rotații	Unghiul dintre rândurile longitudinale de bare							
	60°						120°	
	pasul barelor p , mm						pasul barelor $p = 45$ mm	
	30		45		60		B	M
B	M	B	M	B	M	B	M	
20	92	8	96,61	3,39	94,82	5,18	-	-
40	80	20	90,21	9,79	88,50	11,50	88,9	11,1
60	73	27	-	-	81,82	18,18	-	-
80	67	33	79,41	20,59	-	-	92,7	7,3
100	62	38	77,52	22,48	76,43	23,57	-	-
120	58	42	-	-	-	-	75,9	24,1
140	54	46	67,66	32,34	74,53	25,47	-	-
160	52	48	-	-	-	-	79,6	20,4
180	50	50	58,95	41,05	66,16	33,84	-	-
200			-	-	-	-	78,1	21,9
220			56,97	43,03	59,84	40,16	-	-
240			53,00	47,00	-	-	77,35	22,65
260			-	-	58,27	41,73	-	-
280			50,00	50,00	-	-	62,1	37,9
300					57,60	42,40	-	-
320					-	-	64,6	35,4
340					54,41	45,59	-	-
360					-	-	54,87	45,13
380					50,00	50,00	-	-
400							58,7	41,3
420							-	-
440							53,1	46,9
460							-	-
480							51	49
500							50	50

Vedem că la majorarea numărului de rotații ale arborelui particulele migrează tot mai mult dintr-o parte a tobei în alta și invers până când se obține egalitate între cantitățile de particule de bază și cele migratoare. Când pasul barelor este de 30 mm, iar unghiul dintre rândurile longitudinale de bare $\alpha = 60^\circ$ amestecarea perfectă se obține după 180 rotații. La majorarea pasului barelor crește numărul de rotații ale arborelui pentru obținerea amestecării depline.

Așa, pentru pasul $p = 45$ mm numărul de rotații necesar pentru amestecarea perfectă este 280, iar pentru pasul $p = 60$ mm – 380 rotații. Când unghiul dintre rândurile longitudinale de bare este de 120 grade, iar pasul barelor $p = 45$ mm numărul de rotații al arborelui necesar pentru amestecarea deplină atinge valoarea de 500. Deci, micșorarea pasului barelor și a unghiului dintre rândurile longitudinale de bare conduce la sporirea migrației particulelor în lungul tobei.

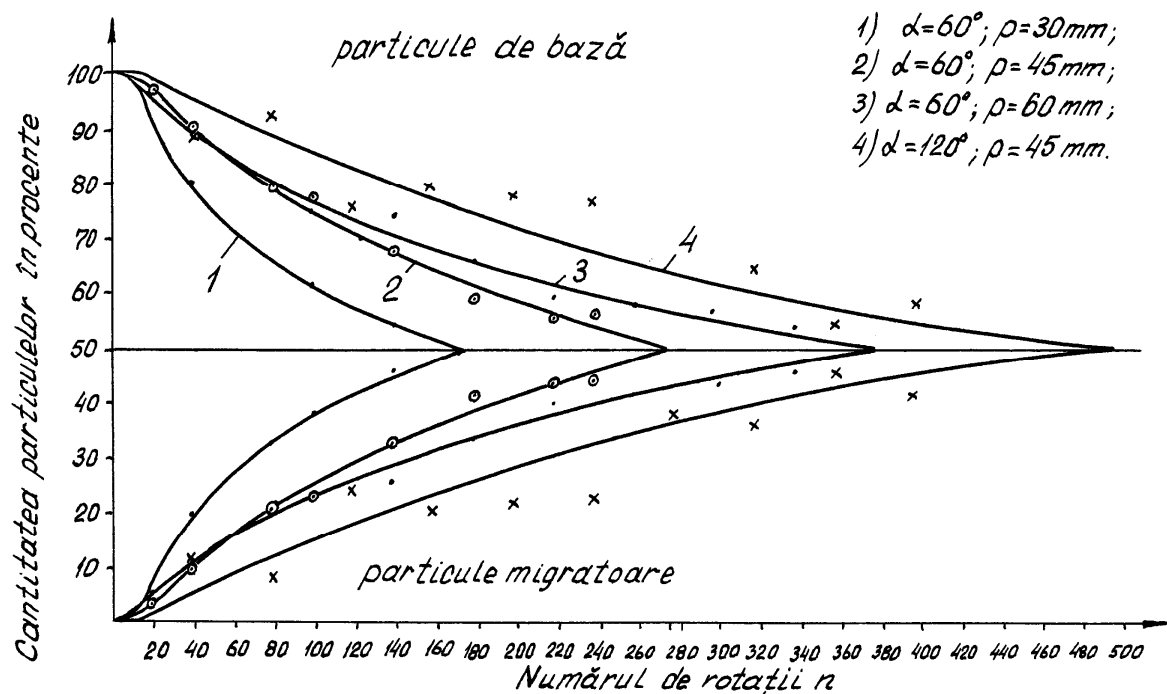


Fig. 7.2. Dependența cantității particulelor de bază și celor migratoare în amestec de numărul de rotații ale arborelui

La determinarea calității amestecării pentru metoda a doua de situare a straturilor (straturi orizontale în tobă) cu scopul micșorării cheltuielilor de timp la determinarea numărului de particule migratoare și celor de bază s-a procedat în felul următor. Primul strat s-a compus din particule necolorate, iar al doilea – din particule colorate în cantitate de 10 % și particule necolorate în cantitate de 90 % amestecate minuțios. La amestecarea deplină a acestor două straturi în amestec vor fi 5 % particule colorate și 95 % particule necolorate. Volumul probei este de 75 cm^3 , ceea ce constituie 638 particule, iar 5 % - 32 particule.

Rezultatele experiențelor sunt prezentate în tabelul 7.2. S-a calculat valoarea medie a numărului de particule colorate în probă \bar{x} (patru măsurări repetate), numărul de particule colorate în procente și deviația medie pătratică S .

Media \bar{x} și deviația medie pătratică S sunt cele mai utilizate caracteristici ale mărimilor aleatorii. Ele caracterizează cele mai semnificative însușiri ale distribuției: situarea mărimii pe axa numerică și gradul de dispersare a mulțimii de valori față de valoarea medie. În fig.7.3 sunt prezentate dependențele valorilor medii \bar{x} de numărul de rotații ale arborelui și dispersia S pentru fiecare valoare a lui \bar{x} .

Tabelul 7.2. Cantitatea particulelor migratoare (valoarea medie \bar{x} , valoarea în procente, deviația medie pătratică S) funcție de numărul de rotații ale arborelui malaxorului

Rotații ale arborelui	Malaxor cu bare cu pasul longitudinal al barelor p , mm									Malaxor cu două palete elicoidale		
	30			45			60					
	\bar{x}	%	S	\bar{x}	%	S	\bar{x}	%	S	\bar{x}	%	S
3	32,3	5,05	5,74	34,3	5,36	12,09	22,8	3,56	8,54	38,0	5,95	15,06
6	32,5	5,09	15,02	34,0	5,32	5,35	33,8	5,28	14,29	41,3	6,46	6,34
9	30,5	4,78	14,66	33,0	5,17	7,62	40,5	6,36	16,94	37,0	5,79	5,25
12	29,3	4,59	2,99	32,3	5,05	5,85	34,0	5,32	6,06	37,5	5,87	6,75
15	31,3	4,90	1,26	32,8	5,13	6,95	35,8	5,60	10,05	36,0	5,64	3,27
18	32,3	5,05	2,50	31,3	4,90	2,06	33,3	5,21	6,70	36,0	5,64	6,68
21	30,8	4,82	1,71	32,3	5,05	6,70	28,5	4,46	7,85	31,0	4,86	5,94
24	32,0	5,01	1,41	33,5	5,23	7,94	34,8	5,44	2,22	34,3	5,37	4,03
27				33,8	5,29	2,75	35,0	5,48	5,72	39,3	6,15	2,06
30				33,3	5,21	7,59	30,0	4,70	8,91	34,0	5,33	8,29
33				30,3	4,74	5,12	32,5	5,09	7,59	34,8	5,45	6,99
36							37,8	5,91	7,04	40,0	6,27	6,22
39							37,0	5,79	8,49	37	5,79	8,29
42							29,3	4,58	7,14	34	5,33	7,26
45							32,3	5,05	2,50	31,5	4,93	3,11
48										32,5	5,09	6,24

Vedem că pentru pasul longitudinal al barelor $p = 30$ mm valoarea medie \bar{x} se apropie de cea teoretică egală cu 32 particule chiar după 3...6 rotații, însă deviația medie pătratică este foarte mare, și anume $S = 15,02$ ceea ce demonstrează că omogenitatea amestecului este destul de joasă. După 12...15 rotații valoarea medie este aproximativ egală cu valoarea teoretică și tot odată dispersia este minimală ($S = 2,99...1,26$) ceea ce dovedește faptul că amestecul este destul de omogen. Pentru pasul $p = 45$ mm deviația medie pătratică S este destul de mare necâtând la aceea că valoarea medie în unele cazuri (la 12, 15 și 21 rotații) este practic egală cu media teoretică. Aceasta demonstrează faptul că pentru obținerea unui amestec omogen sunt necesare mai multe rotații ale arborelui. Procesul de amestecare în malaxorul cu $p = 60$ mm este caracterizat cu valori foarte variabile ale lui \bar{x} și mărimi mari ale lui S . Amestec omogen se obține după 45 rotații ale arborelui.

În malaxorul cu două palete elicoidale valorile lui \bar{x} depășesc cu mult valoarea teoretică $\bar{x} = 32$, sunt mari și valorile lui S . Obținerea amestecului omogen este posibilă la efectuarea unui număr de rotații mai mare de 45.

S-a determinat forța periferică la raza tobei în procesul amestecării care pentru malaxorul cu bare cu pasul $p = 30$ mm a constituit $F_1 = 220$ N, iar pentru malaxorul cu două palete elicoidale – $F_2 = 180$ N. Lucrul efectuat până la obținerea omogenității depline se calculează cu relația

$$A = F\pi Dn,$$

unde F – forța periferică, N;

D –diametrul tobei, m;

n – numărul de rotații efectuate până la obținerea omogenității depline, rotații.

Substituim în această relație valorile parametrilor F , D , și n . Lucrul efectuat de malaxorul cu bare cu pasul $p = 30$ mm constituie $A_1 = 3108,6$ N.m, iar de malaxorul cu două palete elicoidale – $A_2 = 7630,2$ N.m. Vedem că energia consumată este de 2,45 ori mai mică la malaxorul cu bare.

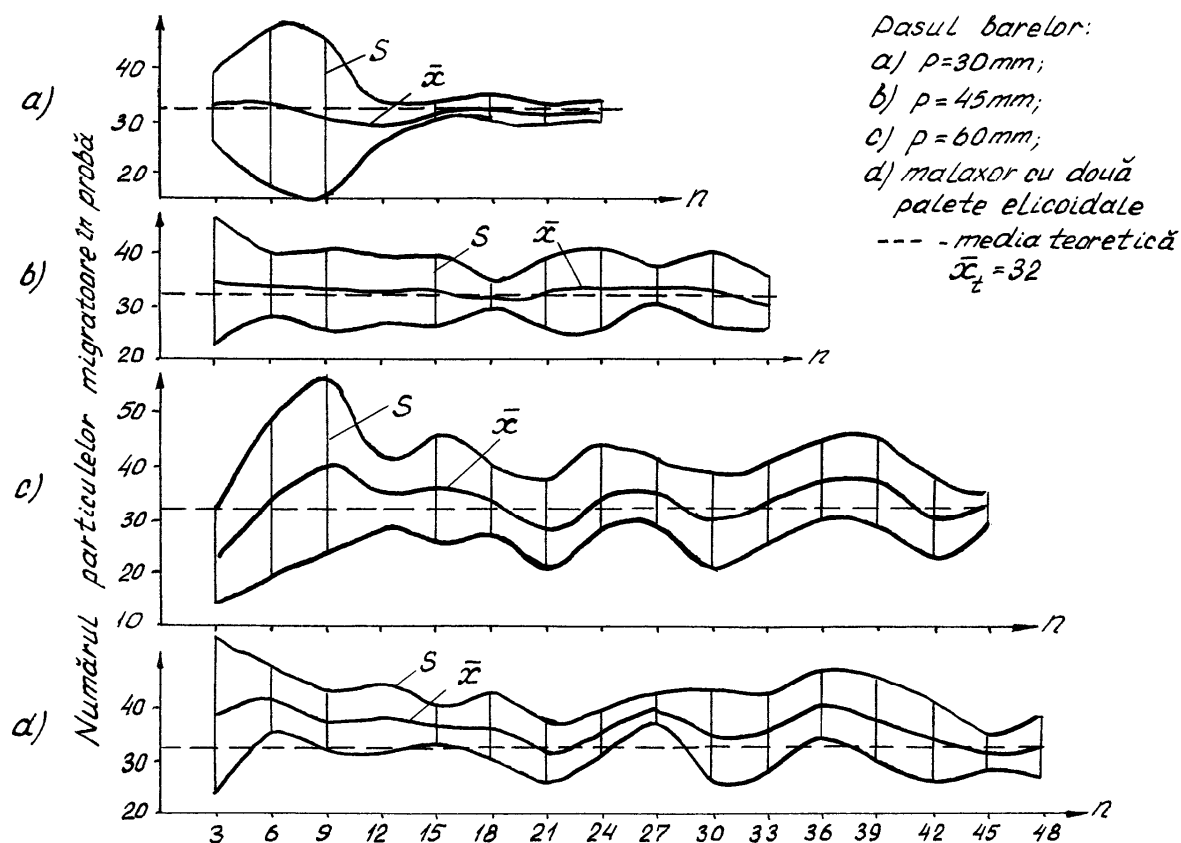


Fig. 7.3. Dependența numărului mediu de particule migratoare în probă și a deviației medii pătratice S de numărul de rotații ale arborelui malaxorului

Pentru rezultatele din tabelul 7.2 s-au calculat valorile coeficientului de variație v . Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 7.3, iar reprezentarea grafică – în fig. 7.4. Vedem că, caracterul schimbării coeficientului de variație funcție de durata amestecării este practic același ca și pentru schimbarea deviației medii pătratice. Însă cunoașterea coeficientului de variație nu ne dă posibilitate să apreciem calitatea amestecării deoarece el poate avea valori minimale pentru \bar{x} situat departe de media teoretică $\bar{x} = 32$.

De exemplu, pentru malaxorul cu două palete elicoidale (fig. 7.3,d) la 15 rotații ale arborelui coeficientul de variație este egal cu 9,08 %, iar la 27 rotații – cu 5,24 %, deci valori foarte mici, iar valoarea medie în aceste puncte este 36 și 39,3 corespunzător și depășește valoarea medie teoretică cu 4 în primul caz și cu 7,3 în cazul al doilea. Calitatea înaltă a amestecării se obține atunci când diferența dintre \bar{x}_i și \bar{x}_t este egală cu zero. Vedem: coeficientul de variație nu este cel mai adecvat parametru pentru aprecierea calității amestecării, însă ca o valoare relativă poate servi la caracterizarea procesului de amestecare din punct de vedere statistic.

Tabelul 7.3. Valorile coeficientului de variație v funcție de numărul de rotații al arborelui malaxorului

Rotații ale arborelui	Pasul longitudinal al barelor p , mm			Malaxor cu două palete elicoidale
	30	45	60	
3	17,77	35,26	37,436	39,63
6	46,22	15,74	42,28	15,35
9	48,07	23,09	41,83	14,19
12	10,20	18,11	17,82	18,00
15	4,03	21,19	28,07	9,08
18	7,74	6,58	20,12	18,56
21	5,55	20,74	27,54	19,16
24	4,41	23,7	6,38	11,75
27		8,14	16,34	5,24
30		22,79	29,70	24,38
33		16,90	23,35	20,09
36			18,62	15,55
39			22,95	22,41
42			24,37	21,35
45			7,74	9,87
48				19,20

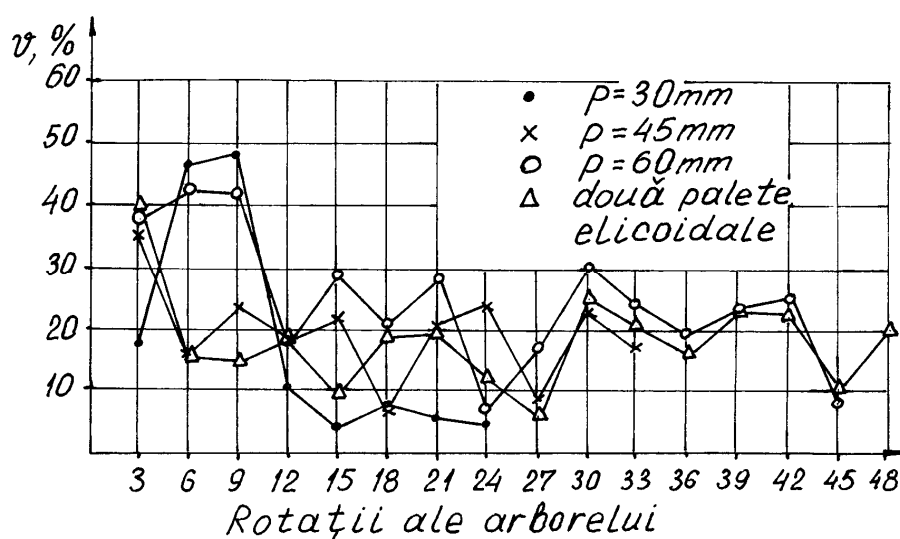


Fig.7.4. Dependența coeficientului de variație v de numărul de rotații ale arborelui malaxorului

7.3. Calitatea spumei utilizată la prepararea betoanelor celulare

O direcție utilă de majorare a sortimentului produselor în ramura confecționării articolelor de construcții și de îmbunătățire a calității lor este introducerea în amestecurile de materie primă a spumei. Articolele confecționate în așa mod dispun de masă specifică redusă, au grad înalt de izolare termică și acustică.

Calitatea spumei depinde în mare măsură de metoda de preparare, iar posibilitatea utilizării ei în procesul tehnologic real – de stabilitatea ei în timp. Este cunoscut că dimensiunile mici ale bulelor de aer din spumă și stabilitatea înaltă a ei asigură o calitate bună a betonului celular. Dimensiunile

bulelor și omogenitatea lor în masa de spumă și stabilitatea în timp a spumei depind de metoda de formare a spumei, cantitatea substanței spumante și durata de amestecare pentru frecvența de rotații stabilită a organului de lucru.

Prepararea spumei s-a efectuat folosind metoda mecanică în generatorul de spumă [51] care reprezintă un corp cilindric în interiorul căruia se rotește un arbore pe suprafața căruia sunt fixate în șah bare radiale înzestrate la capete cu palete (fig. 7.5). Acest generator asigură obținerea spumei de calitate înaltă cu consum mic de energie. În calitate de substanță spumantă s-a folosit reșina lemnoasă săpunificată.

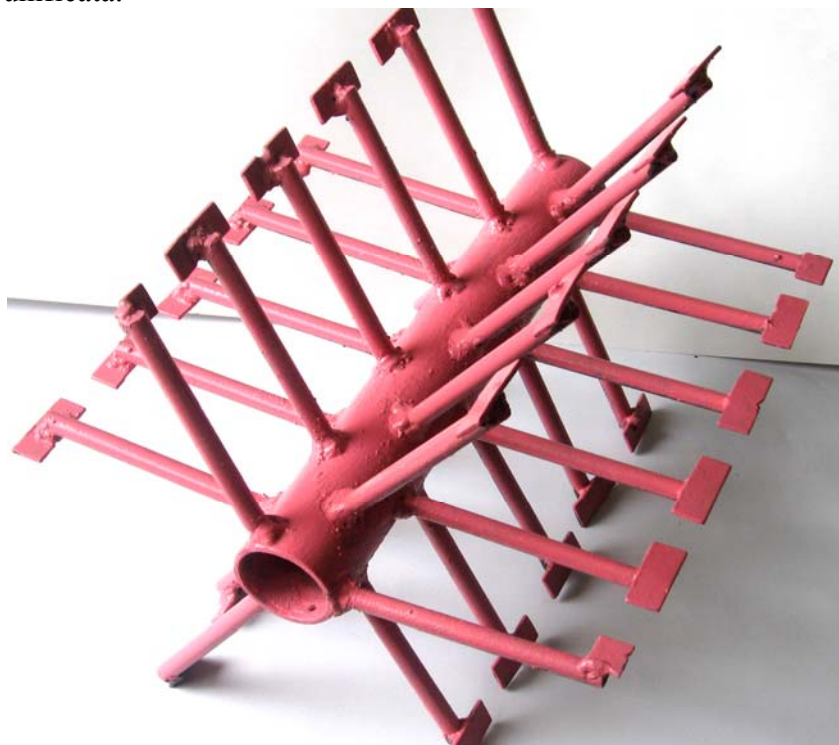


Fig. 7.5. Organul de lucru al generatorului de spumă

Stabilitatea spumei T s-a determinat prin măsurarea duratei timpului de la turnarea spumei preparate într-un recipient cu volum constant până la apariția primei picături de lichid.

S-a cercetat influența asupra stabilității spumei a doi factori principali: \tilde{x}_1 – durata de amestecare a substanței spumante cu apa ($\tilde{x}_1=50 \text{ s} \pm 30 \text{ s}$); \tilde{x}_2 – cantitatea specifică de substanță spumantă ($\tilde{x}_2=10 \text{ g/dm}^3 \pm 5 \text{ g/dm}^3$). A fost efectuat un număr de 9 măsurări în concordanță cu planul optimal D pentru doi [38]. În fiecare rând al planului s-au efectuat câte trei măsurări repetate.

Analiza pe principiul legii de regresie a datelor experimentale a condus la obținerea relației matematice a stabilității spumei exprimate prin timpul T .

$$T = 73 + 29 x_1 + 22 x_2 + 4 x_1 x_2 - 15 x_2^2, \quad (7.1)$$

$$F = 1,59 < F_{tab} = 2,95; (\alpha = 0,05; f_1 = 4; f_2 = 14).$$

Constatăm că la majorarea duratei de amestecare x_1 (pentru $x_2=0$) stabilitatea spumei preparate se mărește direct proporțional (fig. 7.6) și atinge valoarea de 102 s pentru durata de amestecare $\tilde{x}_1=80$ s. Majorarea cantității de substanță spumantă de la 5 g/dm^3 ($x_2 = -1$) până la 10 g/dm^3 ($x_2 = 0$) când factorul x_1 se menține la nivelul zero conduce la creșterea destul de rapidă a stabilității spumei care atinge valoarea de 73 s, apoi majorarea de mai departe a lui x_2 influențează mai slab asupra stabilității spumei: T crește până la 80,8 s, apoi cade până la 80 s pentru $x_2 = +1$ (efectul pătratic are semnul minus).

Pentru polinomul obținut s-a construit nomograma (fig. 7.7) care dă posibilitate de a determina rapid în condiție de producție stabilitatea spumei funcție de valorile lui x_1 și x_2 . Constatăm faptul că la majorarea și a duratei de amestecare x_1 , și a cantității specifice de substanță spumantă x_2 stabilitatea spumei se mărește (efectul interacțiunii $x_1 x_2$ are semnul plus).

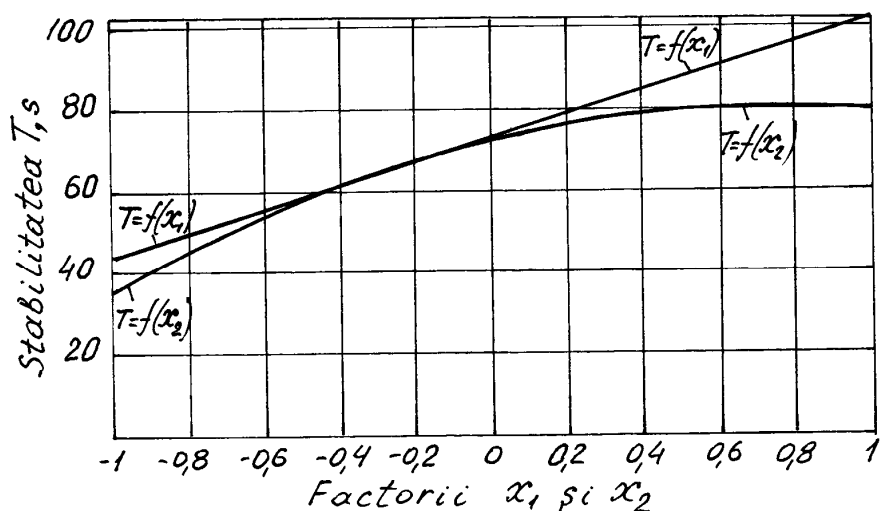


Fig. 7.6. Dependența stabilității spumei T de durata de amestecare x_1 a substanței spumante și de cantitatea specifică de substanță spumantă x_2

Atunci când stabilitatea spumei este dată din timp folosind nomograma putem determina valorile parametrilor x_1 și x_2 care ne asigură sau consum mic de energie, sau consum mic de substanță spumantă.

În fig. 7.7 este hașurată zona în care putem varia x_1 și x_2 și obține, în așa mod, spumă calitativă cu stabilitatea dată din timp egală sau mai mare de 90 s. Durata de amestecare x_1 variază între 0,29 și 1 (58,7...80 s), iar cantitatea de substanță spumantă x_2 – între -0,38 și 0,8 (6,9...14 g/dm³).

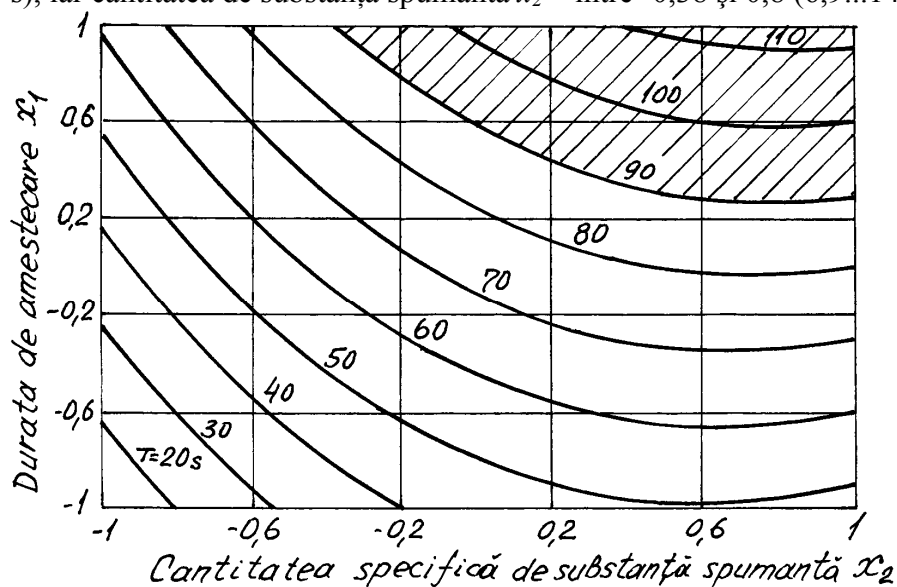


Fig. 7.7. Nomograma pentru determinarea stabilității spumei funcție de durata de amestecare x_1 și cantitatea specifică de substanță spumantă x_2

7.4. Calitatea amestecării compozițiilor cu materiale fibroase

S-au efectuat încercări ale malaxorului cu bare la prepararea amestecurilor care conțin materiale fibroase construcția căruia corespunde cu descrierea brevetului de invenție [26]. Scopul încercărilor: confirmarea îmbunătățirii calității amestecării și micșorării consumului de energie.

Malaxorul confecționat pentru aceste încercări se caracterizează cu următorii parametri: diametrul interior al corpului cilindric constituie 200 mm; lungimea de lucru a corpului – 930 mm;

pasul organelor de amestecare – 100 mm; unghiul de înclinare a capetelor libere ale organelor de amestecare – zero grade la începutul îndoirii și spre capătul organului de amestecare unghiul se schimbă cu $0,45^{\circ}$ la un mm de lungime; luful dintre organele de amestecare și suprafața interioară a corpului – 4.5 mm. Componentele amestecului se introduc în malaxor în flux continuu cu coeficientul de umplere a corpului $K_u = 0,5$. Numărul de rotații ale arborelui malaxorului – 60 rot/min.

Calitatea amestecului (omogenitatea) se determină funcție de distribuția componentelor în articolul fabricat apreciată în rezultatul fotografierii șlifurilor cu mărirea de cinci ori. Consumul de energie se determină prin măsurarea cheltuielilor de energie necesare pentru amestecarea unui volum anumit de amestec.

S-au amestecat următoarele componente, masa în %:

bucăți de țesătură cu dimensiunile 10x2, 5x5, 3x15.....	10;
bucăți de hârtie cu aceleași dimensiuni.....	5;
cenușă (particule antrenate de la centrale termoelectrice).....	20;
cioburi de sticlă (praf).....	15;
rămășițe de la tăierea pietrei.....	10;
liant neorganic (sticlă lichidă).....	40.

S-a obținut un amestec omogen în care particulele componentelor sunt distribuite uniform în tot volumul articolului fabricat. Consumul de energie a procesului de amestecare constituie $0,016 \text{ kW.h/m}^3$ pentru productivitatea malaxorului egală cu $1,98 \text{ m}^3/\text{h}$. Consumul de energie la amestecarea compoziției alcătuite din piatră spartă ($a=10...15 \text{ mm}$), nisip, ciment, apă constituie $0,2 \text{ kW.h/m}^3$ pentru productivitatea $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Consumul de energie a malaxoarelor cu palete la prepararea amestecului de beton constituie $0,75...1 \text{ kW.h/m}^3$, deci cu mult mai mare decât în malaxorul cercetat.

Concluzii:

1. În malaxorul cu organe de amestecare în formă de bare situate în șah pe suprafața arborelui rotitor particulele migrează dintr-o parte a tobei în alta și invers. Micșorarea pasului longitudinal al barelor p și a unghiului dintre rândurile longitudinale de bare α conduce la sporirea migrației particulelor în lungul tobei și la intensificarea procesului de amestecare.
2. La situarea în tobă a doi componenți separat în fiecare jumătate a tobei, amestecarea omogenă deplină (în proba luată se găsesc câte 50 % particule ale primului și ale componentului al doilea) se obține după 180 rotații pentru malaxorul cu pasul $p = 30 \text{ mm}$ și unghiul $\alpha = 60^{\circ}$, după 280 rotații pentru $p = 45$ și $\alpha = 60^{\circ}$ și după 380 rotații pentru $p = 60 \text{ mm}$ și $\alpha = 60^{\circ}$. În malaxorul cu pasul $p = 45 \text{ mm}$ și $\alpha = 120^{\circ}$ numărul de rotații necesare pentru obținerea amestecării perfecte constituie 500.
3. La amestecarea componentelor așezate în tobă în straturi orizontale și uniforme în lungul ei omogenitatea completă se obține la efectuarea a 12...15 rotații ale arborelui pentru $p = 30 \text{ mm}$, 18...27 rotații pentru $p = 45 \text{ mm}$ și 45 rotații pentru $p = 60 \text{ mm}$. În malaxorul cu două palete elicoidale omogenitatea completă se obține după 45 rotații ale arborelui.
4. Durata amestecării în malaxorul cu bare cu $p = 30 \text{ mm}$ este de 3 ori mai mică decât în malaxorul cu două palete elicoidale. Consumul de energie în primul caz este de 2,45 ori mai mic.
5. Așezarea orizontală și uniformă a componentelor amestecului în tobă în comparație cu situarea lor verticală conduce la micșorarea duratei de amestecare de 6...10 ori.
6. S-a obținut relația matematică care descrie adecvat dependența stabilității spumei utilizate la prepararea betoanelor celulare de durata de amestecare a substanței spumante și de cantitatea specifică a ei. La majorarea concomitent și a duratei de amestecare, și a cantității specifice de substanță spumantă stabilitatea spumei se mărește.
7. S-a construit nomograma care dă posibilitate de a determina rapid în condiții de producție valorile duratei de amestecare și a cantității de substanță spumantă pentru obținerea stabilității date a spumei și invers.

8. Consumul de energie în procesul malaxării

8.1. Energia specifică de malaxare

Energia specifică a unor malaxoare cu amestecare forțată este prezentată în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. Energia specifică a malaxoarelor cu amestecare forțată

Tipul malaxorului și sursa bibliografică	SB-93, [13]	SM-447A, [14]	S-289V, [14]	S-290, [14]	S-632, [52]	S-548R, [52]	S-780, [52]	Malaxor cu bare
Energia specifică, kW.h/m ³	1,055	1,556	0,82...1	0,91...1,05	0,9	0,47	0,67	0,35

Cea mai mare valoare a energiei specifice o au malaxoarele pentru argilă cu acționare continuă (SM-447A). Malaxoarele pentru beton SB-93 și pentru mortar S-289V, S-290 au energie specifică aproximativ de aceeași valoare și mai mică decât la malaxorul pentru argilă. Aceste valori destul de mari se datorează duratei mari de amestecare a componentilor. Așa, în malaxorul SB-93 durata amestecării betonului constituie 45 s, iar a mortarului – 70 s. În malaxoarele cu acționare continuă S-632, S-548R, S-780 pentru amestecuri de beton energia specifică este mai mică. În general, la toate malaxoarele cu majorarea productivității energia specifică se micșorează.

Conform [53] energia specifică în kW.h/m³ are următoarele valori: betoniere cu amestecare forțată – 1,67...2,00; betoniere cu cădere liberă – 0,74...0,82; centrale automate de beton – 1,05...1,23. Aceste date confirmă că prepararea amestecurilor necesită un volum mare de energie.

În malaxoarele cu bare energia specifică este cu mult mai mică și constituie 0,35 kW.h/m³ la încărcarea tobei din buncăre în mod automat.

Analiza procesului de amestecare în malaxoarele cu bare a dat posibilitate a evidenția locurile în care se consumă energia. La deplasarea barei prin amestec energia se cheltuie la:

- deplasarea nucleului de material situat în fața barei;
- deplasarea masei de material, situate în fața nucleului, atât înainte cât și în direcții laterale situate în dreapta și în stânga de la direcția de deplasare a barei în evantai;
- învingerea forțelor de frecare dintre părțile laterale ale barei și materialul din tobă;
- învingerea forțelor de frecare dintre capătul barei și material;
- învingerea forțelor de blocare a particulelor între capătul barei și corpul tobei;
- învingerea forțelor de frecare dintre partea laterală a barei și materialul situat între bară și pereții laterali ai tobei;
- învingerea forțelor de blocare a particulelor între partea laterală a barei și pereții laterali ai tobei.

În cazul când sunt răzuitoare la capetele barelor și răzuitoare radiale lângă pereții laterali ai tobei energia se cheltuie și pentru învingerea rezistențelor de frecare între răzuitoare și corpul tobei și rezistențelor de blocare dintre răzuitoare și corp.

În comparație cu organele de amestecare în formă de palete, barele nu deplasează materialul situat în fața nucleului la distanțe mari, are loc deplasarea particulelor la distanțe egale sau puțin mai mari decât dimensiunile golurilor dintre particule. De aceea consumul de energie este mai mic, și, ce este important, procesul de amestecare este mai intensiv.

8.2. Puterea necesară pentru transportarea amestecului în lungul malaxorului

Puterea în kW necesară pentru transportarea amestecului în lungul malaxorului se determină cu formula puterii conveierului elicoidal [54]

$$N_t = \frac{Q}{367} \varpi L,$$

unde Q este productivitatea malaxorului, Mg/h;

ϖ - coeficientul de rezistență la deplasare a amestecului, $\varpi = 4,0...5,5$;

L - lungimea malaxorului măsurată între centrele orificiilor de încărcare și de descărcare, m.

S-a calculat puterea N_t pentru malaxoarele cu 2 arbori cu palete [14] prezentate în tabelul 8.2. La trecerea unității de măsurare a productivității de la m^3/h la Mg/h s-a adoptat argila umedă ($W = 20...25\%$) cu densitatea $\rho = 1,7 Mg/m^3$. Puterea calculată N_t este prezentată în ultimul rând al tabelului 8.2. Vedem că puterea necesară pentru transportarea amestecului constituie 5,7...2,7 % din puterea instalată a malaxorului.

Tabelul 8.2. Parametrii tehnici ai malaxoarelor cu doi arbori orizontali pentru argilă

Parametrii	Tipul malaxorului				
	SM - 256	SM - 447A	SM - 449	SM - 296B	SM - 460
Productivitatea, m^3/h	35	18	18	7,5	3,6
Puterea instalată, kW	40	28	28	10	4,8
Lungimea jgheabului malaxorului, m	3,5	3	3	2	2
Puterea necesară pentru transportare, kW;	2,28	1,00	1,00	0,27	0,14
în % față de puterea instalată	5,7	3,57	3,57	2,7	2,92

Pentru betoniera S - 632 cu acțiune continuă cu 2 arbori cu palete [14] puterea necesară pentru transportarea amestecului este de 0,22 kW ceea ce constituie 4,9 %. Pentru betoniera S - 548R [14] puterea necesară pentru transportare constituie 14%.

Calcululele dovedesc faptul că operația de transportare a amestecului în lungul malaxorului folosește o parte destul de mare din puterea totală cheltuită de malaxor. De aceea micșorarea timpului de malaxare conduce la micșorarea și a energiei cheltuite inutil pentru învingerea forțelor de frecare dintre material și tobă, iar în malaxoarele cu acțiune continuă - la micșorarea lungimii jgheabului și puterii necesare pentru transportarea amestecului.

8.3. Puterea necesară pentru amestecarea componentelor

La calcularea puterii turbomalaxorului „se determină momentul rezistent total M ca sumă a momentelor rezistente la toate paletele de amestecare, la care se adaugă și momentele rezistente date de suporturile paletelor care pătrund în material” [31]. Momentul rezistent la o paletă se calculează cu relația

$$M_1 = k_1 S_1 r_{m1} \cos \alpha_1 \cos \beta_1,$$

unde k_l – rezistența specifică la malaxare la paleta respectivă, daN/cm²;
 S_l – suprafața paletei, cm²;
 r_{ml} – distanța de la centrul paletei până la axa de rotație, m;
 α_1 - unghiul de înclinare a paletei în planul orizontal-radial, grade;
 β_1 - unghiul de înclinare a paletei în planul vertical, grade.

În calcule se introduce valoarea rezistenței specifice medie la malaxare k_m valabilă pentru întregul malaxor.

În malaxoarele cu bare datorită interacțiunii barelor prin intermediul amestecului momentul rezistent total la amestecare nu este egal cu suma momentelor rezistente ale fiecărei bare, ci este cu mult mai mic și depinde atât de factorii constructivi, cât și de factorii tehnologici.

Puterea motorului malaxorului în kW se determină cu relația

$$N = \frac{M\omega}{1000\eta},$$

unde M – momentul de rezistență total necesar pentru malaxarea materialelor din tobă și învingerea rezistențelor în reazemele tobei, N.m;

ω - viteza unghiulară a arborelui cu organele de amestecare, rad/s;

η - randamentul transmisiei și a reazemelor arborelui.

Momentul rezistent total se determină cu relația

$$M = Fr,$$

unde F – forța de rezistență totală a malaxorului, N;

r – raza circumferinței descrise de capătul barei (organului de amestecare), m.

Rezistența totală de amestecare a malaxorului cu raportul $L/D = 1$ este egală cu rezistența unei singure bare la deplasarea ei tot prin același material. Rezistențele barelor în diferite materiale cu diferite diametre și diferite raze ale tobei sunt prezentate în capitolul 3. La schimbarea lungimii tobei și păstrarea aceluiași diametru al tobei rezistența de amestecare crește (tabelul 8.3).

Tabelul 8.3. Creșterea rezistenței de amestecare în malaxorul cu șase rânduri longitudinale de bare ($K_u = 0,5$, nisip)

Raportul L/D	0,5	0,8	1	1,1	1,4	2	2,6
Coefficientul de creștere sau de micșorare a rezistenței în raport cu rezistența pentru $L/D = 1$	0,85	0,93	1	1,06	1,26	1,74	2,21

Variația rezistenței de amestecare pe parcursul duratei preparării amestecului este demonstrată în figura de mai jos. La începutul procesului amestecării uscate (ciment plus nisip cu raportul 1:3) rezistența are valori mari, apoi peste 15 rotații se micșorează aproape de trei ori (malaxor cu pasul barelor $p = 60$ mm). Micșorarea rezistenței este datorită faptului că particulele de nisip se învâluiesc cu particule de ciment cu mult mai mici după mărime, se micșorează forța de frecare dintre particulele de nisip și dintre particulele de nisip și suprafața interioară a tobei.

După introducerea apei în amestec (raportul A/C = 0,5) rezistența crește brusc, apoi treptat se micșorează (de la 520 N până la 256 N). Creșterea rezistenței în acest caz are loc din cauza formării cocoloșelor foarte mari și înțepenirea lor și a masei întregi ceea ce conduce la pasul longitudinal al barelor egal cu 60 mm la deplasarea masei întregi de material împreună cu barele fără străpungerea ei (blocarea totală).

Aceleași experiențe efectuate în malaxorul cu pasul longitudinal al barelor egal cu 90 mm au demonstrat la amestecarea uscată aceeași micșorare a rezistenței de amestecare de la începutul malaxării de trei ori. Însă la introducerea apei în amestec (raportul A/C = 0,725)

rezistența de amestecare a devenit mai mică decât la amestecarea uscată. Aceasta se întâmplă datorită faptului excluderii blocării și străpungerii amestecului umed de către bare și umidității mai mari a amestecului.

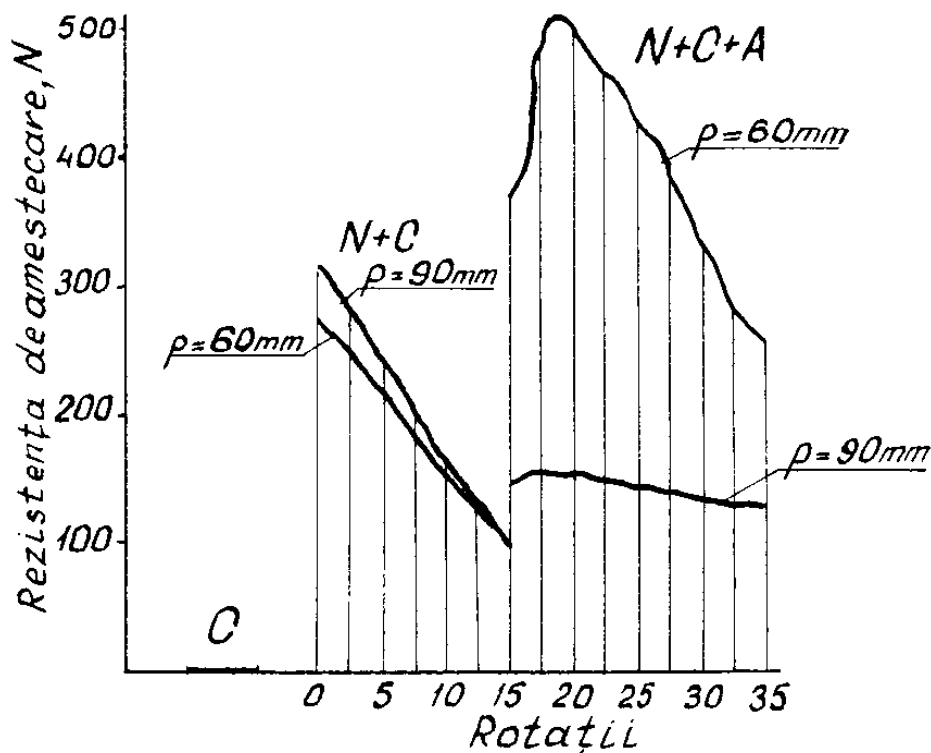


Fig. 8.1. Rezistența la înaintare funcție de componența amestecului și durata amestecării (numărul de rotații ale arborelui malaxorului): C – cimeht; N – nisip; A – apă; p – pasul longitudinal al barelor

Cum s-a demonstrat în p.3.5.5 la introducerea apei în amestecul uscat rezistența de amestecare crește în medie de 1,2 ori. Valoarea maximă a rezistenței se menține câteva secunde, apoi se micșorează.

Având în vedere gradul de supraîncărcare a motoarelor electrice asincronice cu regim continuu de funcționare care-i egal cu 1,7...2,2 se poate concluda că motorul adaptat pentru efectuarea procesului de amestecare uscată își va îndeplini funcțiile și în perioada amestecării umede, cu atât mai mult că în malaxorul cu bare cu efectuarea amestecării atât în planuri longitudinale cât și în planuri transversale durata amestecării uscate este de 3...6 s, iar a cei umede - 10...20 s.

8.4. Puterea necesară pentru rotirea tobei rezemate pe role

În malaxorul cu tobă rotitoare și arbore cu organe de amestecare în formă de bare care se rotește în direcție inversă rotirii tobei (fig. 2.10,b) materialul se situează aproximativ simetric în ambele părți de la planul mediu vertical și forța de gravitație atât a tobei, cât și a amestecului din tobă se repartizează uniform pe fiecare rolă. Pentru rotirea tobei este necesară energie nu numai pentru învingerea rezistențelor de frecare care apar în rulmenții roletelor de sprijin și a rezistențelor de frecare de rostogolire a roletelor pe centura tobei, însă și a forțelor de frecare dintre amestecul deplasat de către bare (șuvoiul B) și amestecul deplasat în direcție opusă de către tobă (șuvoiul A). Forța de frecare dintre aceste șuvoaie este egală cu forța de acționare a organelor de amestecare. Dacă turația tobei și a arborelui va fi egală cu cea inițială (spre

exemplu, $n = 60$ rot/min), atunci viteza relativă va fi de 2 ori mai mare decât în cazul rotirii numai a arborelui. Pentru menținerea aceleiași viteze inițiale trebuie rotite și arborele și toba cu viteză de două ori mai mică. Atunci puterea sumară cheltuită pentru rotirea tobei și a arborelui malaxorului va avea aceeași valoare ca și în cazul rotirii numai a arborelui (tobă fixă) cu turația de 60 rot/min.

În cazul acționării numai a arborelui (toba se reazemă liber pe role) va avea loc și rotirea tobei, și rostogolirea ei pe role, deoarece calculele demonstrează că puterea cheltuită numai pentru rotirea tobei constituie 8...10 % de la puterea necesară pentru amestecare [10]. Puterea totală a procesului de amestecare rămâne aceeași ca și în cazul acționării și a tobei.

CONCLUZII:

1. Consumul de energie în malaxoarele cu palete este destul de mare ($W = 0,47...1,56$ kW.h/m³) datorită duratei mari de amestecare, lopătării materialului fără amestecarea lui.
2. În malaxoarele cu palete cu acționare continuă pentru transportarea amestecului în lungul jgheabului se cheltuie 2,9...14,0 % din energia totală.
3. La calcularea puterii malaxorului cu organe de amestecare în formă de bare nu se însumează rezistența fiecărei bare situate în material, deoarece rezistența totală este cu mult mai mică decât suma rezistențelor barelor, acest fapt fiind rezultatul interacțiunii barelor prin intermediul materialului din toba și majorării mobilității materialului.
4. Durata mică de amestecare (13...26 s), gradul înalt de supraîncărcare a motoarelor electrice asincrone (1,7...2,2) permit alegerea motorului pentru malaxor cunoscând numai rezistența de amestecare în stare uscată a componentelor.

9. CALCULE DE REZISTENȚĂ ALE ELEMENTELOR MALAXORULUI

9.1. Studiul forțelor malaxoarelor cu tobă basculantă și amestecare forțată

Una din căile de majorare a duratei de funcționare a lagărelor tobei și arborelui malaxorului cu tobă basculantă și amestecare forțată [6,55] este micșorarea sarcinilor care acționează în aceste reazeme în procesul funcționării lui. Sarcinile pot fi micșorate până la valori egale cu zero prin acționarea asupra tobei cu o forță egală și de sens opus cu forța sumară care include forțele de gravitație ale tobei și ale materialului din tobă.

Malaxorul cu tobă basculantă și amestecare forțată (fig. 9.1) include o tobă 1 cu mânerul 2, un arbore 3 cu organele de amestecare 4 în formă de palete [6] sau bare [55], umărul 5, rama 6, lagărele 7 și 8 și suporturile 9 fixate pe ramă. Toba 1 se reazemă în lagărele 7 și poate fi basculată cu ajutorul mânerului 2 în stânga la descărcare (fig. 9.1, secțiunea A-A), iar în procesul preparării amestecului se reazemă cu umărul 5 pe rama 6.

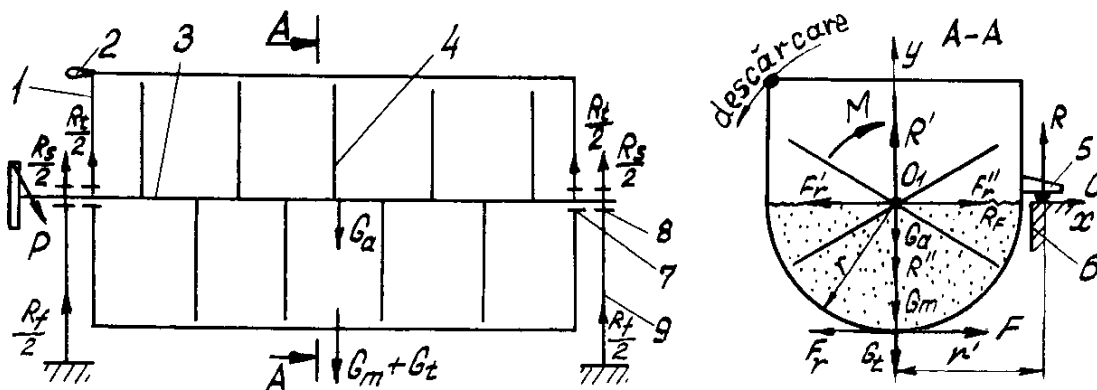


Fig. 9.1. Schema malaxorului cu tobă basculantă

Asupra sistemului de corpuri care formează malaxorul acționează forțe exterioare și interioare. În stare statică acționează următoarele forțe:

a) exterioare:

- forța de gravitație a materialului din tobă G_m ;
- forța de gravitație a tobei G_t ;
- forța de gravitație a arborelui cu organele de amestecare G_a ;
- forța de gravitație a ramei malaxorului cu mecanismul de acționare și echipamentul electric

G_r ;

- acțiunea fundației asupra ramei malaxorului R_f ;

b)interioare:

- acțiunea și reacțiunea în reazemele 7 ale tobei ;
- acțiunea și reacțiunea în reazemele 8 ale suporturilor.

Condiția de echilibru static a tobei se scrie în felul următor [56]

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = -G_m - G_t + \frac{R_t}{2} + \frac{R_t}{2} = 0, \quad (9.1)$$

unde $R_t / 2$ – reacțiunea în lagărul tobei.

$$\text{Din (9.1) obținem } R_t = G_m + G_t, \text{ iar } \frac{R_t}{2} = \frac{G_m + G_t}{2}. \quad (9.2)$$

Condiția de echilibru static a arborelui este următoarea

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = -G_m - G_t - G_a + \frac{R_s}{2} + \frac{R_s}{2} = 0, \quad (9.3)$$

unde $R_s / 2$ - reacțiunea în lagărul suportului.

$$\text{Din (9.3) obținem } R_s = G_m + G_t + G_a, \text{ iar } R_s / 2 = (G_m + G_t + G_a) / 2. \quad (9.4)$$

Condiția de echilibru static a ramei malaxorului

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = -G_m - G_t - G_a - G_r + R_f = 0, \quad (9.5)$$

$$\text{din care } R_f = G_m + G_t + G_a + G_r. \quad (9.6)$$

La începutul rotirii arborelui 3 cu organele de amestecare 4 în sensul mersului acelor de ceasornic (fig. 9.1, secțiunea A-A) materialul din toă este împins în direcția rotirii. Datorită frecării dintre material și toă ultima este impusă să se rotească în aceeași direcție. În acest moment centrul instantaneu al vitezelor tobei va fi punctul de contactare O al umărului 5 cu rama 6 a malaxorului. În punctul O apare reacțiunea R îndreptată vertical în sus.

Aplicăm în punctul O_1 (fig. 9.1), ales ca centru de reducere, un sistem din două forțe R' și R'' egale în valoare și de sensuri opuse, paralele cu forța dată R. Sistemul R' și R'' formează un sistem de forțe echivalent cu zero, care poate fi adăugat la orice sistem de forțe dat [57]. Admitem că $R' = R'' = R$. Astfel în loc de forța R, aplicată în punctul O, a fost obținută forța R' egală în valoare și de același sens cu forța R, însă aplicată în punctul O_1 și un cuplu aderat de forțe (RR''). Forța R' tinde să ridice toba în sus. Cuplul (RR'') se opune momentului care rotește toba față de punctul O.

Analizăm câteva modalități de situare a umărului față de rama tobei (fig. 9.2).

În poziția prezentată în fig. 9.2,a reacțiunea umărului R este îndreptată vertical în sus, iar forța R' ridică toba în sus. Deci lagărele tobei și ale arborelui vor fi eliberate într-o măsură oarecare de forțele de gravitație. În celelalte poziții forța R' deplasează toba în stânga (fig. 9.2,b), în dreapta (fig. 9.2,d) sau în jos (fig. 9.2,c) ceea ce conduce la majorarea sarcinilor lagărelor tobei și ale arborelui.

În procesul funcționării malaxorului materialul din toă se situează în așa mod că suprafața lui formează cu orizontul un unghi egal cu unghiul de taluz natural în mișcare

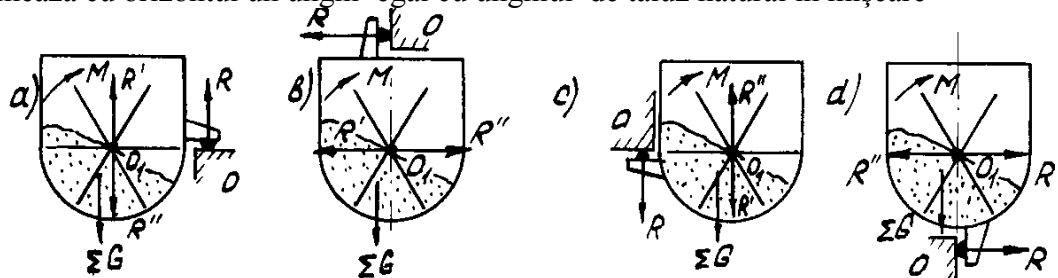


Fig. 9.2. Scheme de acționare a reacțiunii R' asupra tobei: a) umărul este situat

în plan orizontal, reacțiunea R' acționează asupra tobei de jos în sus;
 b) umărul în plan vertical, reacțiunea R' acționează din dreapta spre stânga; c) umărul în plan orizontal, reacțiunea acționează asupra tobei de sus în jos; d) umărul în plan vertical, reacțiunea acționează din stânga spre dreapta

(fig. 9.2, fig. 9.3). Asupra sistemului de corpuri acționează aceleași forțe exterioare ca și în starea lui statică. Forțele interioare sunt următoarele (mecanismul de acționare nu se examinează):

- forța periferică P de acțiune și reacțiune a cuplajului (fig. 9.1) (corespunzător momentului de acționare M);
- forța de frecare în lagărele tobei F_t și ale suporturilor F_s ;
- forța de rezistență Z a amestecului;
- forța de frecare dintre material și tobă F și reacțiunea ei F_r ;
- forța de acțiune și reacțiune R care apare în punctul de contactare a umărului 5 cu rama 6;
- acțiunea și reacțiunea în lagărele 7 ale tobei;
- acțiunea și reacțiunea în lagărele 8 ale suporturilor;
- momentul M_m format de forța de gravitație a materialului G_m care acționează la distanța x de la axa de rotire ($M_m = G_m x$).

În malaxoarele cu două palete elicoidale apare și o forță axială care își schimbă direcția de două ori la fiecare rotație a arborelui. Această forță lipsește în malaxoarele cu organe de amestecare în formă de bare, deoarece fiecare bară divizează șuvoiul de material din față în două părți egale.

Distanța de la axa y până la centrul de greutate al materialului din tobă x s-a determinat în mod experimental și constituie $x = 0,26r$ (unde r este raza interioară a tobei). Forța de frecare în lagărele tobei F_t și în rulmenții suporturilor F_s se determină cu formulele:

$$F_t = R_t f_a ; \quad (9.7)$$

$$F_s = R_s f_r, \quad (9.8)$$

unde R_t, R_s – reacțiunile în lagărele tobei și ale suporturilor ;

f_a și f_r - coeficienții de frecare în lagărele de alunecare și de rostogolire .

Forța de gravitație G_m a materialului care acționează la distanța x de la axa de rotire și rezistența Z care acționează asupra organelor de amestecare la distanța r de la axă se reduc în punctul O_1 , prima la forța G_m' egală și de același sens cu forța G_m , însă aplicată în punctul O_1 și un cuplu aderat de forțe ($G_m G_m''$), a doua - la forța Z' egală și de același sens cu forța Z , însă aplicată în punctul O_1 și un cuplu aderat de forțe (ZZ'').

Reacțiunea F_r a forței de frecare F acționează toba în sens orar (fig. 9.1 – 9.4). Când materialul din tobă este orizontal (fig. 9.1) forța F_r este orizontală, iar punctul de acțiune se găsește pe axa y . Forța F_r se reduce în punctul O_1 la forța F_r' egală și de sens opus cu forța F_r , însă aplicată în punctul O_1 și un cuplu aderat de forțe $F_r F_r''$.

Forța de frecare F este funcție de coeficientul de umplere a tobei cu material. În procesul încărcării tobei coeficientul de umplere crește, se mărește și forța de frecare F . Majorarea forței F , și deci a forței F_r' , conduce la creșterea reacțiunii R , iar aceasta asigură ridicarea tobei și eliberarea lagărelelor și a arborelui de sarcinile gravitaționale.

Ecuatiile de echilibru ale tobei la începutul funcționării malaxorului când suprafața materialului este încă orizontală (fig. 9.1) se scriu în modul următor:

$$a) \quad \sum_1^n F_{ix} = -F_r' + R_F = 0, \quad (9.9)$$

din care rezultă $R_F = F_r'$, însă $F_r' = F$, deci reacțiunea orizontală este egală cu forța de frecare;

$$b) \quad \sum_1^n F_{iy} = -G_m - G_t + R' = 0, \quad (9.10)$$

din care rezultă $R' = G_m + G_t$. (9.11)

În relația (9.10) lipsește reacțiunea verticală R_v care-i egală cu zero, deoarece forța de gravitație $G_m + G_t$ se echilibrează deplin de forța R' .

$$c) \quad \sum_1^n M_{O_1}(\bar{F}_i) = -F_r r + R r' + F_t \frac{d}{2} = 0, \quad (9.12) \quad \text{din}$$

care $R = \frac{F_r r - F_t \frac{d}{2}}{r'}$, (9.13) \quad \text{unde } d

este diametrul arborelui. În cazul de față forța de frecare $F_t = F_r f_a$.

Când suprafața materialului este înclinată față de orizont forța rezultantă maximă de frecare F este înclinată față de orizont cu un unghi α egal aproximativ cu 40° (malaxor cu șase rânduri longitudinale de bare fixate pe arbore) și acționează la raza r (fig. 9.3). Ecuațiile de echilibru ale tobei se scriu în felul următor:

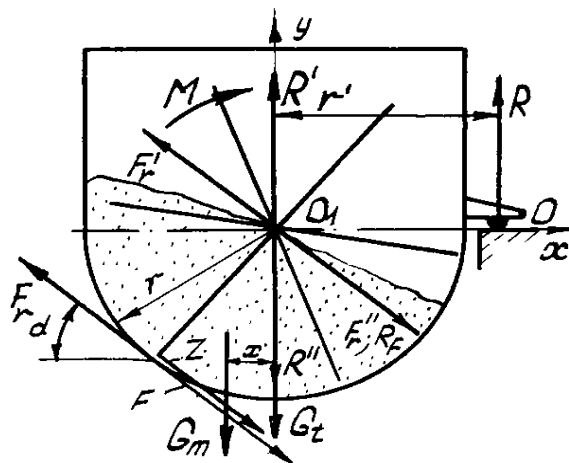


Fig. 9.3. Schema situării reazemului în plan orizontal, suprafața materialului înclinată

$$a) \quad \sum_1^n F_{ix} = -F_r \cos \alpha + R_F \cos \alpha = 0, \quad (9.14)$$

din care avem $R_F = F_r$; (9.15)

$$b) \quad \sum_1^n F_{iy} = -G_m - G_t + F_r \cos(90 - \alpha) - R_F \cos(90 - \alpha) + R = 0, \quad (9.16)$$

din care având în vedere (9.15) obținem

$$R = G_m + G_t; \quad (9.17)$$

$$c) \quad \sum_1^n M_{O_1}(\bar{F}_i) = -F_r r + G_m 0,26r + F_t \frac{d}{2} + R r' = 0, \quad (9.18)$$

din care

$$R = \frac{F_r r - G_m 0,26r - F_t \frac{d}{2}}{r'} \quad (9.19)$$

Și în acest caz forța de frecare este $F_t = F_r f_a$.

Vedem că reacțiunea R' egală cu R și care ridică toba depinde de distanța r' de la centrul tobei până la punctul de contactare a umărului 5 cu rama 6 și de valoarea forței de frecare dintre material și toabă. Valorile F_r , F_b , G_m , d și r sunt constante pentru malaxorul dat. La micșorarea razei r' reacțiunea R crește.

Rezultanta forțelor F'_r și R' care acționează asupra tobei nu este verticală și, deci, toba va fi deplasată în stânga și în sus (fig. 9.3). Direcția forței F_r este constantă. Pentru eliberarea completă a lagărelor tobei de sarcini putem schimba direcția reacțiunii R în așa mod ca rezultanta forțelor F'_r și R' să fie verticală. Situăm reazemele ramei în așa mod ca reacțiunea R în umăr să fie înclinată sub un unghi β față de orizont (fig. 9.4).

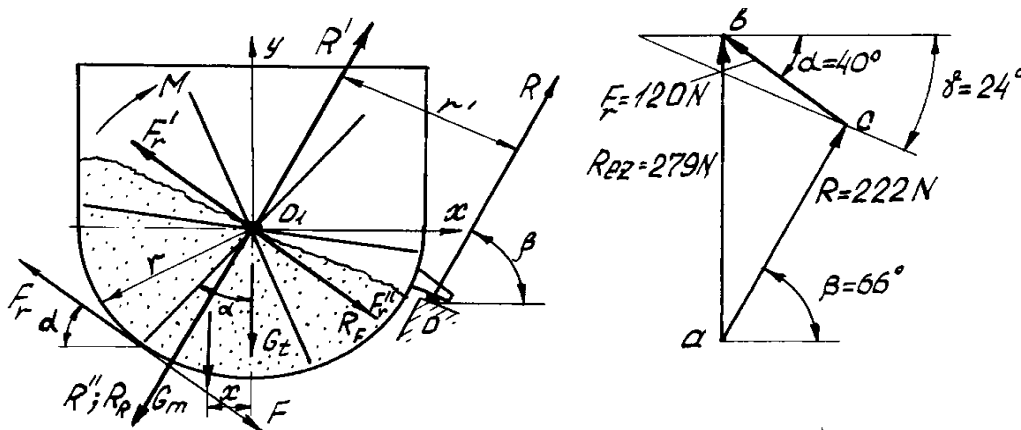


Fig. 9.4. Schema situației reazemului și a umărului cu înclinare față de axa x și poligonul forțelor care acționează asupra tobei

Ecuatiile de echilibru ale tobei în acest caz se scriu în felul următor:

$$a) \sum_1^n F_{ix} = -F'_r \cos \alpha + R' \cos \beta + R_F \cos \alpha - R_R \cos \beta = 0; \quad (9.20)$$

Proiecțiile orizontale din stânga trebuie să fie egale cu proiecțiile orizontale din dreapta și numai în acest caz rezultanta forțelor F'_r și R' va fi verticală.

$$b) \sum_1^n F_{iy} = F'_r \sin \alpha + R' \sin \beta - G_t - G_m - R_F \sin \alpha - R_R \sin \beta = 0, \quad (9.21)$$

$$\text{din care rezultă } F'_r \sin \alpha + R' \sin \beta = G_t + G_m. \quad (9.22)$$

În (9.21) $R_F \sin \alpha$ și $R_R \sin \beta$ sunt egale cu zero deoarece proiecțiile $F'_r \sin \alpha$ și $R' \sin \beta$ direcționate în sus înving numai forțele G_t și G_m și nu mai mult.

În cazul când forța de gravitație a materialului și a tobei sunt echilibrate de suma proiecțiilor forțelor F'_r și R' pe axa y reacțiunea R_t tot este nulă.

$$c) \sum_1^n M_{O_1}(\overline{F}_i) = -F_r r + G_m 0,26r + Rr' + F_t \frac{d}{2} = 0. \quad (9.23)$$

Deoarece $R_t = 0$ forța de frecare în lagăre $F_t = 0$ și atunci

$$R = \frac{(F_r - 0,26G_m)r}{r'}. \quad (9.24)$$

Deoarece valorile F_r , G_m și r sunt cunoscute, putem determina reacțiunea R funcție de r' . Însă în cazul de față trebuie să aflăm și valoarea lui R și unghiul de înclinare a acestei reacțiuni față de orizont. Rezultanta forțelor F_r și R trebuie să fie egală cu suma forțelor de gravitație ale materialului din tobă G_m și a tobei G_t și trebuie să fie îndreptată vertical în sus. Din vârful rezultantei (fig. 9.4, vârful b al poligonului de forțe) ducem o linie sub un unghi față de orizont egal cu α - unghiul de înclinare a forței F_r și indicăm valoarea acestei forțe prin bc . Unim punctul c cu a și obținem valoarea reacțiunii R și unghiul de înclinare a ei față de orizont β . Din (9.24) determinăm r' . Umărul se poate situa în raport cu O_1 în orice punct al liniei reacțiunii R .

Analizăm un caz concret. S-au efectuat măsurări ale rezistenței de amestecare în malaxorul cu raza interioară a tobei $r = 0,15$ m cu diametrul barelor de 10mm, unghiul dintre rândurile longitudinale ale cărora este de 60° , pasul longitudinal al barelor $p = 45$ mm și coeficientul de umplere a tobei cu nisip $K_u = 0,5$. Greutatea materialului din tobă este de 189 N, greutatea tobei 90 N. Forța $F_r = 120$ N. Construim poligonul forțelor (fig. 9.4). Rezultanta forțelor F_r și R trebuie să fie egală cu 279 N. După construire obținem $R = 222$ N, unghiul $\beta = 66^\circ$. Din (9.24) determinăm $r' = 0,048$ m.

Din (9.20) putem scrie

$$-F_r' \cos \alpha + R_F \cos \alpha = 0; \quad (9.25)$$

$$R' \cos \beta - R_R \cos \beta = 0, \quad (9.26)$$

din care $R_F = F_r, R_R = R'$.

Determinăm

$$F_r' \cos \alpha = 120 \cos 40^\circ = 91,93 \text{ N},$$

$$R' \cos \beta = 222 \cos 66^\circ = 90,3 \text{ N}.$$

Deci proiecțiile orizontale ale forțelor F și R sunt aproximativ egale. Lagărele tobei nu sunt solicitate la forțe orizontale.

În procesul funcționării malaxorului când suprafața materialului din tobă este înclinată, iar forța de rezistență la deplasare a barelor prin material Z este maximă ecuațiile de echilibru ale arborelui se scriu în modul următor (fig. 9.5):

$$a) \sum_1^n F_{ix} = Z' \cos \alpha - R_Z \cos \alpha = 0, \quad (9.27)$$

din care

$$R_Z = Z' = Z,$$

unde Z' - forța care acționează asupra arborelui (obținută în procesul reducerii forței Z).

Suma proiecțiilor forțelor pe axa y (având în vedere că forțele de gravitație G_m și G_t sunt echilibrate de suma proiecțiilor pe axa y a forțelor F_r și reacțiunii R (9.22))

$$b) \sum_{i=1}^n F_{iy} = -G_a - Z' \sin \alpha + R_Z \sin \alpha + R_a = 0. \quad (9.28)$$

Deoarece $R_Z = Z'$ obținem $-G_a + R_a = 0, R_a = G_a$.

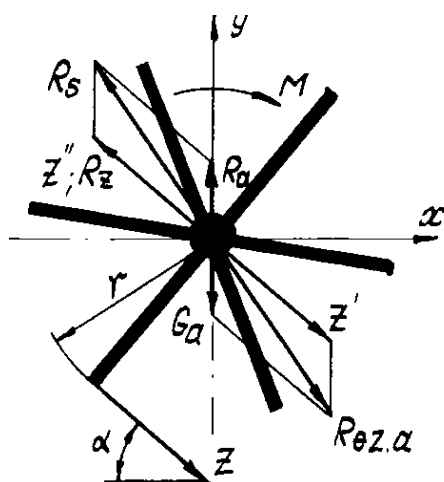


Fig. 9.5. Schema acțiunii forțelor asupra arborelui

$$c) \quad \sum_1^n M_o(\overline{F}_i) = M - M_z - M_f = 0,$$

$$P_o r - Zr - \left(F_t \frac{d}{2} + F_s \frac{d}{2}\right) = 0, \quad (9.29)$$

unde M – momentul de acțiune a arborelui;

M_z -momentul de rezistență, $M_z = Zr$;

M_f - momentul forțelor de frecare în lagărele suporturilor.

Rezultanta forțelor Z' și G_a este îndreptată în jos și în dreapta și încovoie arborele în această direcție, iar momentul de torsiune M soliciță arborele la torsiune.

9.2. Calculul barei

La calcularea paletelor malaxoarelor [31] se consideră că între extremitatea unei palete și jgheab s-a blocat o piatră și „că deci, în această situație, întregul moment de rotație care revine unui arbore se transmite la acea paletă”. În lucrarea [49] se menționează de asemenea că cel mai periculos caz apare când între una din palete și corpul jgheabului se blochează o bucată de piatră spartă sau un corp străin și calculul brațului portpaletă se face cu momentul maximal de încovoiere când cea mai mare parte a momentului de torsiune ($\sim 0,8T$) se transmite paletei. În [32] de asemenea se presupune că asupra brațului unei palete acționează 0,8 din momentul total la arbore.

În malaxorul cu bare, în caz de blocare a particulei între capătul barei și suprafața interioară a tobei, momentul de încovoiere a barei este cu mult mai mic decât momentul de încovoiere a paletei (în malaxoarele cu palete), deoarece secțiunea barei este mai mică decât secțiunea brațului portpaletă și bara se îndoaie la un moment cu mult mai mic decât cel necesar pentru încovoierea brațului portpaletă.

Bara (fig. 9.6.) reprezintă o consolă cu un capăt fixat rigid pe arbore și se calculează la încovoiere ținând seama de momentul de încovoiere maximal care apare în procesul amestecării fără și cu blocare.

Tensiunea care apare în secțiunea barei în locul acostării ei cu arborele se determină cu formula

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} \leq [\sigma_i] \quad (9.30)$$

unde M_i – momentul de încovoiere, N.m;

W – momentul de rezistență la încovoiere a secțiunii barei, m^3 ;
 $[\sigma_i]$ - tensiunea admisibilă la încovoiere a materialului barei, N/m^2 .
 Momentul de încovoiere se determină cu relația (vedeți fig. 9.6,a)

$$M_i = ZL, \quad (9.31)$$

unde Z – rezistența la înaintare a barei prin material, N ;
 L -brațul acționării forței Z , m ($L=R-d_a/2$).

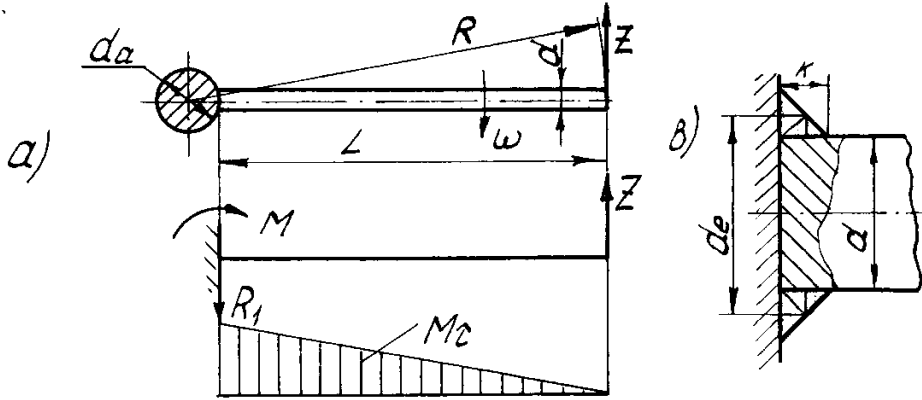


Fig. 9.6. Schema constructivă și de calcul a barei (a) și cusăturii (b)

Momentul de rezistență la încovoiere pentru secțiunea circulară se determină

$$W = 0,1 d^3, \quad (9.32)$$

unde d – diametrul barei în secțiunea periculoasă, m .

Substituind (9.31) și (9.32) în (9.30) determinăm diametrul barei

$$d = \sqrt[3]{\frac{10ZL}{[\sigma_i]}}. \quad (9.33)$$

Calculul barei la oboseală. În procesul funcționării bara este încărcată cu sarcini variabile. Când ea nu se găsește în material, sarcina este nulă. Când intră în material, sarcina crește lin atinge o valoare maximă egală cu rezistența la înaintare Z , apoi scade lin până la zero. În așa fel, vedem că ciclul de încărcare este asimetric și din această considerație se calculează coeficientul real de siguranță la rezistență n [57].

Calculul cusăturii de fixare a barei pe arbore. Tensiunea de forfecare a cusăturii se determină cu relația

$$\sigma = \frac{M_i}{W} \leq [\tau], \quad (9.34)$$

unde M_i – momentul de încovoiere în secțiunea cusăturii, $M_i=ZL$, $N.m$;
 W – momentul de rezistență la încovoiere a secțiunii cusăturii, m^3 ;
 $[\tau]$ - tensiunea admisibilă la forfecare, Pa .

Momentul de rezistență W se determină cu relația [59].

$$W = 0,1 d e^3 (1 - c^4), \quad (9.35)$$

unde $d_e = d + 2 \cdot 0,5K$ – diametrul exterior al secțiunii cusăturii, m (fig.9.6, b);

d -diametrul barei, m ;

k -cateta cusăturii, m ;

$C = \frac{d}{d_e}$ - coeficient.

Tensiunea admisibilă la forfecare se determină cu relația (sudare manuală) [58].

$$[\tau] = 0,6 [\sigma] \gamma, \quad (9.36)$$

unde $[\sigma]$ - tensiunea admisibilă la întindere a materialului care se sudează, Pa;

γ - coeficientul care ține seama de acțiunea sarcinilor variabile.

Coeficientul γ se determină cu formula

$$\gamma = \frac{1}{0.6K_\sigma + 0.2 - (0.6K_\sigma - 0.2)r}, \quad (9.37)$$

unde K_σ - coeficientul efectiv de concentrare a tensiunilor [58];

r - coeficientul de asimetrie a ciclului, $r = \tau_{\min}/\tau_{\max}$, pentru ciclul pulsator $r=0$.

9.3. Calculul arborelui

Momentul maximum de torsiune care trebuie transmis de arbore se determină cu formula

$$T = ZR,$$

unde Z - rezistența totală de amestecare raportată la capătul barelor, N.m;

R - raza circumferinței descrise de capetele barelor, m.

Pentru malaxorul cu 6 rânduri longitudinale de bare cu unghiul dintre rânduri egal cu 60 grade și coeficientul de umplere $K_u=0,5$ la rândurile transversale impare de bare în material se vor găsi două bare la cele pare - o bară (fig. 9.7, 9.8).

Rezistența medie învinsă de o bară situată în material Z'

$$Z' = \frac{Z}{m},$$

unde m - numărul total de bare situate în material.

Momentul de torsiune după primul rând transversal de bare se micșorează cu valoarea $2Z'R$ (două bare în material), după rândul al doilea - cu $3Z'R$ (trei bare în material) ș.a.m.d. Micșorarea momentelor după rândurile impare se determină cu relația

$$\Delta T_{ii} = (m_1 + \frac{3}{2}(n_{ii} - 1))Z'R,$$

iar după rândurile pare - cu relația

$$\Delta T_{ip} = \frac{3}{2} n_{ip} Z'P,$$

unde m_1 - numărul de bare situate în material ale primului rând transversal de bare, $m_1=2$;

n_{ii} - numărul de ordine al rândului transversal impar de bare;

n_{ip} - numărul de ordine al rândurilor transversale pare de bare.

Momentele de torsiune după orice rând transversal impar de bare se determină cu relația

$$T_{ii} = T - \Delta T_{ii} = (m_1 + \frac{3}{2}(n_{ii} - 1))Z'R, \quad \text{iar}$$

după orice rând par - cu relația

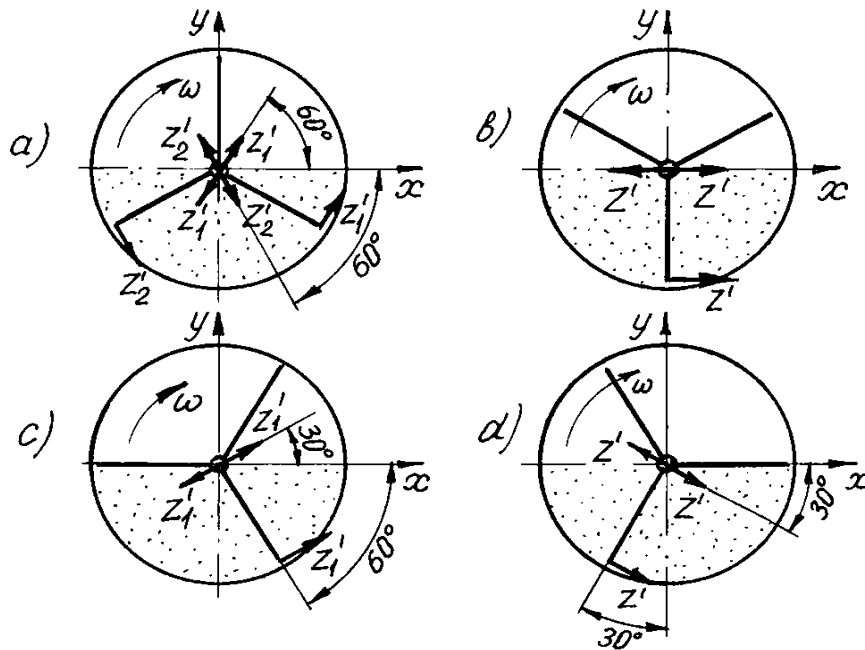


Fig. 9.7. Schema situării barelor în material și acționării rezistenței de amestecare asupra barelor și arborelui: a- rând transversal impar; b-rând par; c,d – idem, după rotirea arborelui la 30°

$$T_{ip} = T - \Delta T_{ip} = T - \frac{3}{2} n_{ip} Z'R.$$

Rezultatele determinării momentului de torsiune sunt prezentate în fig. 9.8 pentru malaxorul cu 27 bare al cărui moment de torsiune maxim este egal cu 33,6 N.m. Vedem că momentul de torsiune se micșorează treptat și după rândul al noulea transversal de bare practic este nul.

Momentul de torsiune pe parcursul a unei rotații variază. La rotirea arborelui în direcția acelor de ceasornic cu 30 grade (fig. 9.7,c,d) vedem că în rândurile transversale impare barele rândului longitudinal din stânga (fig. 9.7,c) vor ieși din material, iar la rândurile transversale pare barele rândului longitudinal din dreapta (fig. 9.7,d) vor intra în material și rezistențele acestor bare vor fi egale cu zero. Deci, la acest unghi de rotire în material se vor găsi în total 9 bare și momentul de torsiune se va micșora. La rotirea de mai departe a arborelui cu 30 grade în material vor fi iarăși 14 bare și momentul va crește. Această variație de moment se ia în considerație la calculul de verificare a arborelui și determinarea coeficientului de siguranță la oboseală.

Forțele care încovoie arborele acționează în diferite planuri. De aceea se determină mai întâi proiecțiile lor pe axele x și y , apoi momentele de încovoiere în planurile verticale și orizontale, suma momentelor care acționează în planurile verticale și orizontale.

În rândurile transversale impare de bare, asupra arborelui acționează forțele de încovoiere Z'_1 și Z'_2 sub un unghi de 60 grade față de axa x (fig. 9.7, a). Suma proiecțiilor acestor forțe pe axa y este egală cu zero. Suma proiecțiilor pe axa x este

$$\sum x = Z'_1 \cos 60^\circ + Z'_2 \cos 60^\circ = 2Z' \cos 60^\circ = Z'.$$

În rândurile transversale pare de bare, asupra arborelui acționează numai forțe orizontale Z' (fig. 9.7,b) direcționate ca și axa x . Reacțiunile în zezamele arborilor sunt egale cu $R_1=R_2=9Z'/2=4,5Z'$. Epura momentelor de încovoiere este prezentată în fig. 9.8. Momentul maximum este egal cu 8,7 N.m.

Momentul de încovoiere de asemenea variază funcție de unghiul de rotire al arborelui pe parcursul unei rotații atât numeric cât și după direcție.

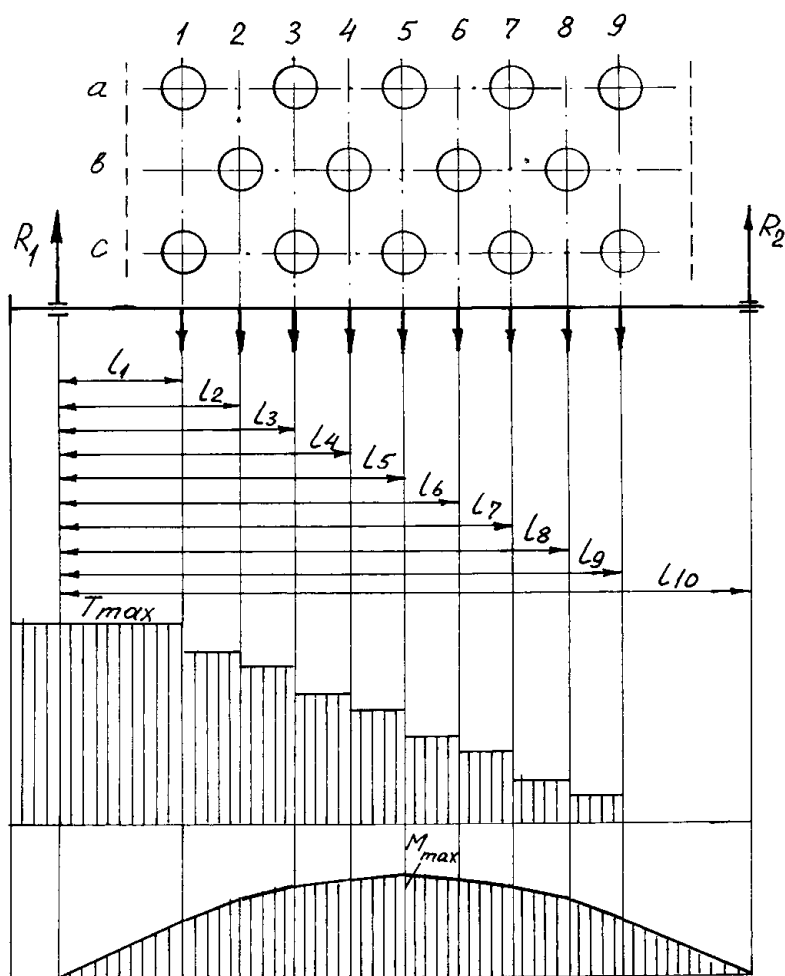


Fig. 9.8. Schema situării barelor în material, forțele de încovoiere a arborelui și epurele momentelor de torsiune și încovoiere: 1...9 – numerele de ordine ale rândurilor transversale de bare; a,b,c - rândurile longitudinale de bare situate în material.

La rotirea în direcția acelor de ceasornic cu un unghi de 30^0 în rândurile transversale impare de bare asupra arborelui vor acționa forțe de încovoiere Z'_1 în primul cadran sub un unghi de 30^0 față de axa x (fig. 9.7,c), iar în rândurile pare - forța Z' în cadranul patru sub un unghi de 30^0 față de axa x (fig. 9.7, d). Proiecțiile acestor forțe pe axele x și y sunt:

$$\begin{aligned}\Sigma x &= 5 Z'_1 \cos 30^0 + 4 Z' \cos 30^0 = 7,794 Z'; \\ \Sigma y &= 5 Z'_1 \cos 60^0 - 4 Z' \cos 60^0 = 0,5 Z'.\end{aligned}$$

Rezultanta momentelor care acționează în planul orizontal x și cel vertical y este egală cu 7,55 N.m și-i înclinată față de axa x sub un unghi de $2,09^0$. Valoarea acestui moment este mai mică decât a momentului inițial care acționa în plan orizontal. Pentru calculul arborelui se adoptă poziția inițială de situare a barelor în material (fig. 9.7, a,b).

Momentul echivalent se determină conform teoriei a treia de rezistență [58] cu relația

$$Me = \sqrt{M^2 + T^2},$$

unde M – momentul de încovoiere;
 T – momentul de torsiune.

Analogic se calculează arborele echipat cu alt număr de rânduri longitudinale și transversale de bare.

Calculule prezentate se referă la funcționarea malaxorului fără blocarea particulelor între capetele barelor și corpul tobei. În cazul blocării particulei (particulelor) între capetele barei (barelor) și corpul tobei, cum se menționează în [31,49] pentru palete, apar tensiuni maxime atât în bare cât și în arbore. Rezistența de amestecare în procesul blocării poate depăși rezistența nominală de circa două ori, deci calculul arborelui la rezistență statică se va efectua ținând seama de aceste condiții.

Concluzii:

1. În procesul funcționării malaxorului cu tobă basculantă apare o forță de frecare F dintre amestec și suprafața interioară a tobei, reacțiunea căreia F_r tinde să rotească toba în direcția rotirii arborelui cu organele de amestecare. Toba se reazemă în acest moment cu umere orizontale în rama malaxorului. În punctul de reazem al umărului apare o reacțiune R care fiind redusă la centrul tobei contribuie la ridicarea tobei și în așa mod - la micșorarea sarcinilor în lagărele tobei și la eliberarea arborelui de forțele de gravitație ale materialului și tobei.

2. Cu cât umărul este mai aproape de centrul tobei cu atât mai mare este reacțiunea R .

3. La majorarea distanței dintre linia de acțiune a forței F_r și punctul de contactare a umărului cu rama se micșorează forța necesară pentru ridicarea tobei.

4. Situarea umărului într-un plan înclinat față de orizont conduce la obținerea unei rezultante a forței F_r și reacțiunii R direcționate vertical care echilibrează deplin forțele de gravitație ale materialului și tobei. Aceasta contribuie la majorarea duratei de funcționare a lagărelor.

5. Deoarece lagărele tobei se eliberează deplin de sarcină, este posibilă situarea lor nu numai în același plan vertical cu lagărele suporturilor arborelui, ci și între suporturi ceea ce contribuie la simplificarea construcției malaxorului.

6. În malaxoarele cu două palete elicoidale apare și o forță axială care își schimbă direcția de două ori la fiecare rotație a arborelui. Această forță lipsește în malaxoarele cu organe de amestecare în formă de bare, deoarece fiecare bară divizează șuvoiul de material din față în două părți egale.

7. În malaxorul cu bare cu rotirea tobei și a arborelui în direcții opuse, cu luful dintre capetele barelor și suprafața interioară a tobei mai mare decât dimensiunea celei mai mari bucăți de material, calculul barelor și al arborelui se efectuează pentru sarcinile nominale fără să se țină seama de blocare. Aceasta conduce la obținerea dimensiunilor mai mici ale elementelor malaxorului, prețuri mai mici la confecționare, cheltuieli mai mici în exploatare.

10. EVALUAREA EFICIENȚEI ECONOMICE A MALAXOARELOR CU BARE

10.1. Domeniile de utilizare

Malaxoarele de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare pot fi utilizate la executarea tehnologiilor noi de preparare a amestecurilor în diferite domenii ale economiei naționale: în construcție și tehnologia materialelor de construcție (prepararea amestecurilor uscate, semiuscate, de mortar, de beton, șarjelor de sticlă, etc.), în agricultură (prepararea amestecului de pământ pentru sere, prepararea nutrețurilor combinate, tratarea chimică a semințelor, etc.), în industria construcției de mașini (prepararea șargelor pentru confecționarea garniturilor de fricțiune, prepararea pământurilor în secțiile de turnătorie, etc.), în energetică (prepararea amestecurilor mixte pentru fabricarea brichetelor de foc).

În anul 1990 în secția de amestecare a M.N.P.K.Ț. „MATERIALOVEDENIE” au fost utilizate malaxoarele, confecționate conform descrierilor brevetelor de invenție ale U.R.S.S. nr.1799289, 1583156 pentru prepararea amestecurilor mixte necesare producerii articolelor de construcție pentru zidărie.

Autorul participă din anul 1993 la lucrările de cercetare-dezvoltare prevăzute în Programul comun de colaborare dintre I.C.E.C.O.N. București și U.T.M. Chișinău în următoarele domenii:

a) conceperea, proiectarea și încercarea malaxoarelor cu bare pentru procesarea materialelor de construcții;

b) studii și analize privind procesul de amestecare a materialelor în stare uscată;

c) dozarea componentelor și malaxarea pentru realizarea în flux continuu a betonului proaspăt;

d) optimizarea constructivă și funcțională a sistemelor de malaxare cu bare pentru producerea betonului pe șantier.

În cadrul Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii de Mecanizarea Construcțiilor București s-a realizat un model funcțional de malaxor cu bare pentru prepararea betonului în flux continuu după proiectul elaborat în U.T.M. Chișinău. Rezultatele experimentale, ca urmare a probelor prelevate pentru cinci rețete distincte, au evidențiat realizarea unui proces de amestecare performant, cu un grad ridicat de omogenizare, în condițiile unei producții orare ridicate. De asemenea, consumul energetic este de 3..4 ori mai mic decât la malaxoarele clasice, pentru aceeași cantitate de beton folosită. Se menționează că sistemele de malaxare cu bare brevetate de autori sunt eficiente și oportune, fără a implica costuri ridicate în exploatare. Sub aspect științific soluția tehnică constituie o contribuție deosebită în domeniul științelor tehnice cu aplicare în construcții.

În luna ianuarie a anului 2002 a fost încheiat un contract de colaborare cu S.A. INCOMAȘ cu scopul confecționării malaxoarelor cu organe de lucru în formă de bare în baza brevetului de invenție al Republicii Moldova nr.depozit a 2001 0374, data depozit 19.11.2001.

Din luna martie a anului 2002 la S.A. INCOMAȘ s-a început confecționarea în serie a malaxoarelor de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare cu acționare ciclică și amestecare forțată (fig.10.1, 10.2)conform rândului de tipodimensiuni elaborat și în conformitate cu cererea de brevet de invenție cu numărul de depozitare a 2001 0374, data



Fig. 10.1. Malaxor cu bare cu acțiune ciclică cu volumul amestecului preparat $V_a = 80 \text{ dm}^3$. Producție S.A. INCOMAȘ



Fig. 10.2. Malaxor cu bare cu acțiune ciclică cu volumul amestecului preparat $V_a = 10 \text{ dm}^3$. Producție S.A. INCOMAȘ

depozitării 2001.11.19 la Agenția de Stat pentru Protecția Proprietății Industriale a Republicii Moldova.

Malaxorul cu acțiune ciclică (nr. depozit: a-2001 0374, data depozit: 2001.11.19) și Generatorul de spumă (nr. depozit: a-2002 0034, data depozit: 2001.12.28) sunt utilizate în laboratoarele

catedrelor Tehnologia materialelor de construcții și Căi ferate, drumuri și poduri ale U.T.M. în corespundere cu revendicările brevetelor corespunzătoare pentru efectuarea procesului de studii și a cercetărilor științifice (actele despre utilizarea propuneriiilor din 15.04.2002, U.T.M., Chișinău).

În anul 2005 a fost implementat în producție (firma „SĂNSUS”, r-l Criuleni) malaxorul cu acțiune ciclică confecționat în corespundere cu revendicările brevetelor de invenție nr.479 și nr.2301 la prepararea amestecului de pământ pentru sere care conține 5 componente (cernoziom, humus, turbă, nisip, mărunțiș de calcar). Parametrii malaxorului: diametrul tobei - 227 mm, lungimea tobei - 1000mm, coeficientul de umplere - $K_u = 1$, numărul de rotații al arborelui - 189 rot/min, puterea motorului - 3kW, durata amestecării - 35...40 s. Utilizarea malaxorului de tip nou la procesul de preparare a amestecului de pământ dă posibilitate de a micșora de trei ori durata de amestecare în comparație cu malaxorul existent și de a obține o omogenitate înaltă a amestecului.

Malaxorul cu acționare ciclică (brevetul de invenție nr. 2301) a fost utilizat în producție pentru prepararea amestecului care conține 15 componente (fărâmițatură de cauciuc, rășină SDP-011, barit, alumina, grafit, stibiu, vermiculit, fibră de sticlă, lână de oțel, var nestins, sulf, oxid de zinc, tiuram și a.) și utilizat la fabricarea garniturilor de fricțiune ale mașinilor. Utilizarea acestui malaxor dă posibilitate de a micșora de opt ori durata de amestecare în comparație cu malaxorul existent (5min și 40 min corespunzător) și de a obține o omogenitate înaltă a amestecului.

În momentul de față se efectuează încercări ale malaxorului cu acționare continuă confecționat în corespundere cu revendicările brevetelor de invenție SU 1799289 A3, MD 480 G2 (fig. 10.3) la tratarea cu fungicide a semințelor de porumb. Parametrii malaxorului:



Eig. 10.3. Malaxor cu bare cu acționare continuă cu productivitatea orară
 $Q = 900...1200$ kg/oră

diametrul tobei - 219 mm, lungimea tobei - 1200 mm, coeficientul de umplere - 0,35, numărul de rotații al arborelui - 60 rot/min, puterea motorului - 0,4 kW, productivitatea procesului de tratare chimică - 900...1200 kg/h. Utilizarea malaxorului cu bare asigură o acoperire uniformă a semințelor cu fungicide.

10.2.Gama de dimensiuni

Unificarea și normalizarea mașinilor asigură micșorarea numărului de tipodimensiuni și posibilitatea confecționării lor în serie mare fără coordonarea de fiecare dată a parametrilor tehnici cu clientul concret.

Formarea rândului de tipodimensiuni se bazează pe seriile de bază de numere preferențiale în conformitate cu GOST 8032-84. Numerele preferențiale reprezintă progresii geometrice cu rațiile: $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$ - rândul al cincilea; $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$ - rândul al zecelea; $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$ - rândul al douăzecelea ș.a.m.d.

Parametrul principal al malaxorului cu acționare ciclică este volumul amestecului preparat pe parcursul unui ciclu măsurat în dm^3 . Parametrul principal al malaxoarelor cu acționare continuă este productivitatea orară măsurată în m^3/h . Rândurile de tipodimensiuni sunt prezentate în tabelul 10.1. Când se adoptă volumul amestecului malaxorului din tabel, se ține

Tabelul 10.1. Rândurile de tipodimensiuni ale malaxoarelor cu bare

R _{a5}	R _{a10}	R _{a20}	R _{a5}	R _{a10}	R _{a20}	R _{a5}	R _{a10}	R _{a20}
1	1,2	1,2 1,4	25	32	32 36	630	800	800 900
1,6	1,6	1,6 1,8	40	40	40 45	1000	1000	1000 1120
	2,0	2,0 2,2		50	50 56		1250	1250 1400
2,5	2,5	2,5 2,8	63	63	63 71	1600	1600	1600 1800
	3,2	3,2 3,6		80	80 90		2000	2000 2240
4,0	4,0	4,0 4,5	100	100	100 110	2500	2500	2500 2800
	5,0	5,0 5,6		125	125 140		3150	3150 3550
6,3	6,3	6,3 7,1	160	160	160 180	4000	4000	4000 4500
	8,0	8,0 9,0		200	200 220		5000	5000 5600
10	10	10 11	250	250	250 280	6300	6300	6300 7100
	12	12 14		320	320 360		8000	8000 9000
16	16	16 18	400	400	400 450	10000	10000	10000 11200
	20	20 22		500	500 560		12500	12500 14000
25	25	25 28	630	630	630 710	16000	16000 18000	

seama și de volumul mijlocului de transportare a acestui amestec, și anume volumul amestecului preparat trebuie să fie egal cu volumul mijlocului de transportare sau să fie multiplu cu acest volum.

10.3. Calculul eficienței economice

S-a calculat efectul economic obținut datorită implementării malaxorului cu acționare ciclică confecționat la S.A. INCOMAȘ în baza contractului de colaborare.

Productivitatea de exploatare a malaxorului în m³/oră s-a determinat cu formula

$$Q = \frac{3600V_g K_u K_s K_{ut}}{1000T_c},$$

unde V_g – volumul geometric al tobei, $V_g = 200 \text{ dm}^3$;

K_u – coeficientul de umplere, $K_u = 0,5$;

K_s – coeficientul de spor, $K_s = 0,8$;

K_{ut} – coeficientul de utilizare a timpului de lucru, $K_{ut} = 0,85$;

T_c – durata ciclului, s.

Durata ciclului se determină cu relația

$$T_c = T_i + T_a + T_d + T_b,$$

unde T_i – durata încărcării manuale a tobei, s;

T_a – durata amestecării, s;

T_d – durata descărcării amestecului din toabă, s;

T_b – durata basculării tobei la poziția inițială, s.

Productivitatea anuală de exploatare a malaxorului s-a determinat cu relația

$$Q_a = Q n_s n_{os} n_{zl},$$

unde 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.

Rezultatele calculului efectului economic sunt prezentate în tabelul 10.2. Vedem că

Tabelul 10.2. Calculul efectului economic

Nr. crt.	Indicii	Simbolul	Unitatea de măsurare	Valoarea indicelui	
				malaxorul cu palete	malaxorul cu bare
1	2	3	4	5	6
1	Volumul amestecului preparat	V_a	dm ³	80	80
2	Volumul geometric al tobei	V_g	dm ³	200	200
3	Puterea motorului	N_m	kW	1,5	1,5
4	Costul malaxorului	K	lei	8125	8125
5	Durata încărcării tobei	T_i	s	149,3	149,3
6	Durata amestecării	T_a	s	110	45
7	Durata descărcării amestecului	T_d	s	10	10
8	Durata basculării tobei la poziția inițială	T_b	s	2	2
9	Durata ciclului de preparare	T_c	s	271,3	206,3
10	Numărul de cicluri pe oră	n_c		13	17,5
11	Productivitatea orară	Q	m ³ /oră	0,9	1,19
1	2	3	4	5	6
12	Productivitatea anuală (lucrul într-un schimb)	Q_a	m ³ /an	1829	2418
13	Diferența dintre productivități	ΔQ	m ³ /an	589	
14	Prețul de vânzare a unui m ³ de	C	lei/m ³	392	

	mortar			
15	Rentabilitatea medie	R	%	15
16	Efectul economic anual (lucrul într-un schimb)	E_1	lei/an	34633,2
17	Idem (lucrul în două schimburi)	E_2	lei/an	69266,4

efectul economic anual de la implementarea malaxorului cu acționare ciclică cu volumul amestecului preparat $V_a = 80 \text{ dm}^3$ confecționat de către S.A. INCOMAȘ conform brevetului de invenție al Republicii Moldova nr.2301 constituie pentru un malaxor cu lucrul organizat într-un schimb 34633,20 lei. În anul 2002 au fost confecționate și utilizate opt malaxoare de așa tip.

CONCLUZII:

1. Autorul participă la Programul comun de colaborare dintre ICECON București și U.T.M. Chișinău în domeniul cercetării, proiectării, confecționării și încercării malaxoarelor cu bare.

2. A fost încheiat un contract de colaborare cu S.A. INCOMAȘ cu scopul confecționării malaxoarelor cu bare. Din luna martie a anului 2002 s-a început confecționarea în serie a acestor malaxoare.

3. Malaxoarele cu bare s-au implementat în producție pentru: prepararea amestecurilor mixte necesare producției articolelor de construcție pentru zidărie; prepararea betonului în flux continuu; prepararea amestecului de pământ pentru sere care conține 5 componente; prepararea amestecului uscat care conține 15 componente utilizat la fabricarea garniturilor de fricțiune ale mașinilor; efectuarea procesului de studii și a cercetărilor științifice în laboratoarele catedrelor Tehnologia materialelor de construcții și Căi ferate, drumuri și poduri ale U.T.M.

4. Efectul economic anual de la implementarea malaxorului cu acționare ciclică cu volumul amestecului preparat de 80 dm^3 constituie 34633,2 lei (lucrul într-un schimb).

CONCLUZII GENERALE:

1. A fost elaborată teoria procesului de amestecare în malaxoarele echipate cu organe de lucru în formă de bare care include: descrierea procesului de divizare a materialului în șuvoaie și îmbinare ulterioară a lor, de migrație a particulelor, de interacțiune a barelor prin intermediul materialului din tobă; determinarea legii de distribuție a particulelor amestecului în rezultatul divizării și îmbinării multiple a șuvoaielor la trecerea barelor prin material; determinarea legii de distribuție a probabilităților nimeririi particulei într-o zonă anumită a tobei malaxorului; determinarea legităților care descriu dependența rezistenței de înaintare a barei (barelor) prin amestec de parametrii geometrici ai malaxorului și parametrii tehnologici ai procesului de malaxare; descrierea matematică a procesului blocării particulelor în formă de sferă, paralelipiped și până situate pe o suprafață plană și pe o suprafață concavă; determinarea unghiului de blocare a particulelor și jocului dintre capetele barelor și suprafața interioară a tobei care asigură evitarea blocării particulelor între bare și corpul tobei; studiul forțelor care acționează asupra arborelui, tobei și reazemelor malaxorului cu toba basculantă și obținerea condițiilor de eliberare deplină a arborelui de forțele de gravitație ale tobei și amestecului; elaborarea principiilor de confecționare a malaxoarelor de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare.

2. În comparație cu malaxoarele cu palete, în care materialul din fața paletelor alunecă pe suprafața frontală a ei fără amestecare, în malaxoarele cu bare situate într-un mod special în spațiul dintre arbore și pereții interiori ai tobei toată masa amestecului este divizată concomitent într-un număr mare de șuvoaie, care imediat se îmbină, iar șuvoaiile îmbinate iarăși se divizează și apoi se îmbină ș.a.m.d.; acest proces se petrece atât în planuri longitudinale cât și în planuri transversale și

conduce la migrarea concomitentă a particulelor din partea stângă a tobei spre cea dreaptă și invers și, de asemenea, de la arbore spre periferia tobei și invers, și, ca rezultat, obținerea intensificării de 5...6 ori a procesului de amestecare și a unei omogenități înalte a amestecului într-o durată scurtă de timp; materialul fiecărui șuvoi obținut la finele procesului de amestecare conține particule ale tuturor șuvoaielor precedente; organele de amestecare în formă de bare au formă simplă - secțiunea transversală poate fi circulară, pătrată, dreptunghiulară și a., aceste profiluri sunt standardizate; la situarea barelor pe suprafața arborelui în șah ele înving numai forțe tangențiale deoarece forțele axiale acționează din ambele părți ale barelor și, având direcții diferite, se echilibrează.

3. Este propus un nou criteriu pentru aprecierea calității amestecării în malaxoarele pentru beton și mortar care reprezintă numărul de șuvoaie formate de către organele de amestecare necesare pentru asigurarea calității înalte a amestecului. Sunt propuse formule pentru determinarea numărului de șuvoaie formate de către organele de amestecare în formă de palete și bare în diferite tipuri de malaxoare.

4. Pentru determinarea numărului raportat de șuvoaie formate în malaxor s-a propus un coeficient, numit coeficient de utilizare a rotației paletei k_{ur} , cu ajutorul căruia se reduc malaxoarele de diferite tipuri la unele și aceleași condiții de lucru și care reprezintă raportul deplasării organului de amestecare prin material l asupra deplasării totale L parcurse de el la o rotație. Acest coeficient dă posibilitate de a aprecia gradul de utilizare a organului de amestecare în procesul amestecării și de a compara malaxoarele de diferite tipuri în condiții egale.

5. Evitarea blocării particulelor între capetele barelor și suprafața interioară a corpului malaxorului, efectuarea amestecării atât prin cădere liberă a componentilor cât și forțată se obțin la rotirea în direcții inverse a corpului și a arborelui menținând luful între capetele barelor și corp mai mare decât dimensiunea maximală a particulelor. Rezistența de amestecare în așa condiții se micșorează de 2,2...4,3 ori.

6. După trecerea prin material a cinci rânduri longitudinale de bare se obține o distribuție normală a materialului față de centrul șuvoiului inițial. Pentru obținerea divizării uniforme a șuvoiului unitar situat în mijlocul tobei și acționat de bare situate în șah pe suprafața arborelui în șase rânduri longitudinale cu numărul minim în rând $n_{b.min} = 4$ și maxim $n_{b.max} = 5$ sunt necesare 39 de treceri prin material ale rândurilor longitudinale sau 6,5 rotații ale arborelui ceea ce este echivalent cu formarea a 129 șuvoaie îmbinate și a 300 șuvoaie divizate. Materialul fiecărui șuvoi obținut la finele procesului de amestecare conține particule ale tuturor șuvoaielor precedente. Pentru migrarea particulelor din partea stângă spre partea dreaptă a tobei și concomitent în direcție inversă sunt necesare 1,33 rotații ale arborelui sau 8 treceri ale rândurilor longitudinale de bare. Acest efect poate fi folosit la omogenizarea oricărui material care inițial nu este omogen.

7. S-a constatat că probabilitatea unei variante de trecere a particulei printre barele malaxorului cu șase rânduri longitudinale de bare și numărul de bare minim în rând $n_{b.min} = 4$ și maxim $n_{b.max} = 5$ până la obținerea amestecării omogene și distribuției uniforme a materialului este foarte mică și-i egală cu $4,768 \times 10^{-6}$, iar numărul de variante de treceri pe care le poate efectua particula pentru a nimeri într-un șuvoi oarecare este egal cu 262144.

8. Dependența rezistenței la deplasare a unei bare prin material de coeficientul de umplere reprezintă o parabolă. Dependența rezistenței de amestecare a malaxorului cu șase rânduri longitudinale de bare de coeficientul de umplere este direct proporțională. Aceeași dependență se obține și în malaxorul cu bare echipate cu un număr optimal de răzuitoare. Dependența direct proporțională a rezistenței de amestecare a malaxorului de coeficientul de umplere se lămurește prin faptul că ea depinde de forța de frecare dintre material și suprafața interioară a tobei acoperite cu material, aria căria depinde direct proporțional de coeficientul de umplere.

9. Micșorarea unghiului de așchiere a barei malaxorului conduce la micșorarea rezistenței de înaintare datorită apariției consecutive a valorii maxime a rezistenței de înaintare pe diferite porțiuni ale barei și posibilității alunecării particulelor pe suprafața frontală a barei la unghiuri de așchiere mai mici de 60 grade. Creșterea concomitentă a unghiului de așchiere și a coeficientului de umplere conduce la creșterea rezistenței la înaintare.

10. Interacțiunea barelor prin intermediul zonelor de material acționate de ele în procesul amestecării conduce la majorarea mobilității amestecului și la micșorarea rezistențelor de înaintare a barelor prin material. Rezistența la înaintare prin material a unei bare separate este egală cu rezistența de amestecare a 16 bare ale malaxorului cu șase rânduri longitudinale de bare. La majorarea numărului de bare rezistența la înaintare care revine unei bare se micșorează.

11. În malaxoarele cu bare pot avea loc următoarele tipuri de blocare a particulelor: între bare și perețele de capăt al tobei; între capetele barei și suprafața interioară a tobei; între trei bare megieșe; între materialul blocat între bare și suprafața cilindrică a tobei; idem și suprafața pereților de capăt; blocarea totală care include blocările sus-numite.

Unghiul de blocare a particulei în formă de sferă este egal sau mai mic decât unghiul dublu de frecare a particulei cu corpul tobei. Pentru evitarea blocării particulei în formă de sferă luftul dintre capătul barei și suprafața interioară a tobei trebuie să fie mai mic de $0,9d$, unde d este diametrul sferei. Dacă în fața particulei sunt alte particule luftul în acest caz trebuie să fie egal sau mai mic decât raza particulei.

12. Grosimea totală a zonei acționate de bară la deplasarea ei prin material este egală cu $B = (30...32)d$, unde d este diametrul barei.

13. S-au obținut relații matematice pentru calcularea grosimii stratului de material în malaxoarele cu ax orizontal cu secțiunea transversală semicerc-dreptunghi și cerc funcție de coeficientul de umplere pentru diferite raze ale jgheabului.

14. S-a determinat volumul geometric optimal al tobei malaxorului care asigură productivitatea maximă rațională la încărcarea manuală: 200 dm^3 (80 dm^3 volumul amestecului) – la încărcarea de către o persoană; 500 dm^3 (200 dm^3 volumul amestecului) – încărcarea de către două persoane; 700 dm^3 (280 dm^3 volumul amestecului) – încărcarea de către trei persoane.

15. La amestecarea componentelor situați în tobă în straturi orizontale și uniforme în lungul ei, omogenitatea completă se obține la efectuarea a 12...15 rotații ale arborelui cu bare situate în șah cu pasul $p = 30 \text{ mm}$, 18...27 rotații pentru $p = 45 \text{ mm}$ și 45 rotații pentru $p = 60 \text{ mm}$. În malaxorul cu două palete elicoidale omogenitatea completă se obține după 45 rotații ale arborelui. În malaxorul cu bare radiale și longitudinale cu pasul barelor în rânduri de 45 mm omogenitatea deplină se obține după 5...6 rotații ale arborelui ceea ce dovedește faptul intensificării procesului de amestecare.

16. La calcularea puterii malaxorului cu organe de amestecare în formă de bare nu se însumează rezistența fiecărei bare determinate aparte (cum se procedează la malaxoarele cu palete), deoarece rezistența totală este cu mult mai mică decât suma rezistențelor parțiale ale barelor. Acest fenomen se lămurește prin aceea că datorită interacțiunii barelor prin intermediul materialului din tobă se mărește mobilitatea materialului și se micșorează rezistența de amestecare. Durata mică de amestecare (6...26 s), variația rezistenței de amestecare pe parcursul unui și aceluiași ciclu, gradul înalt de supraîncărcare a motoarelor electrice asincrone (1,7...2,2) permit utilizarea lor pentru acționarea malaxoarelor cu bare cu așa regim de lucru cunoscând numai puterea necesară la amestecarea în stare uscată a componentelor.

17. În procesul funcționării malaxorului cu tobă basculantă apare o forță de frecare F dintre amestec și suprafața interioară a tobei reacțiunea căreia F_r tinde să rotească toba în direcția rotirii arborelui cu organele de amestecare. Toba se reazemă în acest moment cu umere orizontale în rama malaxorului. În punctul de reazem al umărului apare o reacțiune R care fiind redusă la centrul tobei contribuie la ridicarea tobei și în așa mod - la micșorarea sarcinilor în lagărele tobei și la eliberarea arborelui de forțele de gravitație ale materialului și tobei. Situația umerele într-un plan înclinat față de orizont conduce la obținerea unei rezultante a forței F_r și reacțiunii R direcționate vertical care echilibrează deplin forțele de gravitație ale materialului și tobei. Aceasta contribuie la majorarea duratei de funcționare a lagărelor.

18. Au fost elaborate construcțiile malaxoarelor de tip nou cu organe de amestecare în formă de bare, care asigură amestecarea forțată a componentelor amestecului, și implementate în producție: la prepararea amestecului de beton cu granulație fină și amestecului de mortar; la prepararea amestecurilor mixte; la prepararea amestecului de pământ pentru sere care conține 5

componente; la prepararea amestecurilor uscate care conțin 15 componente și utilizate la fabricarea garniturilor de fricțiune ale mașinilor; pentru efectuarea procesului de studii și a cercetărilor științifice la catedrele U.T.M. Organele de amestecare în formă de bare pot fi utilizate: a) la malaxoarele cu diferite moduri de amestecare, și anume, prin cădere liberă, forțată, mixtă și prin vibrație; b) pentru prepararea amestecurilor de diferite tipuri: uscate, semiuscate, de mortar, de beton plastic și vârtos.

19. Efectul economic anual la implementarea malaxorului cu acțiune ciclică cu volumul amestecului preparat de 80 dm³ constituie pentru un malaxor 34633,2 lei (lucrul organizat într-un schimb).

BIBLIOGRAFIE:

1. Шарапов И.К. Исследование лопастных бетоносмесителей непрерывного действия. Автореферат докторской диссертации.- М.: 1962.
2. Мартынов В.Д. Исследование рабочих органов растворосмесительных машин. Автореферат докторской диссертации.- М.: 1962.
3. Михэйлеску Шт. Исследование некоторых вопросов, касающихся бетоносмесителей турбинного действия. Автореферат докторской диссертации.- М.: 1966.
4. Королёв К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. –М.: Стройиздат, 1976. – 145 р.
5. Dr.ing. Valeriu V. Jinescu. Utilaj tehnologic pentru industria de proces. Vol.4. Maşini pentru industrii de proces. Fiabilitatea utilajului tehnologic. Bucureşti, Editura Tehnică, 1989.-410 pag.
6. Добронравов С.С. Строительные машины и оборудование: Справочник для строит. спец. вузов и инж.-техн. работников. – М.: Высш. шк.,1991.-456 с.
7. Мартынов В.Д. и др. Строительные машины и монтажное оборудование/ В.Д. Мартынов, Н.И. Алешин, Б.П. Морозов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
8. Португальский Л.М., Воронов В.И., Бредулеа В.Г. Бетоносмеситель СБ – 146. – Строительные и дорожные машины, 1983, №9, с.18-19.
9. Королев К.М. Передвижные бетоно-растворосмесители и бетононасосные установки. –М.: Высш. шк., 1986. – 215 с.
10. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учеб. для строительных вузов и факультетов. –М.: Высш. школа, 1971. – 382 с.
11. Вознесенский В. А. Статистические решения в технологических задачах. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ,1969. – 232 с.
12. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.
13. Строительные машины. Справочник. В 2-х т. Под ред. д-ра техн.наук Баумана В.А. и инж. Лапира Ф.А.. Т.2. Оборудование для производства строительных материалов и изделий. Изд. 2-е, перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1977. – 496 с.
14. Сапожников М.Я., Дроздов Н.Е. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1970. -488 с.
15. Строительные машины. Справочник. В 2-х т. Под ред. д-ра техн.наук Баумана В.А. и инж. Лапира Ф.А.. Т.1. Машины для строительства промышленных, гражданских, гидротехнических сооружений и дорог. Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение,1976. – 502 с.
16. Бетоносмеситель СБ-138. Рекламный лист Международной выставки. – М.: Внешторгиздат, 1982.
17. Андриевский С.П., Урсу В.Н., Лунгу В.Н. Гравитационный смеситель. А.С. СССР №1583156. Бюл.№ 29 от 07.08.90.
18. Андриевский С.П., Урсу В.Н., Истру А.Б., Сандуца В.И., Лунгу В.Н. Гравитационный смеситель. А.С. СССР № 1755908. Бюл. № 31 от 23.08.92.
19. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.641, BOPI nr.12/96, 31.12.1996.
20. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor cu gravitație. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.656, BOPI nr.1/97, 31.01.1997.
21. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor cu acțiune continuă. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.482, BOPI nr.10/96, 31.10.1996

22. Андриевский С.П., Лунгу В.Н., Истру А.Б. Смеситель. Патент СССР № 1799289. Бюл. № 8 от 28.02.93.
23. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.479, BOPI nr.10/96, 31.10.1996
24. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.655, BOPI nr.1/97, 30.01.1997.
25. Andrievschi Serghei, Danița Andrei. Malaxor cu acțiune ciclică. Cerere de brevet de invenție al Republicii Moldova nr. depozit a 2007 0185, data depozit 2007-07-02.
26. Андриевский С.П., Урсу В.Н., Сандуца В.И., Истру А.Б., Смеситель непрерывного действия. А.С. СССР № 1641407. Бюл. № 14 от 15.04.91.
27. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor cu amestecare forțată. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.480, BOPI nr.10/96, 31.10.1996.
28. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.547, BOPI nr.5/96, 31.05.1996.
29. Техника статистических вычислений. Митропольский А.К. – М.: Наука, 1971.- 576 с.
30. Andrei Tudor, Gheorghe Prodan, Cornel Muntean, Radu Moțoiu. Durabilitatea și fiabilitatea transmisiilor mecanice. – București: Editura Tehnică, 1988. -254 pag.
31. Mihăilescu Ș., Goran V., Bratu P. Mașini de construcții. Vol.3. Construcția, calculul și încercarea mașinilor pentru lucrări de beton și mortar. Coordonator: prof. dr. ing. Ștefan Mihăilescu. Editura Tehnică, București, 1986, 243 pag.
32. Ștefan Mihăilescu. Mașini de construcții și pentru prelucrarea agregatelor. București. Editura Didactică și Pedagogică, 1983, 506 pag.
33. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.-М.: Наука, 1965. -340 с.
34. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях.-М.: Статистика, 1974. -192 с.
35. Вознесенский В., Ляшенко Т.. ЭС-Модели в компьютерном строительном материаловедении.-Одесса: Астропринт, 2006.-116 с.
36. Длин А.М. Математическая статистика в технике. М.: Советская наука, 1958.-466 с.
37. Prof. dr. ing. Heinrich Segall. Mașini de ridicat și de transportat pentru construcții:Instalații de transport continuu. Institutul de Construcții București, 1988, - 214 pag.
38. Каталог планов второго порядка/Голикова Т.И., Панченко Л.А., Фридман М.З. –М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1974. -387 с.
39. Андриуцэ М.Д. и др. Совершенствование земляных работ в нефтегазопромысловом строительстве/М.Д.Андриуцэ,А.П.Холмогоров,В.Н.Урсу; науч.-произ.строит.об-ние «Запсибнжнефтегазстрой». –Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1990, - 200 с.
40. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Издание восьмое. –М.: Наука, 1966,-872 с.
41. Саакян С.С. Сельскохозяйственные машины. –М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1962. -328 с.
42. I.I.Artobolevschi. Teoria mecanismelor și a mașinilor. Traducere din limba rusă. Chișinău: Știința, 1992, - 605 pag.
43. Florin Teodor Tănăsescu, Valerius Stanciu, Smaranda Nițu, Constantin Nițu. Agenda tehnică. –București: Editura Tehnică, 1990. -624 pag.
44. Бетоносмеситель принудительного действия МС-711. Паспорт МС 711.00.00.000ПС. ПКТИ ТЕХСТРОЙПРОЙЕКТ, Кишинёв, 1992.
45. Справочник металлиста. В 5-и т. Т.2. Под ред. А.Г.Рахштадта и В.А.Брострема. –М.: Машиностроение, 1976. -720 с.
46. Сапожников М.Я. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов:Атлас конструкций. Уч. пособие для вузов по специальности «Механическое оборудование предприятий строительных материалов и конструкций» /З.Г.Гиберов,

- М.Я.Сапожников,С.Г.Силенок. Под ред. М.Я.Сапожникова. –М.: Машиностроение, 1978,-112 с.
47. Воронцов-Вельяминов Н.П., Шагинов Д.Л.,Петров Н.М. Строительные машины. Альбом чертежей. –М.: Госстройиздат, 1961.
48. Сапожников М.Я. и др. Механическое оборудование для производства строительных изделий. Учебник для вузов. Под общей ред. М.Я.Сапожникова. –М.:Госстройиздат, 1958,-556 с.
49. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. И переработ. Л.: Машиностроение (Ленинград. Отд-ние), 1976, - 472 с. На обороте тит. л. авт.: Н.Я.Хархута и др.
50. Миллер Р. Сердечные приступы и методы их предупреждения/ Пер. с английского Г.И.Рыбаковой.- М.: КРОН-ПРЕСС, 1996.-256 с.
51. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu, Izbândă Anotolie. Malaxor. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.2423C2, BOPI nr.4/2004, 30.04.2004.
52. Королёв К.М. Производство бетонной смеси и растворов. - М.: Высш.шк.,1970, - 368 с.
53. Prof. univ.Dr.Ing. Polidor Bratu. Mașini de terasamente. Concept de performanță. Chișinău: U.T.M., 1995, - 96 pag.
54. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов.-3-е изд., перераб. –М.: Машиностроение, 1983.-487 с.
55. Andrievschi Serghei, Lungu Valeriu. Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.2301 B2, BOPI nr.11/2003, 2003.11.30.
56. Dobronravov V.V. ș.a. Curs de mecanică teoretică:[Man. Pentru studenții școlilor superioare tehnice]/V.V. Dobronravov, N.N. Nichitin, A.L.Dvornicov; Trad. Din l. Rusă: G. Coman și E. Marinciuc. –Ch.: Lumina, 1970. -660 pag.
57. Краткий справочник к расчетам деталей машин. Гузенков П.Г. –М.: Высш. Школа, 1967, -312с.
58. Справочник по сопротивлению материалов/Е.Ф. Винокуров, М.К.Балыкин, И.А.Голубев и др.-Мн.: Наука и техника, 1988.-464с.

C U P R I N S

PREFAȚĂ.....	4
1. Analiza construcțiilor malaxoarelor și a procesului de amestecare	6
1.1. Clasificarea malaxoarelor cu palete	6
1.2. Organe de amestecare	8
1.3. Procesul de amestecare.....	8
1.4. Analiza cantitativă a șuvoaielor în malaxoarele cu palete.....	11
2. Malaxoare cu organe de amestecare în formă de bare	17
2.1. Principii de elaborare a malaxoarelor și de intensificare a procesului de amestecare.....	17
2.2. Intensificarea procesului de amestecare și omogenizare	38
3. Rezistența la înaintare a barei prin mediul de lucru.....	50
3.1. Tehnologia preparării amestecurilor – sistem stocastic compus.....	50
3.2. Metodica cercetării și aparatura utilizată.....	51
3.3. Metodica de optimizare a procesului de amestecare.....	54
3.4. Studiul procesului de înaintare a barei prin mediul de lucru.....	57
3.5. Influența parametrilor constructivi și tehnologici asupra rezistenței de amestecare.....	59
4. Interacțiunea barelor cu mediul de lucru.....	84
4.1. Bare situate într-un rând longitudinal pe suprafața arborelui	84
4.2. Bare situate pe suprafața arborelui pe o linie elicoidală	89
4.3. Rezistența de amestecare în malaxorul pentru mortar.....	91
4.4. Rezistența de amestecare a malaxorului funcție de lungimea lui.....	98
5. Blocarea organelor de amestecare.....	103
5.1. Procesul blocării.....	103
5.2. Unghiul de blocare și luftul optimal dintre capătul barei și suprafața tobei.....	105
5.3. Rezistența la înaintare a barei funcție de luftul dintre capătul ei și suprafața tobei.....	116
5.4. Grosimea zonei de material acționat de organul de amestecare.....	119
6. Productivitatea malaxoarelor	123
6.1. Raportul dintre diametrul arborelui malaxorului și diametrul interior al tobei.....	123
6.2. Grosimea stratului de material din tobă funcție de coeficientul de umplere.....	124
6.3. Nomograma pentru determinarea volumului geometric al tobei.....	130
6.4. Durata ciclului de preparare a amestecului.....	131
6.5. Productivitatea malaxorului funcție de parametrii geometrici ai tobei.....	132
7. Calitatea amestecării.....	137
7.1. Metodica de apreciere a calității amestecării.	137
7.2. Calitatea amestecării în malaxoarele cu acțiune ciclică.....	138
7.3. Calitatea spumei utilizată la prepararea betoanelor celulare.....	141
7.4. Calitatea amestecării compozițiilor cu materiale fibroase.....	144
8. Consumul de energie în procesul malaxării.....	146
8.1. Energia specifică de malaxare.....	146
8.2. Puterea necesară pentru transportarea amestecului în lungul malaxorului.....	147
8.3. Puterea necesară pentru amestecarea componentelor.....	147
8.4. Puterea necesară pentru rotirea tobei rezemate pe role.....	149
9. Calcule de rezistență ale elementelor malaxorului.....	151
9.1. Studiul forțelor malaxoarelor cu tobă basculantă și amestecare forțată.....	151
9.2. Calculul barei.....	157
9.3. Calculul arborelui.....	159
10. Evaluarea eficienței economice a malaxoarelor cu organe de amestecare în formă de bare.....	163
10.1. Domeniile de utilizare.....	163
10.2. Gama de dimensiuni.....	166
10.3. Calculul eficienței economice.....	167
Concluzii generale.....	168
Bibliografie.....	172

**INTENSIFICAREA PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN
MALAXOARELE CU
ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE**

Autor : SERGHEI ANDRIEVSCHI

Redactor: E. Gheorghişteanu

Bun de tipar 26.08.08.
Hârtie ofset. Tipar RISO
Coli de tipar 22 ,0

Formatul hârtiei 60x84 1/8.
Tirajul 100 ex.
Comanda nr. 73

U.T.M., 2004, Chişinău, bd. Ştefan cel Mare, 168.
Secţia redactare şi Editare a U.T.M.
2068, Chişinău, str. Studenţilor, 9/9

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

SERGHEI ANDRIEVSCHI

**INTENSIFICAREA PROCESULUI DE AMESTECARE ÎN
MALAXOARELE CU
ORGANE DE LUCRU ÎN FORMĂ DE BARE**

**Chișinău
2008**