

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VULI” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICA AGRICOLA

Ing. IONĂȘCU NICOLAE

CONTRIBUTII TEORETICE SI LE PERIMENTALE PRIVIND
TRANSPORTUL PNEUMATIC AL NUTRIȚIILOR CONCENTRATE
MACINATE, IN CONDUCTE ORIZONTALE

TEZA DE DOCTORAT
in vederea obținerii titlului de doctor inginer

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC

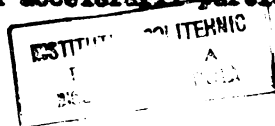
Prof. dr. doc. ing. CAPOZIU ȘTEFAN

- 1975 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Vol. nr. 306998	
Dulap 182	Lit. F

NOTAȚII

- A - aria secțiunii transversale a conductei (m^2);
 $A_k, B, B_1, C, \dots, f_1, f_2, P, Q, a', Z$ - constante;
 c, c_n - coeficient de rezistență frontală a unei particule
afereice și a unei particule neafereice;
 D - diametrul conductei de transport (m);
 d - diametrul particulei de material (m);
 f - coeficient de frecare;
 F_f - forța de frecare (N);
 F_i - forța de inerție (N);
 Fr - numărul lui Froude pentru viteza aerului; $Fr = v_a / \sqrt{g \cdot D}$
 Fr_m - numărul lui Froude pentru viteza medie a particulelor de
material; $Fr_m = v_m / \sqrt{g \cdot D}$;
 g - accelerația gravitațională ($m \cdot s^{-2}$);
 G_a - greutatea aerului (N);
 G_m - greutatea materialului (N);
 H_a - pierderea de presiune produsă de aerul curat ($N \cdot m^{-2}$);
 H_m - pierderea de presiune produsă de particulele de material
($N \cdot m^{-2}$);
 H_c - pierderile totale de presiune ($N \cdot m^{-2}$);
 k - coeficientul lui Gasterstaedt;
 L - lungimea conductei (m);
 l_s - lungimea saltului unei particule după ciocnirea cu pere-
tele conductei (m);
 m - masa particulei de material (kg);
 N_p - numărul de particule într-un volum delimitat;
 P_1, P_2 - presiunea aerului în diferite puncte ale conductei de
transport ($N \cdot m^{-2}$);
 Δp - pierderea de presiune totală pentru o porțiune delimita-
tă din conducta de transport ($N \cdot m^{-2}$);
 Δp_{ac} - pierderea de presiune datorită frecării aerului pe pe-
retele conductei ($N \cdot m^{-2}$);
 Δp_{ma} - pierderea de presiune datorită accelerării particulelor
solide ($N \cdot m^{-2}$);



- Δp_{mc} - pierderea de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu perețele conductei ($N \cdot m^{-2}$);
- Δp_{mm} - pierderea de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de material între ele ($N \cdot m^{-2}$);
- Q_a - debitul de aer ($Kg \cdot s^{-1}$);
- Q_m - debitul de material ($Kg \cdot s^{-1}$);
- Re - numărul lui Reynolds pentru aer; $Re = v_a D / \nu$;
- Re_m - numărul lui Reynolds pentru material; $Re_m = v_m D / \nu$;
- S_1 - factorul de alunecare;
- T - forța de reținere produsă de frecarea particulelor de material pe conductă (N);
- t - timpul (s);
- U - forța de reținere produsă de ciocnirea particulelor (N);
- v_a - viteza medie a aerului în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- v_o - viteza locală a aerului în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- $v_a \max$ - viteza maximă a aerului în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- v_m - viteza medie a particulelor de material în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- v_{mo} - viteza locală a particulelor de material în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- v_{ma} , v_{mr} , v_{mt} - componenta axială, radială și tangențială a vitezei locale a particulelor de material în conducta de transport ($m \cdot s^{-1}$);
- v_m' , v_m'' - viteza unei particule de material înainte și după ciocnire cu perețele conductei ($m \cdot s^{-1}$);
- v_r - viteza relativă a particulelor de material în conducta de transport; $v_r = v_a - v_m$ ($m \cdot s^{-1}$);
- v_p - viteză de plutire a particulelor de material ($m \cdot s^{-1}$);
- V - volumul specific al aerului din conducta de transport în condiții fizice normale ($m^3 kg^{-1}$);
- x, y - coordonatele unei particule în conducta de transport;
- α, θ - unghiuri (grad)
- γ_a - greutatea specifică a aerului ($N \cdot m^{-3}$);
- γ_m - greutatea specifică a materialului ($N \cdot m^{-3}$);
- ν - vâscozitatea cinematică a aerului ($m \cdot s^{-2}$);
- λ_{ac} - coeficient de rezistență datorită frecării aerului cu perețele conductei;

λ_{ms} - coeficient de rezistență datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu peretele conductei;

λ_{mm} - coeficient de rezistență datorită frecării și ciocnirii între particule;

μ - concentrația gravimetrică ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1}$);

ψ - coeficient de presiune a aerului;

ρ_a - densitatea aerului ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

ρ_m - densitatea materialului ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

ρ_{mv} - densitatea medie a particulelor într-un volum elementar de conductă ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

ξ_o , ξ_r - coeficienți de ciocnire a particulelor solide;

η_u - coeficient de utilizare a energiei.

INTRODUCERE

Instalațiile de transport pneumatic, au reușit în ultimii ani, să se afirme în domenii de utilizare variate și numeroase, ajungând la un grad de dezvoltare care nu poate să fie explicat, decât prin avantajele evidente și certe asupra oricărui alt mijloc de transport cunoscut pînă în prezent.

Actualele instalații de transport pneumatic oferă o siguranță în exploatare atât de mare, încît se observă o tendință marcantă de a fi folosite ca mijloace de bază în numeroase procese tehnologice și din agricultură, cum ar fi în fabricile de outrețari combinate, la diferite mașini și instalații agricole, în silozuri etc.

Această acțiune se înscrie pe linia înfăptuirii de mutații radicale în agricultură, în direcția transformării acestora într-o variantă a muncii industriale, obiectiv important prevăzut în Programul Partidului Comunist român de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism, elaborat de cel de al XI-lea Congres, care presupune în primul rînd, creșterea cantitativă și îmbunătățirea calitativă a mijloacelor de mecanizare a proceselor de muncă din acest domeniu.

Realizarea acestui obiectiv, trebuie să asigure satisfecerea tot mai deplină a nevoilor mereu crescînde de produse agricole ale economiei naționale, să favorizeze dezvoltarea armonioasă și echilibrată pe ansamblu și în profil teritorial a întregii economii și să crească condițiile necesare pentru omogenizarea societății noastre socialiste, pentru ridicarea continuă a bunăstării întregului popor și apropierea tot mai strînsă a condițiilor de muncă și de viață dintre cele două medii ale existenței noastre sociale.

Pentru traducerea în viață a celor arătate mai sus, se depun eforturi susținute în cercetarea științifică, în proiectare și execuție, pentru stabilirea soluțiilor corespunzătoare din punct de vedere tehnic și economic, privind crearea unor mașini și instalații care să satisfacă pe deplin cerințele producției agricole.

În această direcție de efort comun, se încadrează și

prezenta teză de doctorat, care prin conținutul său aduce o importantă contribuție la studiul teoretic și experimental al transportului pneumatic al nutreșurilor concentrate mășinate, în condiții arizionale cu acțiune circulară, pentru stabilirea regimului optim de funcționare a instalațiilor ce folosesc acest sistem de transport.

Extinderea instalațiilor de transport pneumatic în agricultură, este cauzată printre altele de faptul că ele permit automatizarea procesului tehnologic, că se pot învinge ușor diferențele de nivel, că impuritățile de dimensiuni mici dispar din mediul înconjurător al instalației de transport etc.

Ca toate acestea, transportul pneumatic este privit în- cel cu o anumită rezervă. Lipsa unei documentații tehnice adecvate, face ca în unele cazuri proiectanții să supradimensioneze instalațiile de transport pneumatic a nutreșurilor concentrate mășinate, ajungându-se astfel la consumuri ridicate de energie pe tonă de material transportat. În alte situații, instalațiile proiectate nu funcționează satisfăcător datorită alegerii greșite a soluțiilor constructive.

Studiile teoretice și experimentale, efectuate până în prezent în domeniul transportului pneumatic, nu au epuizat și aici nu au rezolvat complet toate problemele ridicate de dimensionarea optimă a instalațiilor de transport pneumatic. Mai mult, aceste studii nu s-au extins asupra nutreșurilor concentrate mășinate, care datorită proprietăților fizico-mecanice, prezintă particularități distincte privind transportul lor pneumatic.

Lucrările de specialitate, tratează numai anumite aspecte sau probleme ale transportului pneumatic, clarificând în general calitativ, dar numai în parte și cantitativ fenomenele ce se produc în cazul acestui sistem de transport. Acest lucru este atestat de faptul că în prezent, nu există o metodă care să permită dimensionarea unei instalații de transport pneumatic, numai din considerații pur teoretice. În această cauză sînt necesare încă date însemnate atât teoretice cit și experimentale care să completeze pe cele actuale, lucru care ar face posibil în final, sinteza lor în relații matematice ou domeniu larg de aplicție în transportul pneumatic.

Tehnica actuală oferă date care permit realizarea unor instalații de transport pneumatic sigure în exploatare, chiar

decă nu și cele mai economice. Acest lucru este valabil pentru anumite domenii industriale și mai puțin pentru sectorul agricol, deoarece pentru transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, proiectanții sînt obligați să adopte încă, valori prin comparație cu cele cunoscute din rezultatele unor cercetători care au folosit pentru încercările experimentale, materiale ca: praf de cărbune, ciment, nisip, rumeguș de lemn, diverse produse chimice granulate etc. - deci aproximative - întrucît literatura de specialitate nu oferă date care pot sta la baza dimensionării corecte a instalațiilor de transport pneumatic a nutrețurilor concentrate măcinate.

În acest context prezentul studiu teoretic și experimental al transportului pneumatic al principalelor nutrețuri concentrate măcinate, în conducte orizontale cu secțiune circulară, are scopul de a analiza factorii care condiționează optimizarea unei instalații de transport pneumatic și de a exprima dependența lor în relații matematice valabile pentru materialele folosite în cadrul experimentărilor și pentru regimurile de transport utilizate. Astfel, autorul avînd în vedere particularitățile pe care le prezintă nutrețurile concentrate măcinate în timpul transportului pneumatic, își propune:

- să stabilească o metodă de calcul a pierderilor de presiune cauzate de aceste materiale, în conducta de transport;
- să stabilească dependența vitezei particulelor de nutreț concentrat măcinat, în funcție de viteza curentului de aer;
- să determine pe cale experimentală mărimea coeficientului global de rezistență la deplasarea nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta de transport;
- să determine gradul de utilizare a energiei curentului de aer în cazul transportului pneumatic al acestor nutrețuri, în conducte orizontale.

De asemeni, autorul prin determinarea mărimilor unor caracteristici fizico-mecanice ale nutrețurilor concentrate măcinate, folosite în cadrul proceselor tehnologice din fabricile de nutrețuri combinate, valori indispensabile pentru interpretarea cu acuratețe a rezultatelor încercărilor experimentale proprii, va oferi date sigure și complete serviciilor de concepție, unde se proiectează instalații de transport pneumatic pentru astfel de materiale.

Autorul aduce mulțumiri conducătorului științific
prof.dr.doc.ing.CAPROIU ȘTEFAN, pentru orientarea în cerceta-
re, pentru prețioasele indicații și sprijinul acordat în ela-
borarea tezei de doctorat și își exprimă profundă recunoștință.

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII PRIVIND TRANSPORTUL PNEU-
MATIC ÎN CONDIȚII ORIZONTALE

CAPITOLUL I

DINAMICA PARTICULELOR SOLIDE ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI
PNEUMATIC

Observarea atentă a fenomenelor ce se produc în cadrul curenților dispersați de tipul aer - particule solide, scoate în evidență particularitatea caracteristică a existenței componentelor, minimum două și acțiunea lor reciprocă.

Analizând acțiunea mecanică și hidromecanică dintre aer și particulele solide, în urma căreia se produc modificări calitative ale mediului dispers, mulți cercetători [6, 14, 19, 32, 45, 47, 48, 62, 74, 92, 100, 105, 118, 122, 125 și alții] au stabilit că pentru curenții dispersați pot exista trei regimuri principale și anume:

a. Strat penetrant fix, caracterizat prin faptul că numai aerul se află în mișcare, particulele solide rămânând în repaus;

b. Strat pseudolichefiat, la care sub acțiunea mișcării aerului se realizează și mișcarea haotică a particulelor solide, dar fără antrenarea lor în direcția de deplasare a aerului;

c. Transportul pneumatic, care reprezintă un caz particular al curentului cu două componente total dispersate, când sensul de mișcare al celor două componente coincide, iar viteza aerului depășește viteza de deplasare a particulelor solide.

Fundamental se deosebesc două posibilități de transport pneumatic; prin plutire, când particulele pot face și deplasări verticale față de direcția de înaintare și prin fluidizare, la care deplasarea laterală a particulelor, este limitată de particulele vecine.

Prezentul studiu se efectuează numai asupra transportului pneumatic prin plutire, procedeu folosit în cadrul instalațiilor folosite în agricultură.

Mecanismul de ridicare și antrenare a particulelor

de material în curentul de aer, precum și legea de distribuție a particulelor în secțiunea unei conducte orizontale au constituit obiectul mai multor cercetări.

Astfel, K. Strahovici [12], P.G. Zuev [125] și alții, în baza cercetărilor efectuate au stabilit că pentru procesul de transport pneumatic, este caracteristic regimul de curgere turbulent. Ei au demonstrat că la mișcarea cu turbulență mare, în apropierea fundului conductei, curentul este discontinuu și e peș pulsații de presiuni, adică fenomenul care împiedică alunecarea curenților pe suprafața conductei, formându-se turbionii de fund. Acești turbionii determină deplasările verticale ale maseilor de aer și apariția forței de ascensiune datorită căreia semințele sînt ridicate în curentul de aer și antrenate de către acesta în direcția de transport. Forța gravitațională face apoi ca particulele de material să ajungă din nou la partea inferioară a conductei orizontale, unde se rostogolesc pe o distanță scurtă (fig.1).

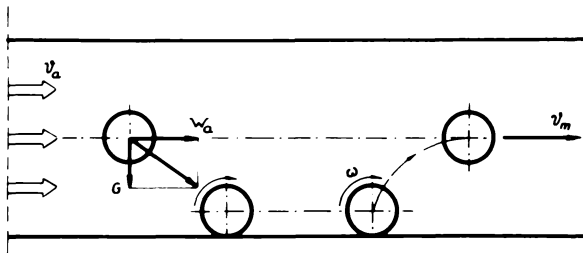


Fig.1. Traieectoria unei particule de material în conductă orizontală de transport

Apoi procesul se repetă. În felul acesta transportul pe orizontală cuprinde o mișcare în salturi a particulelor după curbă apropiată de parabolă. Încercările efectuate de Zuev P.G. cu semințe de grâu au scos în evidență faptul că salturile sînt cu atât mai mari, cu cât se alege mai mare viteza de transport a aerului. Rotirea semințelor în conductă este explicată prin faptul că în apropierea peretelui conductei, viteza curentului de aer este mai mică (fig.2).

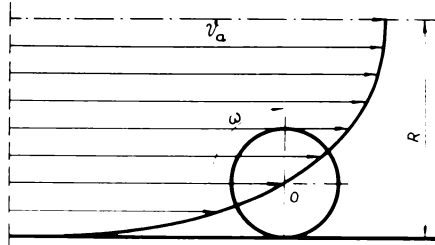


Fig.2. Influența vitezei curentului de aer asupra particulei de material

Din această cauză se imprimă particulelor o mișcare de rotație, care crește și sub influența frecării de rostogolire pe partea inferioară a conductei.

În lucrările lor, B.I. Aronștein [14] și Y.M. Todes [105], fac observația că explicația dată de K.J. Strahovici asupra mecanismului transportului pe orizontală a particulelor solide este incompletă. Apariția forței ascendente, după ei, este condiționată de componentele vitezelor de natură pulsatorie a curentului de aer, care există nu numai în stratul din vecinătatea conductei ci în toată masa curentului.

După A. Juharev [45], la o anumită viteză a curentului de aer, specifică frecării particule, acestea nu mai vin în contact cu peretele inferior și se deplasează de-a lungul axei conductei. Dacă însă viteza curentului de aer este redusă, particulele nu mai execută salturi, ci se deplasează continuu prin alunecare sau rostogolire pe peretele inferior al conductei. Juharev a cercetat acest proces cu ajutorul filmării rapide, dar în cadrul experiențelor a folosit numai particule convenționale singulare, condiții care nu redau situația reală din conducta de transport orizontală.

M. Soloviev, într-una din lucrările sale [101], pe baza cercetărilor efectuate cu ajutorul filmării rapide în conducte orizontale, afirmă că mecanismul suspensiei particulelor trebuie considerat dependent de neomogenitatea câmpului de viteză a aerului, ceea ce se manifestă mai ales în domeniul învecinat pereților.

Astfel traiectoria fiecărei particule se aseamănă cu o curbă sinusoidală a cărei axă coboară o dată cu reducerea vitezei particulei. Soloviev a urmărit acest proces în conducte cu diametrul de 60, 80 și 125 mm, la concentrații gravimetrice $\mu \in [0; 10]$.

În concluzie, rezultă că forța care produce ridicarea particulei de material de pe fundul conductei depinde de viteza aerului. Astfel, la viteze mici ale curentului de aer, ridicarea particulei, aproape dispare, materialul luncind pe fundul conductei. Așa se poate explica distribuția neuniformă a particulelor în secțiunea conductei, ceea ce se observă mai ales la viteze mici ale curentului de aer.

1.1. Dinamica particulelor solide în conducta de transport orizontală, în zona de accelerare

În zona de accelerare a unei conducte orizontale, în cazul transportului pneumatic, dacă particulele de material sînt introduse perpendicular pe axa conductei în care circulă un curent de aer cu viteză v_a , fiecare particulă este accelerată de la $v_{m0} = 0$ la $v_{m0} = v_m$.

Pentru obținerea variației vitezei particulei în funcție de timp, în perioada de accelerare mai mulți cercetători, pornind de la ipoteze de bază diferite privind fenomenul ce se produce în această perioadă, au ajuns la expresii matematice diferite ale acestei ecuații.

Astfel, L. Papai [77] tratează această problemă, considerînd că forțele care acționează asupra unei particule în perioada de accelerare sînt:

- forța propulsată aerodinamică;

$$\bar{w}_a = \frac{A}{2g} (v_a - v_{m0})^2 \cdot f_0 \cdot \psi \quad (1)$$

- forța de reținere datorită ciocnirii, care este proporțională cu energia cinetică a particulei;

$$U = \int_0^{v_m} m_1 \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

- forța de inerție, care reacționează numai în zona de accelerare a particulei;

$$F_1 = m_1 \cdot a = m \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

In acest caz, ecuația de echilibru a acestor forțe este:

$$W_a = U + F_1 \quad (4)$$

Considerind că ψ și v_a sînt constante, L.Papai a scris ecuația vitezei particulelor de material sub forma:

$$v_{m0} = \frac{v_a}{1 + \beta} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha t}}{1 - \delta e^{-\alpha t}} \quad (5)$$

în care:

$$\alpha = v_a \sqrt{\frac{\xi_c \cdot \gamma_a \cdot f_0 \cdot \psi}{m_1 E}} \quad (6)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\xi_c \cdot m_1 \cdot g}{\gamma_a \cdot f_0 \cdot \psi}} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{1 - \beta}{1 + \beta} \quad (8)$$

În baza relației (5) L.Papai a reprezentat variația vitezei boabelor de grâu într-un curent de aer cu $v_a = 30$ m/s (fig.3).

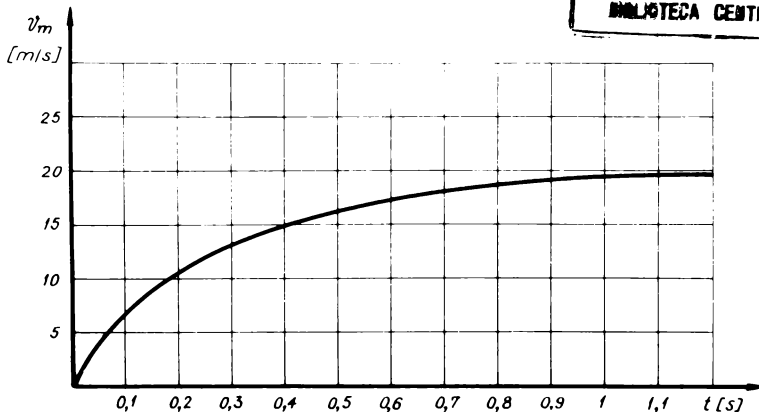


Fig.3. Dependența $v_{m0} = f(t)$ pentru boabe de grâu, într-un curent de aer cu $v_a = 30$ m/s

Din această reprezentare grafică a variației vitezei

particulei de material in perioada de accelerare in cazul unei conducte orizontale, relese faptul că viteza bobului de grâu se apropie asimptotic de valoarea de regim $v_{no} \rightarrow v_m$, ceea ce teoretic se întâmplă după un timp infinit de lung.

Alți cercetători cum sînt P.Chand și D.Ghosech [9] pornind de la ecuația mișcării unei particule antrenate într-o mișcare accelerată de un curent de aer exprimată prin relația:

$$a_m = \rho_a \frac{c \cdot f_0 (v_a - v_m)}{2m} \quad (9)$$

consideră că in timpul mișcării particulelor intervin rezistențe cauzate de: greutatea particulelor, frecarea dintre particule și pereți, frecarea dintre particule, lovirea dintre particule și pereți. In baza acestor ipoteze acești cercetători indică următoarea relație pentru calculul vitezei v_m :

$$v_m = \frac{\alpha - R}{\alpha} \cdot \frac{1 - e^{-2\alpha(t+C_1)}}{1 + e^{-2\alpha(t+C_1)}} \quad (10)$$

in care:

$$\alpha = \sqrt{P_3 + R^2} \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \log \frac{\alpha + R}{\alpha - R} \quad (12)$$

$$P_3 = \frac{\rho_a \cdot c \cdot f_0 \cdot v_a}{2m} - g \cdot f_0 \quad (13)$$

$$R = \frac{f_{10}}{D} - \frac{\rho_a \cdot c \cdot f_0}{2m} \quad (14)$$

$$R = \frac{v_a \cdot \rho_a \cdot c \cdot f_0}{2m} \quad (15)$$

Ecuația (10) exprimă valoarea vitezei particulelor la un timp t - pentru deplasarea in conducte orizontale sau inclinate, nu numai pentru zona de accelerare ci și pentru zona de regim stabilizat. Pentru cazul zonei de regim stabilizat ($t \rightarrow \infty$) se obține:

$$v_a = \sqrt{\frac{4}{3} f_0 \cdot g \cdot \frac{\rho_a \cdot d}{\rho_a \cdot c}} + v_m \left(1 + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{f_{10} \cdot d \cdot \rho_a}{c \cdot D \cdot \rho_a}} \right) \quad (16)$$

Verificată experimental numai pentru orez, mei și nisip relația (16) a scos în evidență variația liniară a vitezei particulelor solide în funcție de viteza curentului de aer numai într-un anumit domeniu de variație al vitezei v_a pentru care s-au făcut determinările .

Distribuția cimpului de viteze a curentului de aer în conducta de transport este exprimată prin relația:

$$v_{ay} = v_a \max\left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} \quad (17)$$

iar viteza maximă a curentului de aer se poate determina cu ajutorul relației:

$$v_{a \max} = v_a \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \quad (18)$$

Din expresiile (17) și (18) rezultă viteza aerului la distanța y de la axa conductei:

$$v_{ay} = v_a \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} \quad (19)$$

în care:

n - coeficient ce depinde de numărul lui Reynolds;

d - raza conductei de transport.

Din expresia (19) rezultă că valoarea minimă a vitezei curentului de aer, este lângă peretele conductei și maximă în axa conductei de transport, lucru pus în evidență prin încercările lor experimentale, de mulți cercetători în acest domeniu.

1.2. Dinamica particulelor solide în conducta de transport, în zona de regim stabilizat

Zona de regim stabilizat este considerată porțiunea din conducta de transport, în care viteza particulelor solide este constantă și viteza aerului suficient de mare pentru a avea o repartiție uniformă a particulelor în secțiunea conductei.

Din lucrările existente care tratează această problemă se desprind două concluzii diferite, potrivit cărora viteza particulelor de material în condițiile regimului stabilizat este dată în funcție de viteza curentului de aer prin raportul v_m/v_a [6, 32, 47, 53, 98, 113, 114, 122, 124] pentru cazul când v_m = constant, în timp ce a două concluzie exprimă viteza particulelor solide prin intermediul vitezei de alunecare ($v_a - v_m$) [17, 73, 85, 115] care rămâne constantă în timp.

In literatură se găsesc următoarele afirmații privind viteza particulelor pentru sonda de regim stabilizat a unei conducte orizontale cu secțiune circulară:

- După M.P.Kalimuşkin [47]

$$\frac{v_M}{v_a} \approx 1 \quad (20)$$

- După A.I.Karpov [49], A.Smoldirev [93] și alții:

$$\frac{v_M}{v_a} = a < 1 \quad (21)$$

- După Gasterstaedt [115] :

$$\frac{v_M}{v_a} = a_M - \frac{b_M}{v_a} \quad (22)$$

- După S.F.Richardson [86] :

$$\frac{v_M}{v_a} = 1 - \frac{v_D}{v_a (0,463 + 2,3 \sqrt{v_D / \rho_M})} \quad (23)$$

- După V.Prajak [83] și G.Weltcher [122] :

$$\frac{v_M}{v_a} = 1 - \frac{1}{1 + Fr \sqrt{f/2}} \quad (24)$$

O astfel de contradicție în ceea ce privește rezultatele date de diferiți autori, indică fie o cunoaștere insuficientă din punct de vedere teoretic a problemei, fie dificultatea experiențelor și în general precizia mică a metodelor folosite.

Pentru stabilirea pe cale teoretică a ecuației vitezei particulelor solide în regim stabilizat, A.Vavra [115] consideră că asupra particulelor aflate în acest regim de mișcare, acționează următoarele forțe:

π_a - forța cu care acționează aerul de transport asupra particulei, în cazul când aceasta este înconjurată de aer;

G - componenta greutatei particulei în direcția axei conductei;

T - rezistența la înaintare a particulei prin conductă creată de frecarea și ciocnirea particulelor de pereții conductei și a frecării între particule.

Valoarea forței π_a poate fi exprimată prin relația:

$$\pi_a = c \cdot f_a \cdot \rho_a (v_a - v_M)^2 \quad (25)$$

Aproape toate contradicțiile care se găsesc în litera-

tura de specialitate cu privire la mărimea forței \bar{W}_a aiat în legătură cu valoarea coeficientului de rezistență frontală c .

În general acest coeficient depinde de modul în care aerul de transport încenjează particula, deci de calitățile particulei (forma, suprafața, orientarea în curentul de aer etc.) precum și de calitățile de plutire (numărul lui Reynolds, intensitatea turbulenței, raportul de ocolire al particulei $\frac{d}{D}$).

Deoarece acest coeficient este studiat în general pe particule de formă sferică, pentru particule neferice se propune expresia:

$$c_n = \psi_p \cdot c \quad (26)$$

în care:

ψ_p - coeficientul particulei neferice;

c_n - coeficientul de rezistență a unei particule neferice.

O exprimare analitică generală a funcției $c = f(Re_p)$ nu este cunoscută. Din această cauză unii autori încearcă cel puțin pînă la o limită să aproximeze cu ajutorul numărului lui Reynolds această funcție. Astfel în lucrarea lui A.Vavra [115] sînt date următoarele expresii:

- aproximarea după Gasterstaedt:

$$c = \frac{12}{Re_p} + \frac{2}{\sqrt[3]{Re_p}} \quad (27)$$

- aproximarea după I. Kudriavțov:

$$c = \frac{2,15}{lg \cdot Re_p} \quad (28)$$

- aproximarea după V. Lobaev:

$$c = 0,2 + \frac{20}{Re_p} \quad (29)$$

- aproximarea după A.Vavra:

$$c = 0,204 + \frac{29,3}{Re_p} \quad (30)$$

Aceste aproximări au fost făcute de autori în baza experiențelor cu semințe de grâu, praf de cărbune sau nisip. Rezultă că autoretările concentrate măcinare nu au făcut obiectul unor cercetări nici sub acest aspect.

Avînd în vedere că în general $\beta_a \ll \beta_m$, componenta greutății după axa conductei, este dată de relația:

$$G = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (31)$$

În ceea ce privește rezistența la înaintare a particulei în conductă - T -, V. Prajak [83] afirmă că este proporțională cu energia cinetică a particulei și invers proporțională cu diametrul conductei, adică:

$$T = \xi \frac{m \cdot v_m^2}{2b} \quad (32)$$

în care:

ξ - coeficientul de rezistență la înaintare a particulei în conductă.

Conceptiile cercetătorilor asupra acestui coeficient sînt diferite.

M. Lepp [61] îl privește ca o constantă fără a avea un sens fizic. J. V. Urban [21] arată că pentru transportul bombelor de grău într-o conductă cu $b = 0,102$ a coeficientul ξ depinde de viteza aerului de transport v_a . După G. Weidner [121] valoarea coeficientului ξ depinde de calitatea suprafeței conductei și a particulei precum și de elasticitatea acestora. După V. Prajak [83], ξ depinde de unghiul de înclinare al conductei, de concentrația amestecului transportat, de diametrul conductei și de raportul v_m/v_a . O dependență concretă însă, nu se dă. J. Urban [113] precizează că coeficientul ξ depinde de intensitatea loviturilor particulelor transportate, de pereții conductei și valoarea dată de el pentru conducta orizontală este mai mare decât pentru cea verticală. Această diferență dispare numai la viteze mari ale aerului de transport, cînd forța de presiune este mai mare decât forța gravitațională și particulele sînt distribuite uniform într-o secțiune transversală a conductei de transport.

În baza acestor ipoteze A. Vavra [115] a dedus următoarea relație:

$$\frac{v_m}{v_a} = \frac{1 + \frac{b}{2a \cdot Re} \sqrt{\left(1 + \frac{b}{2a \cdot Re}\right)^2 - \left(1 - \lambda_0 \frac{d}{b} \frac{1}{3a\psi} \frac{\rho_m}{\rho_a}\right)k}}{1 - \lambda_0 \frac{d}{b} \frac{1}{3a\psi} \frac{\rho_m}{\rho_a}} \quad (33)$$

în care:

$$k = 1 + \frac{b}{a \cdot Re} - \frac{2}{3a\psi} \frac{AF}{Re^2} \left(\sin \alpha + \frac{v_m}{v_a} \cos \alpha \right) \quad (34)$$

$$AF = 6d^3 \rho_m (\nu^3 \rho_m)^{-1} \quad (35)$$

Relația (33) dedusă de A.Vavra, poate fi aplicată pentru conducte orizontale, înclinate sau verticale. Se poate constata însă că utilizarea ei în practică este dificilă.

Cercetările lui H.Muschelknautz [73] sînt utile în practică, deoarece în afara de explicarea matematică a fenomenelor ce se produc în perioada de regim stabilizat, stabilesc și mărimile coeficienților experimentali pentru o serie de materiale ca: semințe de grâu, coco, cuarț, huiilă.

După părerea sa, forțele care acționează asupra noului de material existent într-o conductă orizontală, sînt următoarele:

- forța propulsivă a aerului exprimată într-o formă simplificată:

$$F_a = 3 \left(\frac{v - v_p}{v_p} \right)^2 \quad (36)$$

- forța de reținere produsă de ciocnirea materialului de peretele conductei:

$$U = \frac{G}{g \cdot D} \cdot \frac{v_p^2}{2} \lambda_s^x \quad (37)$$

- forța de reținere produsă de frecarea materialului pe conductă:

$$T = \beta \cdot G \quad (38)$$

În acest caz ecuația de echilibru are forma:

$$F_a - U - T = 0 \quad (39)$$

În baza acestei relații, considerînd materialul uniform repartizat în conductă, la viteze pentru care $\beta = 0$, H. Muschelknautz a stabilit ecuația pentru determinarea vitezei materialului sub forma:

$$\frac{v_p}{v_a} = \frac{1}{1 + \sqrt{Fr_p} \sqrt{\frac{1}{2} \lambda_s^x}} \quad (40)$$

Relația (40) este valabilă numai pentru particule de material avînd dimensiuni > 2 mm și pentru viteze relative care dau $Re_p < 2 \cdot 10^5$.

1.3. Concluzii

Analizînd metodele folosite de cercetători pentru stabilirea dinamicii particulelor solide, în zona de accelerare și în zona de regim stabilizat, a unei conducte orizontale

le ca secțiune circulară, se desprind următoarele concluzii.

- Dinamica particulelor solide nu este rezolvată satisfăcător. Metodele de calcul folosite în prezent, au un domeniu limitat de aplicabilitate, fiind condiționate de coeficienți stabiliți experimental pentru anumite regimuri de funcționare și pentru anumite materiale ca: sașințe de grâu, cocs, cuarț, bile de sticlă, huiă. Rezultă că pentru întrețururile concentrate măcinată este necesar să se stabilească o ecuație cu ajutorul căreia să se determine viteza materialului în conducta de transport, pentru regimul de mișcare stabilizat.

- În metoda propusă, L.Papai nu se ocupă de determinarea coeficientului de rezistență ξ_0 decât pentru cazul particular al transportului pneumatic al boabelor de grâu. De asemenea nu indică modul cum a fost determinat acest coeficient și nici erorile afectate de măsurători asupra acestui coeficient. De asemenea L.Papai, nu separă forța de reținere datorită greutateii materialului, de cea datorită ciocnirilor. Pentru transportul pe orizontală, influența greutateii materialului este inclusă în coeficientul ξ_0 . Ori, mulți cercetători, în lucrările lor [7, 8, 15, 45, 62, 73, 87, 89, 121, 122] au stabilit că influența greutateii materialului, depinde de viteza curentului de aer. Din această cauză afirmația lui L.Papai despre coeficientul ξ_0 că este o caracteristică a materialului, trebuie limitată numai în domeniul vitezelor ridicate de transport și pentru rapoarte v_p/v_a reduse.

- Metoda propusă de P.Chand și D.Gnosch, poate fi considerată mai completă deoarece ecuația (10) recomandată de ei pentru calculul vitezei particulei în plan orizontal, poate fi folosită și pentru conducte înclinate, atât pentru zona de accelerare cât și pentru zona de regim stabilizat. Metoda prezintă însă inconvenientul că necesită un calcul analitic greoi, iar pentru coeficienții experimentali utilizați nu indică modul de determinare al lor. Trebuie remarcat de asemenea faptul că cei doi autori au verificat ecuația (10) numai pentru materiale ca mei, oroz și nisip pentru care au stabilit că legătura dintre viteza curentului de aer v_a și viteza particulelor de material v_p este liniară, dar nu trebe prin origine.

- Rezolvarea numerică a ecuației (30) propusă de A. Vavra pentru mișcarea particulelor în conducte de transport, în regim stabilizat, este dificilă și nu este suficient de convin-

gătoare în ceea ce privește influența anumitor factori și transportului pneumatic asupra dinamicii particulelor. Bici acest autor nu și-a extins aria încercărilor experimentale decât pentru semințe de grâu. Astfel, se poate afirma că metoda propusă are un domeniu limitat de aplicabilitate, nefiind verificată și pentru alte materiale cum sînt nutrețurile concentrate măcinate, care prezintă particularități deosebite de cele ale semințelor de grâu.

- Metoda de calcul propusă de E. Muschelkants, este valabilă numai pentru materiale granulate cu diametrul $d > 2$ mm și pentru viteze relative care dau numărul lui Reynolds $Re_x < 2.10^5$. Este evident că metoda nu poate fi folosită și în cazul transportului pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, deoarece acestea nu se înscriu în condițiile de valabilitate ale ecuației (40). E. Muschelkants indică metoda de determinare a coeficientului λ_x^* precizînd că eroarea de determinare este evaluată la circa 25%, ceea ce considerăm că este nesatisfăcător.

- Numărul mare de relații, recomandate de diferiți cercetători pentru raportul v_m/v_g , indică fie o căutare insuficientă din punct de vedere teoretic a problemei, fie dificultatea experiențelor și în general precizia mică a metodelor folosite.

Rezultă că pentru nutrețurile concentrate măcinate, sînt necesare cercetări noi, pentru a se putea stabili mărimea raportului v_m/v_g în cazul transportului pneumatic în conducte orizontale cu secțiune circulară a acestor materiale, utilizate în fabricile de nutrețuri combinate.

CAPITOLUL 2

STUDIUL FLUIDIZĂRII DE PRESIUNE ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL PARTICULIILOR SOLIDE ÎN CONDUITE ORIZONTALE

Pierderile de presiune de-a lungul unei conducte orizontale, constituie una din problemele fundamentale ale transportului pneumatic, care a stat în atenția multor cercetători [1, 6, 9, 12, 17, 18, 20, 21, 27, 32, 37, 47, 50, 62, 72, 74, 85, 86, 87, 93, 94, 95, 97, 99, 109, 113, 117, 121, 122 și alții]. În marea majoritate a acestor lucrări, autorii au stabilit relații empirice între diferiți parametri care condiționează pierderile de presiune, relații care nu pot fi utilizate în caz general.

Deși s-a încercat să se sintetizeze rezultatele acestor lucrări, nu s-a obținut pînă în prezent o concluzie general valabilă, privind calculul pierderilor de presiune. Ceea ce prezintă interes, este faptul că, toți cercetătorii au considerat că pierderile totale de presiune (Δp) se compun din pierderile de presiune cauzate de deplasarea aerului în conducta orizontală (Δp_a) și pierderile de presiune cauzate de deplasarea materialului (Δp_m) în timpul transportului pneumatic.

2.1. Pierderile de presiune datorită deplasării aerului în conducta de transport

În cazul deplasării aerului într-o conductă orizontală cu secțiune circulară constantă, pierderile de presiune sînt produse de frecarea curentului de aer de pereții conductei. Acest fenomen a fost exprimat de mai mulți cercetători [6, 74, 85, 94 și alții] sub forma:

$$\Delta p_a = \lambda_1 \frac{L}{D} \cdot \frac{\gamma \sqrt{2}}{2g} \quad (41)$$

Pentru coeficientul de rezistență λ_1 , care depinde de numărul lui Reynolds, rugozitatea și diametrul conductei, s-au propus mai multe relații empirice de calcul.

Deoarece după un timp relativ scurt de funcționare, conducta de transport devine netedă în interior, V. Uspenki [114] consideră că formula lui Blasius este cea mai rațională pentru determinarea acestui coeficient, adică:

$$\lambda_1 = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (42)$$

Această relație se poate aplica însă cu rezultate bune numai pentru $Re \in [10^3 - 10^5]$.

Pentru un domeniu mai larg de variație a numărului lui Reynolds $Re \in [5 \cdot 10^3 - 10^7]$ cea mai utilizată formulă este cea a lui Nicouradse scrisă sub forma:

$$\lambda_1 = 0,0032 + 0,221 Re^{-0,237} + Re^{-1} \quad (43)$$

Din analiza relației (41) reiese faptul că pierderile de presiune (Δp_p) cresc foarte mult odată cu creșterea vitezei curentului de aer. Din această cauză, pentru transportul pneumatic este necesar să se stabilească valorile optime ale vitezei curentului de aer, pentru diferite regimuri de transport la care pierderile de presiune să fie minime.

2.2. Pierderile de presiune datorită deplasării particulelor de material în conducta de transport

Pierderile de presiune produse de particulele solide în timpul deplasării lor prin conducta de transport au un caracter diferit în funcție de zona în care se produc. Astfel se disting:

- pierderi de presiune în zona de accelerare;
- pierderi de presiune în zona de regim stabilizat.

Aceste pierderi de presiune au fost analizate de cercetători în mod separat, literatura indicând metode diferite de calcul pentru fiecare din ele.

2.3. Pierderile de presiune în zona de accelerare a particulelor solide

Într-o conductă orizontală de transport pneumatic, după secțiunea de alimentare, particulele de material sînt accelerate de la viteza minimă $v_{m0} = 0$ pînă la viteza de regim, adică $v_{m0} = v_m$.

Pierderea de presiune în această zonă este dată de A.Bulat [17] sub următoarea formă:

$$\Delta p_{mn} = \Delta p_{ma1} + \Delta p_{ma2} \quad (44)$$

în care:

Δp_{ma1} - pierderea de presiune datorită dispozitivului de introducere a materialului în conductă.

Se calculează cu relația:

$$\Delta P_{ma1} = \sum \frac{\rho \cdot v^2}{2g} \quad (45)$$

Din relația (45) rezultă că influența materialului este neglijabilă datorită vitezei reduse pe care o are în dispozitiv.

ΔP_{ma2} = pierderea de presiune pentru accelerarea particulelor de material. Se determină cu expresia:

$$\Delta P_{ma2} = \frac{\rho(v_2 - v_{20})^2}{g \cdot A} \quad (46)$$

Rezultă deci că pierderea totală de presiune în zona de accelerare, cu suficientă aproximație are forma:

$$\Delta P_{ma} = \sum \frac{\rho \cdot v^2}{2g} + \frac{\rho(v_2 - v_{20})^2}{g \cdot A} \quad (47)$$

O serie de cercetători [32, 77, 121 și alții], pornind de la ipoteze diferite de cea a lui A. Bulat, au ajuns la relații de calcul diferite pentru pierderile de presiune ce se produc în această zonă.

Astfel, L. Papai [77] consideră că pierderea de presiune în zona de accelerare, apare numai datorită imprindării particulelor de material, a energiei cinetice finale, recomandând relația:

$$\Delta P_{ma} = \frac{\rho \cdot v^2}{2g} \quad (48)$$

A.M. Daiadzio [32], recomandă pentru pierderea de presiune în zona de accelerare, relația:

$$\Delta P_{ma} = \beta_1 \cdot \mu \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (49)$$

în care, pentru calculele practice, coeficientul β_1 se determină în cazul conductelor orizontale cu relația:

$$\beta_1 = 7,85 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_m^{0,32} \cdot Fz^{0,5} \quad (50)$$

Din relația (49) se poate observa că A.M. Daiadzio consideră că pierderile de presiune în zona de accelerare sînt condiționate în mod direct de concentrația gravimetrică μ . Din păcate, acest autor nu a verificat însă relația, decît pentru un anumit debit de material. Acest lucru ne îndreptățește să afirmăm

că această relație de calcul are un domeniu limitat de aplicabilitate.

2.4. Pierderile de presiune în zona de regim stabilizat determinate prin coeficientul k

Gradientul de presiune care apare în conducte de transport orizontală, în cazul transportului pneumatic al particulelor solide, studiat de mulți cercetători [6, 17, 32, 37, 62, 72, 85, 87, 94, 97, 117, 121, 124, și alții] se exprimă de obicei prin expresia stabilită de Gasterstaedt:

$$\pi = 1 + k \quad (51)$$

sau:

$$\pi = \frac{\Delta p}{\Delta p_a} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad (52)$$

în care:

π - gradientul de presiune;

k - coeficientul lui Gasterstaedt.

Analizând această relație J. Urban [113], a ajuns la concluzia că, sub această formă poate fi aplicată numai pentru zona de regim stabilizat într-o conductă orizontală la diferențe de presiuni mici.

Rezultă astfel că expresia (51) exprimă numai o parte a unei formule generale pentru calculul pierderilor de presiune totale, în cazul transportului pneumatic.

Problema stabilirii unei valori cât mai exacte și mai universale a coeficientului k , a stat în atenția multor cercetători. M. Dorfman [29], M. Daladzio [32], V. Uspenski [114] și alții au stabilit că factorii care influențează mărimea coeficientului k pot fi împărțiți în trei grupe:

1. Proprietățile particulelor din materialul transportat (forma, dimensiunile, caracterul suprafeței, viteza de plutire, densitatea particulelor);

2. Starea și circulația aerului de transport (viteza curentului de aer, viscozitatea cinematică, concentrația amestecului și densitatea aerului);

3. Caracteristicile instalației de transport și a regimului de transport (diametrul conductei, coeficientul de frecare la circulația aerului curat și a materialului).

Prin cercetarea atentă a transportului pneumatic în conducte orizontale a boabelor de grâu, V. Uspenski a ajuns la

concluzia că toți acești factori acționează asupra coeficientului k prin faptul că determină plutirea particulelor de material în conductă. Cu cât particulele sînt mai uniform distribuite în secțiunea conductei, cu atât valoarea coeficientului k este mai mică.

În literatura de specialitate este prezentat un număr mare de valori și expresii, date de diferiți autori pentru acest coeficient. Trebuie menționat însă că nici una din aceste valori și expresii, nu se referă la nutrețuri concentrate măcinete.

O mică parte din aceste valori, în funcție de modul cum au fost obținute, sînt prezentate în tabelul nr.1

Din analiza acestui tabel rezultă următoarele concluzii asupra valorii coeficientului k :

- valorile coeficientului k stabilite cu prima metodă (I), au o valabilitate particulară și pentru nutrețurile concentrate măcinete pot fi numai orientative.

- Relațiile deduse prin metoda (II) au un caracter formal matematic și nu stabilesc substratul fizic al fenomenului dinoriz. Este cunoscut că aceleași valori experimentale le putem exprima prin mai multe relații matematice;

- Metoda a treia (III) oferă posibilitatea determinării substratului fizic al coeficientului k , în acest sens Dăia-dăio M. apropiindu-se cel mai mult de rezultat;

- A patra metodă (IV) este cea mai așgură pentru stabilirea substratului fizic al coeficientului k .

Pentru deducerea teoretică a expresiei coeficientului k , A.Vavra [117] s-a folosit de ideea că gradientul de presiune determinat de prezența materialului de transport în conductă, trebuie să compenseze pierderile prin accelerare și frecarea particulelor solide de pereții conductei, iar la conductele orizontale, trebuie să compenseze și forța de gravitație la ridicarea materialului pentru a fi deplasat prin plutire în direcția de transport.

Pentru o anumită stare de mișcare, cînd accelerația momentană a particulei este zero, se realizează în conducta de transport următoarea condiție:

$$\Delta P_M \cdot A = \frac{v_M \cdot ds}{v_M \cdot A} W_n \quad (53)$$

Tabelul nr.1

Nr. Valoarea coeficientului 2 Conditii de 4 Autocul

I. Valori obținute pe cale experimentală

1. $k = 0,3 - 0,6$	grâu	Gasteratdt	[117]
2. $k = 0,32$	grâu	Epivakovski	[99]
3. $k = 0,06 - 1$	grâu	Zelinski S.	[32]
4. $k = 0,4 - 0,6$	talas	Orlovski V.	[99]
5. $k = 0,4 - 1,4$	rumsug	Kalinuskin I.	[47]
6. $k = 0,05 - 0,15$	zool	Peter L.	[99]
7. $k = 0,6$	zool	Klucoviko H.	[99]
8. $k = 0,4$	cărbune afărmat	V.T.I.	[32]

II. Relatii deduse experimental

9. $k = (\frac{1}{\sqrt{v_0}})^2$	$\lambda = 15 - 23$	Kalinuskin I.	[47]
10. $k = 1,25 \cdot \sqrt{v_0} \cdot v_0^{-1}$	pentru transport in conduțe orizontale	Lobsev I.	[32]
11. $k = 0,7 \cdot v_0^{-1}$	$c = 0,05$ pt. $k = 0,05$ $c = 0,16$ pt. $k = 0,4$	Smoldirev A.	[99]
12. $k = 0,35(v_0/20)^{-1,0} (2/0,02)^{0,03}$	pentru transport in conduțe orizontale	Strahovici S.	[32]

III. Relatii experimentale generalizate ou ajutorul

13. $k = 0,17 / \sqrt{Fr_0}$	Teoriei similitudinii	Smoldirev	[99]
	$Fr_0 = 0,004 - 0,025$		

14. $k = 1,9 \cdot 10^{-2} \left(\frac{v}{d} \right) \cdot 1,23 \cdot 10^8 \cdot 0,92 \cdot 10^8 \cdot 0,65$

Uciadzio A. [32]

pentru transport in
conducta orizontala

15. $k = \frac{v_A}{v_M} \left(\frac{1}{1_A} \frac{dv_A}{dy} - \frac{dv_M}{dy} \right)^2$

Usrenski V. [110]

gradientul vitezei
dv/dy

16. $k = \frac{\rho}{\lambda_1} \left(\frac{v}{v_M} \right) + \frac{2v/v_M \cdot 0,004 \phi}{\lambda_1 \rho (v/v_M)}$

Vavza A. [117]

pentru orice pozitie
a conductei de trans-
port

in care:

$$\frac{Q_p \cdot ds}{v_m \cdot m} = N_p - \text{numărul de particule într-o unitate elementară a conductei.}$$

In acest caz, dacă in relația (51) se înlocuiesc k și μ cu valorile lor și se utilizează formula lui Darcy-Weisbach se obține expresia coeficientului k sub forma:

$$k = \frac{\sum \left(\frac{v_m}{v_a} \right)}{\lambda_1} + \frac{2 \frac{v_m}{v_a} \cos \phi}{\lambda_1 Fr \left(\frac{v_m}{v_a} \right)} \quad (54)$$

In vederea stabilirii influenței diferiților factori asupra coeficientului k , A.Vavra [117] a făcut experiențe cu grâu, transportat pneumatic într-o conductă orizontală.

2.4.1. Influența diametrului D al conductei asupra coeficientului k

Această dependență este prezentată in fig.4. Se poate observa că coeficientul k crește aproape liniar cu creșterea diametrului conductei de transport.

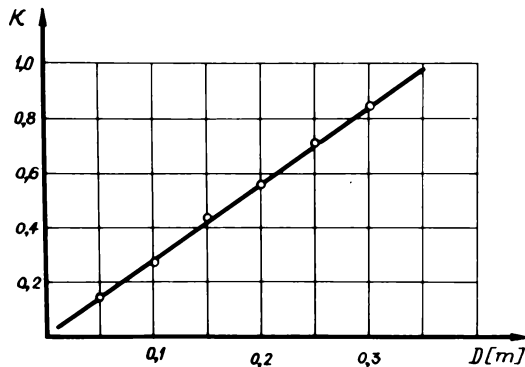


Fig.4. Influența diametrului D al conductei asupra coeficientului k

Dependența stabilită teoretic, este aproape aceeași cu rezultatele experimentale ale lui V.Uspenski [114], care in experiențele pe care le-a efectuat cu cenuse avind $d = 0,82 \cdot 10^{-3} m$, la viteza curentului de aer $v_a = 22 \text{ ms}^{-1}$, a stabilit că coeficientul k crește aproximativ cu $0,8 \sqrt{D}$. Acest re-

sultat nu poate fi însă aplicat și la nutrețurile concentrate măcinete, deoarece mărimea lui k este influențată de proprietățile fizico-mecanice ale particulelor transportate.

2.4.2. Influența diametrului d al particulelor asupra coeficientului k

Dependența studiată este grafic reprezentată în fig.5

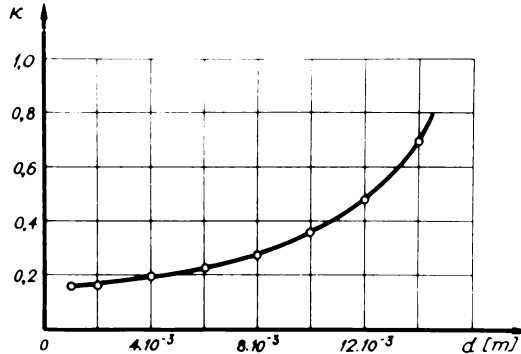


Fig.5. Influența diametrului d al particulelor asupra coeficientului k

Se poate constata că valoarea coeficientului k crește odată cu creșterea diametrului particulelor transportate d .

Dependența stabilită de A.Vavra, corespunde cu valorile din literatura de specialitate. Astfel V.Jspenski [114] a stabilit că la transportul pneumatic al cenușii în conducte orizontale cu $D = 0,041$ m, la viteza aerului de transport $v_g = 20$ m.s⁻¹, coeficientul k este proporțional cu $\log d$. De asemenea V.Jspenski a stabilit că, k depinde și de forma particulelor. Astfel, pentru particule sferice, k este mult mai mare decât pentru cele colțuroase. După acest cercetător, dimensiunile geometrice (d), forma și densitatea particulelor (ρ_p) (deci factorii care stabilesc viteza de plutire v_p a particulei), sînt factorii principali care determină valoarea coeficientului k .

2.4.3. Influența vitezei aerului de transport v_g asupra coeficientului k

Această dependență, prezentată grafic în fig.6, scoate în evidență faptul că, coeficientul k are o variație invers pro-

porțională cu creșterea vitezei curentului de aer.

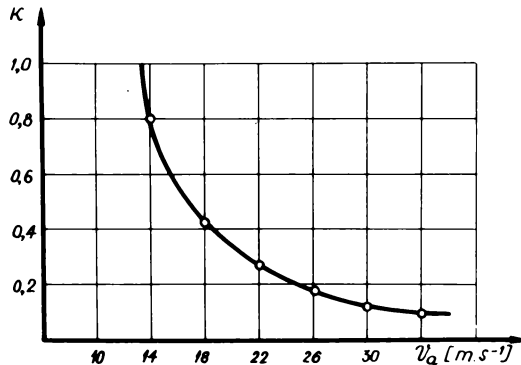


Fig. 6. Influența vitezei aerului de transport v_a asupra coeficientului k

La valori ale vitezei aerului egale cu valorile vitezei de plutire a fiecărui material, atunci când $v_m/v_a = 1$, coeficientul k ia valori extrem de mari. Această dependență, poate cea mai expresivă, este dată de aproape toți cercetătorii. V. Uspenki [114] a observat această dependență prin experimente făcute la transportul pneumatic al cenușei cu $d = (0,142 \cdot 10^{-3} - 0,82 \cdot 10^{-3})$ m prin conducte orizontale cu diametrul $D = (0,032 - 0,041)$ m. El explică această dependență astfel: la viteze mari ale aerului de transport v_a , materialul din secțiunea verticală a conductei este distribuit uniform și $k \approx \text{const}$, deci independent de v_a . Acesta este regimul de mișcare uniformă a materialului. La mișcarea vitezei aerului de transport v_a , distribuția materialului în secțiunea conductei nu mai este uniformă, concentrându-se în partea inferioară a conductei. La acest regim, valoarea lui k crește.

Dacă viteza aerului v_a se apropie de viteza minimă de transport, valoarea coeficientului k crește la infinit iar conducta se infundă, întrerupând transportul pneumatic al particulelor.

2.5. Pierderile de presiune în zona de regim stabilizat, determinate prin coeficientul λ_g

În literatura de specialitate [1, 9, 14, 17, 18, 31, 51, 55, 61, 74, 92, 102, 109, 121, 123, 124, 130] pierderile

de presiune în conductele orizontale, în zona de regim stabilizat sînt calculate și cu următoarea metodă:

$$\Delta p = \Delta p_g + \Delta p_s$$

în care:

$$\Delta p_g = \lambda_1 \frac{L}{D} \frac{\rho_a v^2}{2g}$$

și:

$$\Delta p_s = \lambda_2 \frac{L}{D} \mu \frac{\rho_a v^2}{2g} \tag{55}$$

deci:

$$\Delta p = (\lambda_1 + \mu \lambda_2) \frac{L}{D} \frac{\rho_a v^2}{2g} \tag{56}$$

Rezultă și după această metodă, că pierderile totale de presiune se compun din pierderile de presiune pentru deplasarea aerului curat proporționale cu coeficientul de rezistență λ_1 și pierderile de presiune suplimentare pentru deplasarea particulelor solide proporționale cu coeficientul de rezistență λ_2 .

Valoarea coeficientului global de rezistență se exprimă prin relația:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \tag{57}$$

Lezațiile pentru determinarea valorilor coeficientului λ_1 și λ_2 deduse experimental sau teoretic de diferiți cercetători sînt sintetizate în tabelul 2.

Din analiza acestui tabel, rezultă că pierderile de presiune calculate prin metoda coeficientului λ_g depind de numărul lui Froude Fr , diametrul D al conductei, concentrația gravimetrică μ , lungimea conductei și coeficientul de frecare cinematic.

2.5.1. Influența concentrației gravimetrice μ asupra coeficientului λ_g

S.Kikkawa și S.Sugawara [55] au studiat influența concentrației gravimetrice μ asupra coeficientului λ_g , pentru mai multe materiale transportate pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul $D = 50$ mm și anume: grâu, bile de sticlă și cuarț.

Din încercările experimentale efectuate cu grâu au obținut următoarea dependență, reprezentată în fig.7.

Se constată că λ_g se menține aproape constant pentru valori mari ale numărului lui Froude, pentru ca la valori mai

Tabela nr.2

nr. 2 2 5 4

Valoarea coeficientului Conditii de Autorul

stabilitate

nr.	Valoarea coeficientului	Conditii de stabilitate	Autorul
1.	$\lambda_g = \frac{0,315 + 0,01}{10^{0,25}}$	$0 = 0,046 \text{ m}$ $d = (0,1 - 1,2) \text{ mm}$	Cetfirkin [117]
2.	$\lambda = \left[1,7 \cdot 10^{-3} \left(\frac{d}{v_m} \right) + 1,56 \left(\frac{v}{v_m} \right) + 1,33 \cdot 10^{-3} \right] \lambda_1 + 77,0 \mu$	pentru conducte orizontale	Dziadziio [32]
3.	$\lambda = 0,4 \cdot 10^3 \left(\frac{\mu}{10^3} \right) \left(\frac{d}{D} \right) 0,35$	$\left(\frac{\mu}{10^3} \right) 0,5 \approx 1,6 \cdot 10^{-8}$ $\div 1,0 \cdot 10^7$	Smoldirev [98]
4.	$\lambda = \left[\frac{8}{(\sqrt{8/\lambda} - 1,72)^2 - \lambda} \right]^2 \frac{1}{\mu}$	pentru conducte orizontale	Jematu A. [112]
5.	$\lambda_g = 0,0958(v_g - 5,5)^{-0,356} \cdot \mu \cdot 0,543 - 0,0021 v_g$	pentru gruu	Jobtaki [55]
6.	$\lambda_g = 0,0428(v_g - 1,5,5)^{0,026} \cdot \mu \cdot 0,679 - 0,0016 v_g$	pentru soia	Jobtaki [55]
7.	$\lambda_g = \frac{280}{v_p^2} \cdot \frac{(v_g - v_g)^2}{v_g \cdot v_m}$	pentru conducte orizontale	Adam O [1]

8.	$\lambda = \frac{v}{v_0} \lambda_1 + \frac{2\beta}{Fz \cdot v/v_0}$	pentru condutete ori- sontale $\beta = v/v_0$	Maschelmauts [74]
9.	$\lambda = \frac{\lambda_1}{1 + Fz \sqrt{\frac{\lambda_1}{2}}}$	pentru condutete ori- sontale	Barth W. [9]
10.	$\lambda = 1 - \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - \lambda_1/2Fz^2)(1 - Fz^2/Fz)}}{1 - \lambda_1/2Fz^2}$	pentru condutete ori- sontale	Urban I. [113]
11.	$\lambda_0 = \lambda_1 \frac{0}{v_0} + \frac{2\beta \cdot v}{Fz^2 \cdot c}$	pentru condutete ori- sontale	Günther W. [55]
12.	$\lambda_0 = \frac{Dv_0}{1v_0} \left[\frac{0_1^0}{\exp(\sigma_1^0 - \sigma_2)} + \frac{4\sigma_2}{1 - \sigma_2} \right]$	pentru condutete ori- sontale	Kildrews S. [55]

nici să crească brusc (cazul limitei de infundare). De asemenea se observă că o dată cu creșterea concentrației gravimetrice μ crește și coeficientul λ_g .

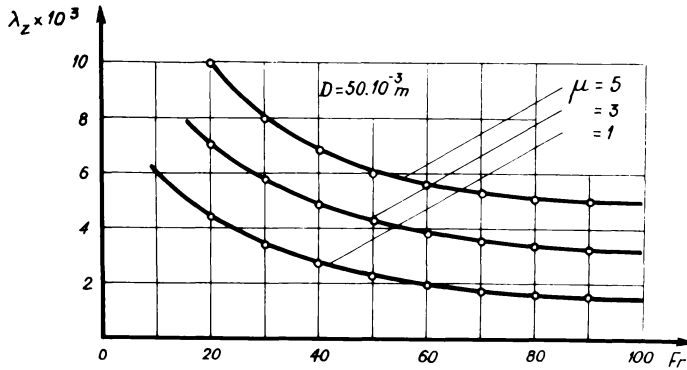


Fig.7. Influența concentrației gravimetrice asupra coeficientului λ_g

2.5.2. Influența coeficientului de frecare f asupra coeficientului λ_g

Afectul coeficientului de frecare al griului asupra coeficientului λ_g , este reprezentat în fig.8.

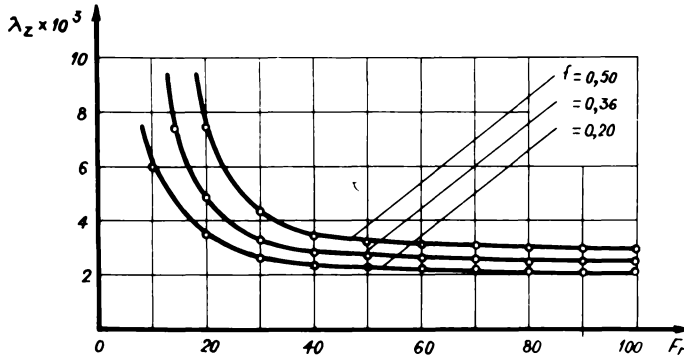
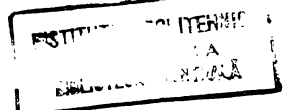


Fig.8. Influența coeficientului de frecare f asupra coeficientului λ_g



Din această reprezentare reiese faptul că odată cu creșterea coeficientului de frecare, crește și coeficientul λ_g mai pronunțat în apropierea limitei de infundare, pentru ca apoi să se mențină aproape constant. De asemenea se constată că pentru valori mari ale numărului lui Froude, influența coeficientului de frecare asupra lui λ_g devine nelăsătoare.

2.5.3. Influența diametrului conductei de transport asupra coeficientului λ_g

Această influență a fost reprezentată de cei doi cercețatori în fig.9.

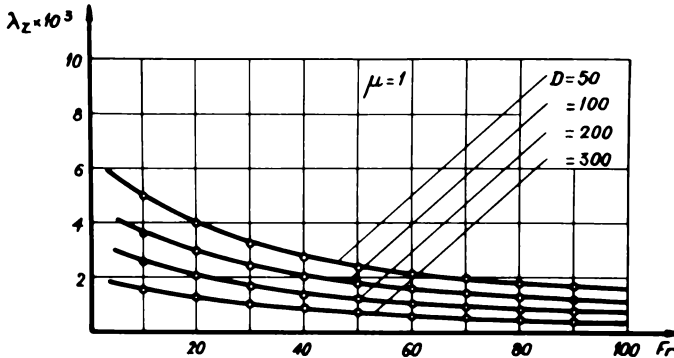


Fig.9. Influența diametrului conductei D , asupra coeficientului λ_g

Lin fig.9 se poate observa că pentru o concentrație gravimetrică $\mu = 1$, coeficientul λ_g scade o dată cu creșterea diametrului conductei, mai evident pentru valorile mici ale numărului lui Froude.

Pentru valori mari ale acestui număr, coeficientul λ_g se menține aproape constant.

2.6. Ecuația generală a pierderilor de presiune în conductă de transport orizontală

Din analiza metodelor de calcul a pierderilor de presiune descrise, reiese faptul că valorile experimentale ale coeficienților k și λ_g , au un domeniu limitat de valabilitate, lucru scos de altfel în evidență de numărul mare de re-

lupii date în literatură pentru acești coeficienți.

Începând de la această idee, o serie de cercetători au încercat să stabilească o expresie generală a pierderilor de presiune pentru condițiile transportului pneumatic.

Acest lucru a fost rezolvat satisfăcător de P.Chand și M.Chesch [15].

Astfel, pornind de la ecuația lui Navier-Stokes pentru curgerea într-o conductă cu secțiunea circulară:

$$-\frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{dv^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv}{dr} \right) + \lambda = 0 \quad (58)$$

și considerînd că termenul al doilea al ecuației de mai sus care reprezintă influența forței de frecare dintre curentul de aer și pereții conductei, se poate neglija în raport cu pierderile de presiune produse de material, cei doi cercetători au stabilit ecuația generală a pierderilor de presiune sub forma:

$$\Delta p_m = \frac{Z}{v_a} \left\{ (v_{a0} - 1 + \alpha)^2 t + (\alpha + 1) \left[1 - \frac{2\alpha}{(\alpha+1) + (\alpha-1)e^{-2\alpha t}} \right] + (v_{a0} - 1 + 3\alpha) \log \left[\frac{2\alpha}{(\alpha+1) + (\alpha-1)e^{-2\alpha t}} \right] \right\} \quad (59)$$

în care coeficienții au semnificațiile date prin relațiile (11), (13), (14), (15).

Această ecuație generală este valabilă pentru transportul orizontal, vertical și înclinat, atât pentru regimul stabilizat cît și pentru zona de accelerare.

Se observă că în ecuația (59) nu intervine coeficientul de rezistență, deci nu depinde de numărul lui Reynolds. Trebuie menționat că, la verificarea acestei probleme teoretice autorii au luat singurul caz al regimului stabilizat de transport al unor particule sferice din masă plastică și sticlă, avînd aceleași dimensiuni.

2.7. Concluzii

În urma studiilor efectuate asupra metodelor de calcul a pierderilor de presiune în conducte orizontale rezultă următoarele:

- Problemez pierderilor de presiune cauzate de prezența particulelor solide în conducte de transport orizontală,

nu este rezolvată complet, deși literatura de specialitate indică mai multe metode de calcul pentru acest parametru.

Metodele de calcul utilizate în prezent pentru stabilirea pierderilor de presiune, au domenii limitate de aplicabilitate, fiind condiționate în general de coeficienți stabiliți pe cale experimentală sau teoretic, valabili însă pentru anumite regimuri de funcționare și în special pentru anumite materiale. Rezultă că, este necesar ca și pentru nutrețurile concentrate măcinate, materiale care prezintă proprietăți fizico-mecanice deosebite de a celor utilizate în încercările experimentale de diferiți cercetători, să se stabilească o metodă de calcul care să aibă în vedere aceste proprietăți și să permită dimensionarea corectă a instalațiilor de transport pneumatic pentru aceste materiale.

- Relația (49) propusă de A. Dziadzio, scoate în evidență că pierderile de presiune pentru accelerarea particulelor solide, cresc o dată cu creșterea vitezei curentului de aer și a concentrației gravimetrice. Se poate afirma că metoda de calcul propusă de A. Dziadzio, este aproximativă deoarece a determinat coeficientul β , considerând pierderea de presiune pentru accelerarea particulelor ca diferența între pierderea de presiune totală și pierderea de presiune produsă de frecarea și cînchirirea particulelor de pereții conductei pentru zona de regim stabilizat, ori acest lucru nu corespunde cu realitatea.

- Valorile coeficientului k , stabilite pe cale experimentală, au o valabilitate particulară iar pentru alte materiale decât cele cu care s-au făcut încercările pot fi numai orientative. Relațiile deduse prin această metodă nu au un caracter formal matematic, neredând substratul fizic al fenomenului descris de diferiți cercetători.

- Expresiile de calcul pentru coeficientul k stabilite pe cale teoretică, sînt în evidență faptul că acest coeficient depinde atât de viteza materialului cit și de viteza curentului de aer în conducta de transport. Ele nu au fost verificate însă și pentru nutrețurile concentrate măcinate.

- Concentrația gravimetrică este un factor de care depinde direct economicitatea instalațiilor de transport pneumatic. Pînă în prezent nu se cunosc decât valori disparate și aproximative determinate experimental pentru câteva materiale, valori care nu pot fi aplicate și pentru nutrețurile concentrate

măcinată. Nu este stabilită o lege generală pe baza căreia să se calculeze concentrația gravimetrică, care să facă posibilă determinarea debitului de aer pe baza sigure și economice.

- Numărul mare de relații întâlnite în literatura de specialitate pentru coeficientul λ_g denotă că limitele de utilizare ale acestui coeficient sînt foarte restrînse. Factorii care influențează în mod direct coeficientul λ_g sînt: numărul lui Froude, diametrul conductei, concentrația gravimetrică, coeficientul de frecare și lungimea conductei de transport.

- Relația (59) stabilită pe cale analitică de P.Chans și P.Ghesoh, deși are un domeniu mare de aplicabilitate, este foarte incertă, întrucît necesită un volum mare de operații analitice. Avînd în vedere faptul că autorii au verificat relația de calcul numai pentru particule sferice din mase plastice și sticlă, pentru regimul stabilizat de transport, rezultă că și în acest caz sînt necesare încă date experimentale care să confirme posibilitățile de aplicare ale acestei metode de calcul.

PARTEA II-a

CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PIERDERILE DE PRESIUNE LA TRANSPORTUL PNEUMATIC AL NUTREȚURILOR CONCENTRATE MACINATE ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ

Pierderile de presiune, acest parametru de bază care condiționează dimensionarea cit și exploatarea optimă a instalațiilor de transport pneumatic, a fost stabilit de mulți cercetători [1, 6, 9, 12, 17, 18, 20, 21, 27, 32, 37, 47, 55, 62, 72, 74, 85, 86, 87, 93, 94, 95, 97, 99, 109, 113, 117, 121, 122 și alții,] numai pentru anumite materiale a căror coeficienți de rezistență au fost determinați pe cale experimentală. Deși această problemă a făcut obiectul multor lucrări de cercetare, pînă în prezent nici una din aceste lucrări nu s-a ocupat de studiul comportării nutrețurilor concentrate măcinate în timpul transportului pneumatic în conducte orizontale, pentru a se putea stabili pierderile de presiune produse de aceste materiale.

Din analiza metodelor de calcul prezentate în lucrările mai sus amintite, reiese faptul că relațiile matematice stabilite pînă în prezent pentru calculul pierderilor de presiune fie că sînt incomplete deoarece neglijează unele aspecte ale fenomenelor ce se produc în timpul transportului pneumatic între cele două faze - aer-particule solide - sau între cele două faze și pereții conductei, fie că au domenii limitate de valabilitate, lucru șoc de altfel în evidență de numărul mare de relații date pentru acest parametru.

În acest sens, autorul pornind de la ipotezele clasice privind transportul pneumatic evitînd însă unele neconcordanțe ce există între aceste ipoteze și fenomenele ce au loc în conducta de transport, își propune să stabilească pe cale analitică și să verifice experimental o metodă de calcul a pierderilor de presiune în conducte orizontale cu secțiune circulară în condițiile transportului pneumatic pentru principalele nutrețuri concentrate măcinate, folosite în cadrul fabricilor de nutrețuri combinate, metodă care să permită atât dimensionarea optimă a instalațiilor de transport, cit și obținerea unui regim de funcționare rațional.

CAPITOLUL I

DETERMINAREA PIERDERILOR DE PRESIUNE ÎN CONDUCTA DE TRANSPORT ORIZZONTALĂ, CU SECȚIUNĂ CIRCULARĂ

În scopul stabilirii pierderilor de presiune cauzate de nutrețurile concentrate măcinate, transportate pneumatic într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, autorul face următoarele ipoteze:

În timpul deplasării amestecului format din cele două faze - aer și particule de nutreț concentrat măcinat - în conducta de transport apar următoarele rezistențe:

- rezistența datorită frecării aerului cu pereții conductei;
- rezistența datorită accelerării particulelor de nutreț concentrat măcinat la înaintarea în conducta de transport, de la $v_{m0} = 0$ la $v_{m0} = v_m$;
- rezistența datorită frecării și ciocnirii particulelor de nutreț concentrat măcinat cu pereții conductei;
- rezistența datorită ciocnirii între particulele de nutreț concentrat măcinat.

Pentru a se asigura deplasarea particulelor de material în conducta de transport, aceste rezistențe trebuie să fie învinse de mediul de transport.

Este cunoscut că, în general pierderile de presiune totale ce apar în timpul transportului pneumatic în conducta orizontală, se compun din pierderi de presiune cauzate de deplasarea aerului și pierderi de presiune datorită deplasării materialului.

Pentru a pune în evidență aceste elemente, autorul consideră un tronson de conductă avînd lungimea Δl , cu secțiune circulară dispusă orizontal (fig.10).

Prin deplasarea amestecului aer - particule de material, între cele două secțiuni (1 - 2), în conductă, datorită rezistențelor ce apar, se produc următoarele pierderi de presiune:

Δp_{p0} - pierderea de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei;

Δp_{m0} - pierderea de presiune datorită accelerării mate-

- riului la intrarea în conducta de transport;
- ΔP_{mo} - pierderea de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu pereții conductei;
- ΔP_{mm} - pierderea de presiune datorită frecării și ciocnirii între particulele de material.

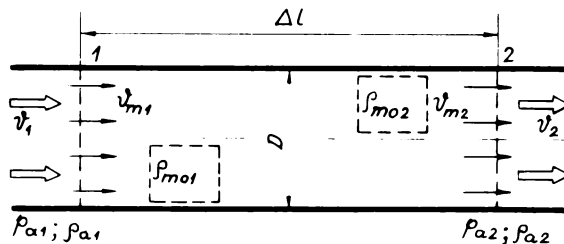


Fig.10. Element de conductă cu secțiune circulară, dispusă orizontal

Încercările experimentale efectuate de unii cercetători [7, 11, 26, 39, 45, 73, 87, 91, 101 și alții], au afirmat că în cazul transportului pneumatic al materialelor pulverulente cu concentrația gravimetrică reală $\mu_r < 10$, fracțiunea pierderilor de presiune care revin pentru accelerarea particulelor de material ce pătrund în conducte de transport este neînsemnată în raport cu celelalte fracțiuni și de aceea pot fi neglijate în calcule.

Autorul, avînd în vedere acest aspect, precum și faptul că în cadrul amestecului de aer și particule de mătreaț concentrat măcinat $\rho_m \gg \rho_a$, propune ca expresia pierderilor totale de presiune care cauzează o diferență de energie între începutul 1 și sfîrșitul 2 al conductei (fig.10), în care este realizat un regim stabilizat de transport, să se scrie sub următoarea formă:

$$P_1 - P_2 = \Delta P_{ac} + \Delta P_{mc} + \Delta P_{mm} = \Delta P \quad (60)$$

Apariția în relația (60) a fracțiunii ΔP_{mm} care constituie o particularitate a transportului pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, a fost dictată de faptul că aceste materiale se prezintă sub forma unor particule cu dimensiuni de la câțiva microni pînă la 3 mm și mai mari în unele cazuri, particule care se comportă total diferit de majoritatea materialelor folosite în încercările experimentale ale altor cercetători, (multe dintre ele convenționale - bile de sticlă, din masă plastică etc.), materiale care aveau în general particule de aceeași dimensiuni sau aceeași formă.

În baza ipotezelor privind fenomenele reale ce au loc în instalațiile de transport pneumatic în conducte orizontale cu secțiune circulară, autorul va proceda în continuare la determinarea teoretică a părților componente a pierderilor totale de presiune ce se produc la deplasarea nutrețurilor concentrate măcinate în aceste conducte de transport.

1.1. Determinarea pierderilor de presiune produse de frecarea aerului cu peretele conductei

Fluidul vehiculant - aerul - poate fi considerat un gaz perfect și cum în cazul transportului pneumatic nu se poate pune problema unor schimburi calorice, legile fizice de scurgere prin conducte rămân în cadrul unor destinderi izoterme.

În acest caz, pierderile de presiune care se produc în timpul transportului, datorită frecării aerului cu pereții conductei, au fost stabilite de cercetătorii în acest domeniu cu relația (41).

$$\Delta P_a = \lambda_a \frac{L}{D} \frac{\rho_a v_a^2}{2g}$$

Este evident că această expresie nu ține seama de variația gradientului de presiune.

Deci în cazul conductelor scurte se poate admite fără a se face o eroare prea mare, că greutatea specifică a aerului rămâne constantă pe întreaga lungime a conductei în cazul conductelor lungi, - situație întâlnită în cadrul fabricilor

de nutrețuri concentrate combinate diferențele de presiune ajung uneori la valori de același ordin de mărime cu presiunea inițială și ca atare trebuie să se țină seama de acest aspect în calcule.

Avînd în vedere acest fenomen, autorul pornind de la faptul că ⁱⁿ conductele cu secțiune constantă, în timpul transportului pneumatic, particulele se mișcă în direcția de deplasare a mediului vehiculant atît timp cît energia acestuia este mai mare decît pierderile de presiune, își propune să facă corecția necesară expresiei (41).

Astfel, este cunoscut că în timpul transportului pneumatic, gradientul de presiune al aerului scade (fig.11).

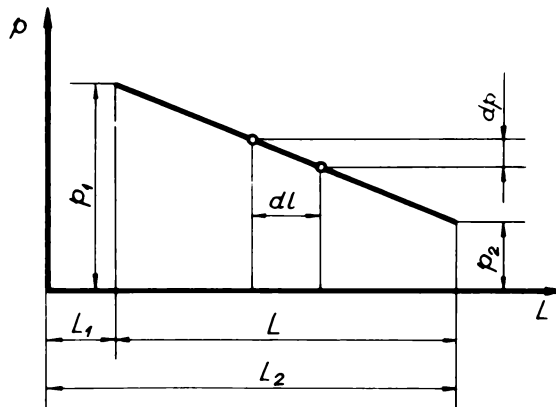


Fig.11. Variația gradientului de presiune a aerului, într-o conductă orizontală cu secțiune circulară

Dacă presupunem că în conducta de transport se produce o destindere izotermă și ținînd seama că gradientul de presiune este o creștere negativă a presiunii aerului în conductă, se poate scrie:

$$- dp = \lambda_{ac} \frac{dl}{D} \frac{\rho v^2}{2g} \quad (61)$$

Avînd în vedere că viteza curentului de aer în conducta cu secțiunea constantă, este proporțională cu volumul aerului adică;

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad (62)$$

și:

$$\frac{\gamma_{a_1}}{p_1} = \frac{\gamma_{a_2}}{p_2} \quad (63)$$

exprimînd variabilele γ_a și v_a în funcție de parametrii inițiali cunecouți ai aerului, după substituiri, rearanjări și integrare în limitele de la p_1 la p_2 și de la L_1 la L_2 ecuația diferențială (61) devine:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = p_1 \cdot \gamma_{a_1} \frac{\lambda_{a_0}}{D} \cdot \frac{v_{a_1}^2}{2g} \cdot L \quad (64)$$

Analizînd această formă a ecuației se poate constata că este greu de aplicat în practică. De aceea se propune să se țină seama că în timpul curgerii aerului curat prin conducta de transport, pierderea de presiune poate fi exprimată prin relația:

$$\Delta p_{ac} = p_1 - p_2 \quad (65)$$

Avînd în vedere că regimul de transport luat în considerație este cel stabilizat, caracterizat prin expresiile $\gamma_{a_1} = \gamma_{a_2}$ și $v_{a_1} = v_a$, atunci relația (64) se poate scrie sub forma:

$$p_1^2 - p_2^2 = 2p_1 \cdot \Delta p_a \quad (66)$$

Dacă relația (65) se ridică la pătrat și se scoate valoarea lui p_2^2 se obține:

$$p_2^2 = p_1^2 - 2p_1 \cdot \Delta p_{ac} + \Delta p_{ac}^2 \quad (67)$$

Înlocuind această valoare în ecuația (66), aceasta devine:

$$\Delta p_{ac}^2 - 2p_1 \cdot \Delta p_{ac} + 2p_1 \cdot \Delta p_a = 0 \quad (68)$$

Rezolvînd această ecuație se obține expresia pierderilor de presiune datorită frecării aerului de peretele conductei, sub forma:

$$\Delta p_{ac} = p_1 - p_2 \sqrt{1 - \frac{\lambda_{a_0}}{p_1} \frac{L}{D} \frac{\gamma_a v_a^2}{2g}} \quad (69)$$

Din această expresie reiese faptul că pierderile de presiune datorită frecării aerului de pereții conductei sînt influențate de valoarea presiunii aerului la intrarea în conducta de transport, de parametrii constructivi ai conductei precum și de viteza curentului de aer. Rezultă că, spre deosebire de expresiile matematice folosite pînă în prezent pentru determinarea acestui parametru (Δp_{ac}), ecuația (69) ține seama și de variația gradientului de presiune, ceea ce considerăm că numai sub această formă se exprimă în mod real, fenomenul ce are loc în instalația de transport la surgerarea aerului curat.

Coefficientul de rezistență λ_{ac} din expresia (69) care apare datorită frecării aerului cu pereții conductei de transport, depinde de numărul lui Reynolds, de rugozitate și diametrul conductei. El poate fi determinat experimental sau cu ajutorul unor relații empirice de calcul.

Deoarece în practică, perețele conductei de transport se șlefuește după un timp relativ scurt de funcționare, se admite întotdeauna ca un perete neted hidraulic, astfel că, pentru un domeniu larg de variație a numărului lui Reynolds $Re \in [5 \cdot 10^3 - 10^7]$ se poate utiliza pentru determinarea coeficientului λ_{ac} formula lui Nicuradze (45) scrisă sub forma:

$$\lambda_{ac} = 0,0032 + 0,221 Re^{-0,237} + Re^{-1}$$

Autorul adoptă această expresie pentru determinarea mărimei coeficientului de rezistență λ_{ac} , avînd în vedere regimul de scurgere a aerului în câmbul instalației experimentale pe care o utilizează precum și pentru faptul că expresia a fost preluată de mulți cercetători printre care [31, 47, 52, 98, 114 ș.a.], care au determinat experimental, valori pentru λ_{ac} valori care respectă legea de variație stabilită cu această expresie, uneori cu restricții cauzate de influența particulelor solide asupra profilului vitezei în conducta de transport, dar numai pentru cazul cînd concentrația gravimetrică $\mu_r < 10$.

1.2. Determinarea pierderilor de presiune produse de frecarea și ciocnirea particulelor de aer curat concentrat pășinat cu perețele conductei

În timpul transportului pneumatic al autorejurilor concentrate măcinate, autorul consideră că, traiectoriile posibile ale particulelor de material în conducta orizontală cu secțiune circulară constantă, se prezintă astfel (fig.12);

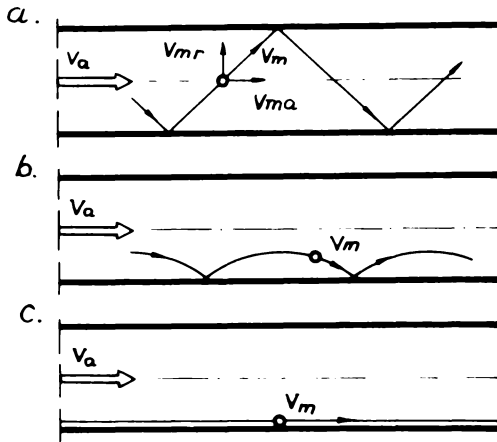


Fig.12. Traiectoriile particulelor de material într-o conductă orizontală

Ipotesele emise de diverși autori asupra mecanismului deplasării particulelor solide în conducte orizontale cu secțiune circulară, deși sînt diferite, în general se bazează pe acțiunea aceluiași element și anume viteza curentului de aer.

Analizînd aceste ipoteze, se poate afirma că cele trei traiectorii posibile (fig.12) pot fi caracterizate prin următoarele condiții:

$$a. \frac{v_{nr}^2}{2g} > D \quad (70)$$

$$b. \frac{v_{nr}^2}{2g} < D \quad (71)$$

$$c. v_{nr} = 0 \quad (72)$$

în care:

v_{mr} - componenta radială a vitezei medii a particulelor de nutreț concentrat măcinat, în conducta de transport.

Prima situație poate fi întâlnită în cazul conductelor de transport pneumatic la care raportul $\frac{D}{d} < 50$ și pentru viteze mari ale curentului de aer.

Cea de a doua situație apare frecvent la conductele cu raportul $\frac{D}{d} > 50$, pentru viteze mai reduse ale curentului de aer, iar cea de a treia situație este posibilă pentru valori mici ale vitezei curentului de aer sau pentru concentrația gravimetrică $\mu_g > 10$. În acest caz, particulele de material nu se mai ridică în curentul de aer executând salturi, ci se deplasează continuu prin alunecare sau rostogolire pe pereții inferior ai conductei.

Pentru determinarea pierderilor de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de nutreț concentrat măcinat cu pereții conductei, se analizează fiecare din cele trei cazuri. Aceste pierderi sînt influențate de debitul de material existent în conducta de transport, de numărul de ciocniri probabil al particulelor la parcurgerea unei anumite lungimi de conductă și de pierderea de viteză la fiecare ciocnire.

În vederea determinării pierderii de viteză la ciocnirea particulei de material de pereții conductei, autorul consideră modelul pentru studiu, indicat în fig. 13.

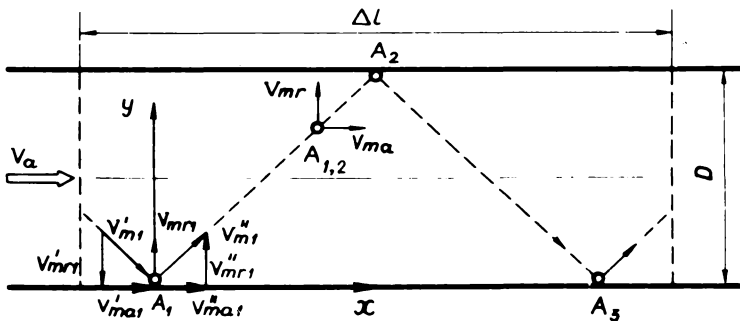


Fig.13. Componentele vitezei particulelor de material la ciocnirea cu pereții conductei

Se observă că particula de material se ciocnește cu peretele conductei în punctele A_1, A_2, A_3 parcurgând distanța Δl . Prin aceste ciocniri se pierde o parte din energia cinetică care la deplasarea prin mediul de transport trebuie redată particulei solide pentru a-și păstra viteza v_m , presupunând că deplasarea se face în regim stabilizat.

Înainte de ciocnirea particulei în punctul A_1 , aceasta va avea viteza v_{m1}' cu componentele v_{mr1}' și v_{ma1}' , iar după ciocnire, viteza particulei devine v_{m1}'' , cu componentele radială și axială v_{mr1}'' și v_{ma1}'' . Admițând că mișcarea particulelor se face după o direcție simetric axială rezultă $v_{mt}' = v_{mt}'' = 0$.

Pierderile de presiune care se produc prin ciocnirea particulelor de perete, sînt determinate în primul rînd de variația vitezei particulei în direcția axială, adică:

$$\Delta v_{ma} = v_{ma}' - v_{ma}'' \quad (73)$$

Dacă se admit următoarele ipoteze simplificatoare:

$$v_m \gg v_{mr} \quad (74)$$

$$v_m \gg v_{mt} \quad (75)$$

$$\frac{\Delta v_{ma1}}{v_{mr1}} \approx \frac{\Delta v_{ma2}}{v_{mr2}} \approx \frac{\Delta v_{ma}}{v_{mr}} = \text{const.} \quad (76)$$

și se consideră o particulă care se deplasează de-a lungul a-nui perete neted hidraulic de lungime Δl , în salturi de lungime l_g , se ciocnește de perete de $\Delta l/l_g$ ori, se obține pentru pierderea de presiune expresia:

$$\Delta P_{nc} = \frac{\rho}{A} \cdot \frac{\Delta l}{l_g} \cdot \Delta v_{ma} \quad (77)$$

Avînd în vedere că într-o conductă orizontală de secțiune circulară, în timpul deplasării particulei de material, datorită forței gravitaționale, viteza de ciocnire a acesteia în partea inferioară a conductei, este diferită de cea în partea superioară și de aceeași frecvența ciocnirilor este diferită, pentru determinarea salturilor particulelor se procedează astfel:

Plăcând de la ideea că în elementul de conductă de lungime Δl se află un regim stabilizat și că $v_m = \text{const.}$, iar $v_{mz} = 0$, se poate considera că, o particulă de material care părăsește peretele inferior avind componentele vitezei axiale și radiale v_{mz_1} și v_{mr_1} , ajunge după un timp t_1 într-un punct $A_{1,2}$ de coordonate x și y

În acest punct componenta radială are valoarea:

$$v_{mr} = v_{mr_1} - gt_1 \quad (78)$$

Conform legilor căderii libere se poate scrie:

$$v_{mr}^2 = v_{mr_1}^2 - 2gy \quad (79)$$

Înlocuind în expresia (78) valoarea lui v_{mr} determinată cu relația (79) se obține pentru timpul t_1 expresia:

$$t_1 = \frac{v_{mr_1}}{g} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2gy}{v_{mr_1}^2}} \right) \quad (80)$$

Cum în același timp t_1 , particula de material s-a deplasat sub acțiunea forței propulsive a aerului și în direcția axială, valoarea componentei axiale a vitezei materialului în punctul $A_{1,2}$ este:

$$v_{mz} = \frac{x}{t_1} \quad (81)$$

în care:

x - spațiul parcurs în direcția axială a conductei.

Înlocuind în această expresie valoarea lui t_1 determinată cu relația (80) se obține mărimea spațiului parcurs de particulă:

$$x = \frac{v_{mz} \cdot v_{mr_1}}{g} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2gy}{v_{mr_1}^2}} \right) \quad (82)$$

În funcție de traiectoria posibilă pe care o descrie o particulă de material în conducta de transport orizontală cu secțiune circulară, avind în vedere că $y_{\text{max}} = D$, se obține pentru lungimea salturilor următoarele valori:

a). Pentru $\frac{\sqrt{2}}{gD} > 1$ - situație în care peretele superior al conductei limitează înălțimea salturilor, lungimea lor este:

$$l_s = \frac{2v_{m2} \cdot v_{m1}}{g} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2gD}{\sqrt{2} v_{m1}}}\right) \quad (83)$$

b). Pentru $\frac{\sqrt{2}}{gD} < 1$ - situație în care particulele efectuează salturi deasupra peretelui inferior, mărimea salturilor este:

$$l_s = \frac{2v_{m2} \cdot v_{m1}}{g} \quad (84)$$

Avind în vedere că datorită forței gravitaționale apar pierderi de viteză diferite la peretele superior și cel inferior al conductei, a căror sumă este:

$$\Delta v_{m2} = \Delta v_{m2_1} + \Delta v_{m2_2} \quad (85)$$

și conform relației (76) pentru raportul v_{m2} / v_{m1} este valabilă relația:

$$\frac{v_{m2}}{v_{m1}} = \sqrt{1 - \frac{2gD}{\sqrt{2} v_{m1}}} \quad (86)$$

precum și faptul că $v_{m2} / v_{m1} = \text{const.}$ se obține pentru pierderea de viteză următoarea expresie:

$$\Delta v_{m2} = \Delta v_{m2_1} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2gD}{\sqrt{2} v_{m1}}}\right) \quad (87)$$

Cunoscând mărimea salturilor și pierderea de viteză cauzată de ciocnirea particulelor de material cu peretele conductei, se poate determina pierderea de presiune Δp_{m2} pentru cele trei traiectorii posibile, astfel:

a). Înlocuind în relația (77) mărimea salturilor stabilită cu expresia (83) și cea a pierderilor de viteză stabilită cu expresia (87), se obține:

$$\Delta P_{ms} = \frac{Q \cdot g}{A \cdot v_{ms}} \cdot \frac{\Delta v_{ms1}}{2v_{mr1}} \cdot \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{2gD}{v_{mr1}^2}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{2gD}{v_{mr1}^2}}} \quad (88)$$

b). Pentru cazul cind particula de material efectuează salturi numai pe peretele inferior al conductei, din relațiile (77) și (84), avind în vedere că în această situație $\Delta v_{ms} = \Delta v_{ms1}$ și $\Delta v_{ms2} = 0$, se obține:

$$\Delta P_{ms} = \frac{Q \cdot g}{A \cdot v_{ms}} \cdot \frac{\Delta v_{ms1}}{2v_{mr1}} \cdot \Delta l \quad (89)$$

c). Pentru cazul cind particula de material se deplasează prin alunecare pe peretele conductei, avind în vedere că $v_{mr} = 0$ și $l_g = 0$, expresia (77) a pierderilor de presiune devine:

$$\Delta P_{ms} = \frac{Q \cdot g}{A \cdot v_{ms}} \cdot f \cdot \Delta l \quad (90)$$

în care:

f - coeficientul de frecare dinamic al particulelor de material pe peretele conductei.

Analizind relațiile (88), (89) și (90) se pot face următoarele observații:

- M. Soloviev, într-una din lucrările sale [101], pe baza cercetărilor efectuate cu ajutorul filmării rapide în conducte orizontale cu secțiune circulară, a constatat că particulele de material se ciocnesc cu o frecvență mare atât de peretele superior al conductei cât și de cel inferior, numai în conductele de transport pneumatic la care raportul $\frac{D}{d} < 50$ și pentru viteze ridicate ale curentului de aer, în cazul în care concentrația gravimetrică $\mu_g < 10$.

Cum fabricile de nutrețari combinate și în general în domeniul agriculturii, instalațiile de transport pneumatic folosesc conducte la care raportul $\frac{D}{d} > 50$, rezultă că relația (88) nu are aplicabilitate directă pentru acest fel de instalații.

- Aplicarea în practică a relațiilor (89) și (90) sub această formă este dificilă.

Observând însă că o parte din termenii acestor relații, reprezintă de fapt niște constante ale materialului transportat, care separat pot fi determinate cu mare greutate, autorul a inclus aceste mărimi, într-un coeficient global al pierderilor de presiune prin frecare și ciocnire a particulelor cu pereții conductei λ_{mc} .

Astfel, pentru cazul când particulele de material execută salturi deasupra peretelui inferior, mărimea acestui coeficient este:

$$\lambda_{mc(b)} = \frac{v_{ms_1}}{v_{ms_1}} \cdot \frac{1}{Fr_m} \quad (91)$$

Iar în cazul când particulele se deplasează prin alunecare pe peretele inferior al conductei, acest coeficient are valoarea:

$$\lambda_{mc(c)} = 2f \frac{1}{Fr_m} \quad (92)$$

Deoarece pierderile de presiune Δp_{mc} reprezintă cea mai mare parte a pierderilor totale de presiune și sînt proporționale cu cifra lui Froude $Fr_m = v_m / \sqrt{g \cdot D}$, considerînd că aceste pierderi de presiune se produc în domeniul regimului stabilizat, autorul consideră că relațiile deduse, pot fi scrise sub o formă generală astfel:

$$\Delta p_{mc} = \lambda_{mc} \frac{q_m}{A \cdot v_m} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot \frac{L}{D} \quad (93)$$

Analizînd relația (93) se constată că pierderile de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de pereții conductei, sînt influențate de termenul $q_m / A \cdot v_m$ care reprezintă cantitatea reală de material existent în unitatea de volum a conductei, de viteza materialului și de parametrii constructivi ai conductei de transport.

Notînd:

$$\frac{q_m}{A \cdot v_m} = \rho_{mv} \quad (94)$$

ecuația (93) devine:

$$\Delta p_{nc} = \lambda_{nc} \frac{L}{D} \frac{\rho_{mv} v_m^2}{2} \quad (95)$$

Determinarea pe cale analitică a coeficientului de rezistență λ_{nc} este dificilă. Din această cauză autorul va determina valoarea acestui coeficient în cadrul unei mărimi globale, pe baza datelor obținute în cadrul încercărilor experimentale; valoare valabilă bineînțeles, numai pentru nutrețurile concentrate măcinate și regimurile de funcționare utilizate în cadrul experiențelor.

1.3. Determinarea pierderilor de presiune produse de ciocnirea între particulele de nutreț măcinat concentrat, în conducta de transport pneumatic

Nutrețurile concentrate rezultate în urma măcinării, se prezintă sub formă de particule cu dimensiuni de la 0,1 - 3 mm. În timpul transportului pneumatic, în conducta orizontală cu secțiune circulară, aceste particule vor fi antrenate în mișcare de către curentul de aer, cu viteze de deplasare diferite.

Autorul consideră acest aspect, drept o particularitate a transportului pneumatic a nutrețurilor concentrate măcinate, care nu a fost studiată pînă în prezent, particularitate de care trebuie să se țină seama în calculul pierderilor de presiune.

Astfel considerînd că într-un element de volum al conductei de transport, numărul de particule de material este suficient de mare, rezultă că aceste particule cu viteze diferite, în timpul deplasării, se ciocnesc între ele, producîndu-se o disipare a energiei lor cinetice, ce se poate transforma în energie de deformare, energie calorică etc.

Această variație a energiei conduce în cazul transportului pneumatic al particulelor cu dimensiuni diferite, de nutreț concentrat măcinat, la producerea pierderilor de presiune cauzate de ciocnirea particulelor între ele.

Ținînd seama de ipotezele făcute, pierderile de pre-

siune cauzate de ciocnirea particulelor de nutreț concentrat măcinat între ele, pot fi exprimate printr-o relație de forma:

$$\Delta p_{ms} = \Delta i_{ms} \cdot n_c \cdot \Delta l \quad (96)$$

in care:

- Δi_{ms} - pierderea de impuls la ciocnirea a două particule de material;
- n_c - numărul de ciocniri în unitatea de timp într-un volum elementar de conductă.

În scopul determinării pierderilor de impuls, în timpul ciocnirii, se consideră două particule de formă sferică, de masă m_1 și m_2 care se mișcă după linia centrelor cu vitezele v_{m1} și v_{m2} unde $v_{m1} > v_{m2}$ (fig.14).

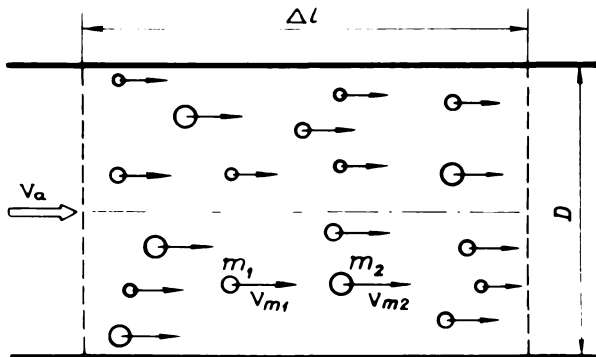


Fig.14. Element de conductă în care se deplasează particule de diferite dimensiuni

Dacă se ciocnesc central, cele două particule își vor continua drumul cu vitezele v'_{m1} și v'_{m2} a căror valoare nu este cunoscută. Pentru determinarea pierderii de impuls este deci necesar să se stabilească mărimile acestor viteze.

Aplicând teorema impulsului proiectată pe linia centrelor celor două particule și făcând observația că în timpul ciocnirii nu intervin decît percuțiile de legătură, rezultă:

$$m_1 v_{m_1} + m_2 v_{m_2} = m_1 v'_{m_1} + m_2 v'_{m_2} \quad (97)$$

Conform legilor generale ale ciocnirii, pierderile de impuls au forma:

$$\Delta i_{m_1} = m_1 (v_{m_1} - v'_{m_1}) \quad (98)$$

$$\Delta i_{m_2} = m_2 (v'_{m_2} - v_{m_2}) \quad (99)$$

Iuind in considerare și valoarea coeficientului de restituire k , care caracterizează din punct de vedere elastic fenomenul de ciocnire:

$$k = \frac{v'_{m_2} - v'_{m_1}}{v_{m_1} - v_{m_2}} \quad (100)$$

rezultă un sistem de ecuații (97) și (100) cu două necunoscute v'_{m_1} și v'_{m_2} pe care rezolvându-l se obține:

$$v'_{m_1} = v_{m_1} - \frac{(v_{m_1} - v_{m_2})(1 + k)}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \quad (101)$$

$$v'_{m_2} = v_{m_2} + \frac{(v_{m_1} - v_{m_2})(1 + k)}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \quad (102)$$

Inlocuind aceste valori in relațiile (98) și (99) pierderile de impuls devin:

$$\Delta i_{m_1} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_{m_1} - v_{m_2})(1 + k) \quad (103)$$

Pentru Δi_{m_2} valoarea este aceeași dar cu semnul schimbat.

Numărul probabil de ciocniri între particulele de masă m_1 cu cele de masă m_2 , in interiorul contactei se poate

determina cu o relație de forma:

$$n_0 = \frac{v_{n_1} - v_{n_2}}{l_p} n_{n_1} \quad (104)$$

in care:

n_{n_1} - reprezintă numărul de particule de masă n_1 dintr-un volum determinat de conductă;

l_p - parcursul liber mijlociu (distanța între două ciocniri).

Numărul probabil de particule de masă n_1 este:

$$n_{n_1} = \frac{n_{n_1}}{A \cdot v_{n_1} \cdot n_1} = \frac{\rho n_{n_1}}{n_1} \quad (105)$$

iar al particulelor de masă n_2 :

$$n_{n_2} = \frac{n_{n_2}}{A \cdot v_{n_2} \cdot n_2} = \frac{\rho n_{n_2}}{n_2} \quad (106)$$

In analogie cu teoria gazelor, parcursul liber mijlociu, adică distanța liberă medie pe care o parcurg particulele de masă n_1 pînă întîlnesc particule de masă n_2 , este definit prin expresia:

$$l_p = \frac{4}{\pi d_c^2 n_{n_2}} \quad (107)$$

in care:

d_c - diametrul în timpul ciocnirii particulelor = $d_1 + d_2$

Avind în vedere că masa unei particule sferice este:

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m \quad (108)$$

rezultă pentru numărul de ciocniri relația:

$$n_0 = (n_{v_1} - v_{n_2}) \frac{\rho_{n_1}}{\frac{\pi d_1^3}{6} \rho_{n_1}} \cdot \frac{\rho_{n_2}}{\frac{\pi d_2^3}{6} \rho_{n_2}} \cdot \frac{\pi (d_1 + d_2)^2}{4} \quad (109)$$

sau:

$$a_0 = (v_{m1} - v_{m2}) \frac{9}{\pi} \frac{\rho_{mv1} \rho_{mv2}}{\rho_{m1} \rho_{m2}} \cdot \frac{(d_1 + d_2)^2}{d_1^2 d_2^2} \quad (110)$$

Introducând valorile mărimilor determinate cu relația (103) și (110) în relația (96) se obține expresia pierderilor de presiune cauzate de ciocnirea particulelor de nutreț concentrat între ele, în timpul transportului pneumatic, sub forma:

$$\Delta p_{mm} = \frac{3}{2} (v_{m1} - v_{m2})^2 (1+k) \frac{\rho_{mv1} \cdot \rho_{mv2} (d_1 + d_2)^2}{d_1^2 \rho_{m1} + d_2^2 \rho_{m2}} \quad (111)$$

Este evident că aplicarea în practică a acestei ecuații este dificilă deoarece mărimile unor termeni ce reprezintă caracteristici ale particulelor ce se deplasează în interiorul conductei pot fi determinate separat, cu multă greutate.

Avind în vedere însă că în cazul amestecului binar - aer - particule solide - luat în studiu, toate particulele sînt din același material, autorul punînd următoarele condiții:

$$\rho_{mv1} + \rho_{mv2} = \rho_{mv} \quad (112)$$

$$\rho_m = \frac{1}{2} (\rho_{m1} + \rho_{m2}) \quad (113)$$

$$d = \sqrt[3]{d_1^3 + d_2^3} \quad (114)$$

propune includerea caracteristicilor constante ale nutrețurilor concentrate măcinat într-un coeficient de rezistență λ_{mm} cauzat de ciocnirea particulelor între ele.

Dacă se scrie relația pentru pierderile de presiune produse de ciocnirea particulelor între ele în timpul transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, într-o formă analogă cu relația pentru pierderile de presiune datorită frecării și ciocnirii între particule și pereții conductei, atunci, avind în vedere că pentru coeficientul de rezistență λ_{mm} este valabilă relația:

$$\lambda_{\text{mm}} = \frac{D}{d} \frac{\rho_{\text{mv}}}{\rho_{\text{m}}} \frac{(v_{m1} - v_{m2})^2}{v_{m1}^2} \cdot \xi \quad (115)$$

se obține:

$$\Delta p_{\text{mm}} = \lambda_{\text{mm}} \frac{\rho_{\text{mv}} v_{\text{m}}^2}{2} \frac{L}{D} \quad (116)$$

Determinarea pe cale teoretică a coeficientului λ_{mm} este posibilă numai în cazuri speciale, dacă particulele existente în conductă se deosebesc între ele în mod clar, printr-o caracteristică a lor, ceea ce rezultă, că în cazul nutrețurilor concentrate măcinată este foarte dificil. Valoarea acestui coeficient poate fi determinată pe cale experimentală în cadrul unui coeficient global, procedeul folosit de autor în cadrul acestei lucrări.

Relațiile de mai sus pentru determinarea pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei (69), a pierderilor de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu pereții conductei (95) și a pierderilor de presiune datorită ciocnirii între particule în conducta de transport (116), se înlocuiesc în relația (60) obținându-se expresia pierderilor de presiune totale sub forma:

$$\Delta p = p_1 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\lambda_{\text{ac}}}{\rho_1} \frac{\rho_{\text{m}} v_{\text{m}}^2}{2g} \frac{L}{D}} \right) + (\lambda_{\text{mo}} + \lambda_{\text{mm}}) \frac{\rho_{\text{mv}} v_{\text{m}}^2}{2} \frac{L}{D} \quad (117)$$

Analizând ecuația (117) se poate afirma - comparând-o cu ecuațiile existente destinate pentru calculul pierderilor totale de presiune, într-o conductă orizontală cu secțiune circulară - următoarele:

- în ecuația (117) se ia în considerație pentru prima dată variația gradientului de presiune a curentului de aer, făcându-se astfel ca expresia matematică să reprezinte într-adevăr fenomenul ce se produce în timpul transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu secțiune constantă, a aerului.

- Termenul $\rho_{\text{mv}} = \rho_{\text{m}}/A \cdot v_{\text{m}}$, utilizat de asemenea pentru prima dată în expresia pierderilor de presiune, exprimă situația

reală ce se creiază în conducta de transport în ceea ce privește densitatea particulelor sub influența vitezei de deplasare.

- Coeficientul pierderilor de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu pereții conductei λ_{mc} și cel al pierderilor de presiune datorită ciocnirii particulelor între ele λ_{mm} , vor fi determinate pe cale experimentală în cadrul unui coeficient global. Astfel, pentru prima dată va fi stabilită valoarea acestui coeficient și pentru materiale ce acelea folosite în fabricile de nutrețuri combinate și anume nutrețurile concentrate măcinate.

CAPITOLUL 2.

CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND DETERMINAREA VITEZEI PARTICULELOR DE NUTREȚ CONCENTRAT MĂCINAT, ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC, ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ

Viteza particulelor de material transportat, este unul din parametrii importanți ai transportului pneumatic, deoarece poate condiționa dimensionarea corectă a instalațiilor de transport sau alegerea unui regim economic de lucru.

Cu toate acestea, pînă în prezent, viteza particulelor ce se deplasează într-o conductă orizontală cu secțiune circulară constantă, rămîne încă una din problemele care nu au fost rezolvate satisfăcător. Acest lucru se reflectă atît în contradicțiile ipotezelor, cît și în rezultatele lucrărilor experimentale ale mai multor cercetători [7, 11, 15, 27, 31, 35, 49, 72, 73, 79, 90, 104, 111, 115, 121 și alții] care s-au ocupat de dinamica particulelor transportate pneumatic.

În urma studiului efectuat asupra acestor lucrări, autorul își propune să determine viteza particulelor de nutreț concentrat măcinate, utilizînd o metodă originală, bazată pe rezultatele încercărilor experimentale proprii, privind pierderile totale de presiune ce se produc la deplasarea acestor nutrețuri în conducta orizontală cu secțiune circulară.

Astfel, este cunoscut că în timpul transportului pneumatic într-o conductă orizontală, există o diferență între viteza curentului de aer și a particulelor de material, care provoacă frecării particule separat, sau norului de particule, o forță de frecare, datorită căreia sînt antrenate în mișcare în sensul de deplasare al aerului.

Pentru stabilirea ecuației mișcării particulelor de nutreț concentrat măcinat, în cadrul regimului stabilizat de transport pneumatic, autorul face următoarele ipoteze simplificatorii:

- conducta de transport este dreaptă, dispusă în plan orizontal și are secțiune circulară constantă;
- viteza curentului de aer în conducta de transport este constantă;
- toate particulele de nutreț concentrat măcinat se deplasează în plutire;
- prezența unui număr mare de particule de nutreț concentrat în interiorul conductei, nu influențează condițiile de coolire a acestora de către aerul de transport.

În aceste condiții se poate admite, că forța de frecare, care apare datorită diferenței de viteză între curentul de aer și particulele solide, are o expresie de forma:

$$F_{\text{fm}} = m_p \cdot g \left(\frac{v_a - v_p}{v_p} \right)^2 \quad (118)$$

Cunoscînd debitul de material care se introduce în conducta de transport, masa totală a particulelor existente la un moment dat într-un element de conductă cu lungimea Δl este:

$$m_p = \frac{Q_m \cdot \Delta l}{v_m} \quad (119)$$

Pierderile de presiune ce apar datorită frecării particulelor de material cu aerul, pot fi scrise în acest caz astfel:

$$\Delta P_{\text{fm}} = \frac{Q_m \cdot g}{\Delta \cdot v_m} \cdot \Delta l \left(\frac{v_a - v_p}{v_p} \right)^2 \quad (120)$$

Avind în vedere că într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, forța de antrenare a particulelor de material în direcția de deplasare a curentului de aer, trebuie să învingă rezistențele ce apar datorită frecării și ciocnirii particulelor între ele, se poate scrie:

$$\Delta P_{\text{aer}} = \Delta P - \Delta P_{\text{sc}} = \Delta P_{\text{sc}} + \Delta P_{\text{m}} \quad (121)$$

Intrucât valorile pierderilor totale de presiune și a pierderilor de presiune produse de frecarea aerului cu pereții conductei vor fi determinate pe cale experimentală, rezultă că utilizând relația (120) se poate calcula raportul vitezelor v_p/v_a folosind expresia:

$$\frac{\frac{v_p}{v_a}}{\left(1 - \frac{v_p}{v_a}\right)^2} = \frac{C_{\text{sc}} \cdot v_a \cdot g \cdot L}{(\Delta P - \Delta P_{\text{sc}})^2 \cdot v_p^2} \quad (122)$$

în care:

v_p - viteza de plutire a particulelor de material.

Pentru intervalul $\frac{d}{D} = 0$ la $\frac{d}{D} = 0,25$ folosit mai frecvent în transportul pneumatic, viteza de plutire a particulelor de material în conducta de transport se poate calcula cu suficientă aproximație cu relația dată de V.A. Uspenaki [114] verificată cu bune rezultate și de alți cercetători:

$$v_p = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g \cdot d}{\psi} \frac{\gamma_m}{\gamma_a} \left[1 - \left(\frac{D}{d}\right)^2\right]} \quad (123)$$

în care:

ψ - coeficient de presiune a aerului asupra particulelor de material sferice. Se determină în funcție de numărul lui Reynolds.

Relația (123) este valabilă pentru determinarea vitezei de plutire numai a particulelor de formă sferică. Pentru particule de altă formă, situație întâlnită la măcinatul de ore, șrotul de floarea soarelui, tărîțe și alte nutrețuri concentrate măcinate, trebuie să se ia în considerație diametrul

aferei echivalente și factorul de formă al particulei.

Diametrul aferei echivalente este:

$$d_{\text{ech}} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} V} \quad (124)$$

in care:

V - volumul unei particule de material.

Astfel ecuația vitezei de plutire pentru cazul general capătă forma:

$$v_p' = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\delta \cdot d_{\text{ech}}}{k_f} \frac{\sigma}{r_a} \left[1 - \left(\frac{d_{\text{ech}}}{D} \right)^2 \right]} \quad (125)$$

unde:

k_f - factorul de formă al particulei.

Mărimea factorului de formă k_f și a raportului $c = v_p/v_p'$ pentru particulele de material de diferite forme sînt prezentate în tabelul nr. 3

Tabel nr. 3

Forma corpului	k_f	c
- Sferă	1	1
- Forma rotunjită sau suprafață neregulată	2,5	0,64
- Corp alungit	3	0,57
- Placă	5	0,45

Analizînd ecuația (122) stabilită de autor pentru vitezele particulelor de nutreț concentrat măcinat, ce se deplasează într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, se poate constata că aceasta depinde de mărimea vitezei curentului de aer, de debitul de alimentare, de parametrii constructivi ai conductei și de viteza de plutire a particulelor.

Tendința de micșorare sub anumite limite a vitezei materialului, în scopul micșorării pierderilor de presiune, pentru obținerea unui randament cât mai bun al instalației de transport pneumatic, este limitată în cazul conductelor orizontale de fenomenul de depunere. Dacă se alege o viteză a parti-

culelor mai mare decât valoarea minimă pentru transportul prin plutire, atunci pe lângă funcționarea mecanică a instalației, apar și alte dezavantaje cum sînt: greutatea separării particulelor transportate de curentul de aer; uzura prematură a conductelor de transport etc.

Din această cauză este necesar să se determine viteza corespunzătoare a particulelor de nutreț concentrat măcinat, care să asigure transportul prin plutire dar cu un consum minim de energie, problemă ce va fi rezolvată de autor în cuprinsul acestei lucrări.

CAPITOLUL 3

CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND DETERMINAREA GRADULUI DE UTILIZARE A ENERGIEI, ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL NUTREȚELOR CONCENTRATE MĂCINATE, ÎNTR-O CONDUCTĂ ORIZZONTALĂ CU SECȚIUNE CIRCULARĂ

Consumul de energie al instalațiilor de transport pneumatic, reprezintă elementul determinant în alegerea soluției constructive și a regimului de funcționare a acestor instalații.

O apreciere obiectivă a unei instalații de transport pneumatic, sub aspectul consumului de energie, considerăm că se poate face prin intermediul gradului de utilizare a energiei η_u . Această noțiune, reprezintă raportul între capacitatea de antrenare a materialului în condițiile transportului pneumatic, pe lungimea unei conducte orizontale cu secțiune circulară constantă și puterea curentului de aer utilizat pentru transport, adică:

$$\eta_u = \frac{Q \cdot g \cdot L}{\Delta p \cdot A \cdot V_a} \quad (126)$$

Înlocuind în această relație valoarea pierderilor de presiune totale stabilită de autor cu ecuația (117) se obține:

$$\eta_u = \frac{Q \cdot G \cdot L}{P_1 \left[(1 - \sqrt{1 - \frac{\lambda_{m2}}{P_1} \frac{r_a v_a^2}{2g} \frac{L}{D}}) + (\lambda_{m2} + \lambda_{m3}) \frac{\rho_{air} v_a^2}{2} \frac{L}{D} \right] \cdot v_a} \quad (127)$$

în care:

L - lungimea conductei de transport, de la secțiunea de alimentare cu material, până la instalația de separare.

Analizând relația (127) stabilită de autor, rezultă că gradul de utilizare a energiei se îmbunătățește odată cu creșterea debitului de alimentare Q_m raportat la secțiunea conductei A . Dar cum într-o conductă de transport pneumatică, o dată cu creșterea debitului de material crește atât coeficientul λ_{m2} cât și λ_{m3} , iar viteza curentului de aer v_a trebuie mărită pentru a se asigura transportul, rezultă că, pentru fiecare secțiune de conductă există o valoare optimă atât pentru o anumită încărcare cu material a conductei cât și pentru o anumită putere a curentului de aer utilizat pentru transport.

Pentru determinarea efectivă a gradului de utilizare a energiei în cadrul instalației experimentale, se vor folosi datele încercărilor privind determinarea pierderilor totale de presiune, viteza curentului de aer precum și valorile reale ale debitului de material existent în conducta de transport. Legat de acest aspect, se poate face concluzia că o utilizare rațională a energiei curentului de aer, ceea ce caracterizează regimul optim de funcționare, se obține dacă alimentarea cu material a conductei este uniformă, iar viteza curentului de aer rămâne atât de mică, încât deplasarea nutrețului concentrat măcinat în conductă se face totuși în limitele transportului pneumatic.

CONCLUZII

Cercetările teoretice ale autorului privind stabilirea unei metode de calcul a pierderilor de presiune ce se produc

la deplasarea nutrețurilor concentrate măcinate în condițiile transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, determinarea vitezei particulelor de material în conducta de transport și determinarea gradului de utilizare a energiei utilizate în cadrul transportului pneumatic, au avut în evidență următoarele:

- Pentru calculul pierderilor de presiune produse de frecarea aerului cu pereții conductelor lungi înalțate în cadrul fabricilor de nutrețuri concentrate combinate, trebuie să se ia în considerație variația gradientului de presiune. Relația (69) stabilită de autor pentru calculul acestor pierderi exprimă în mod real fenomenul ce are loc în instalațiile de transport pneumatic cu conducte lungi, la surgerea curentului de aer.

- Având în vedere regimul de surgere a aerului în cadrul instalației experimentale pe care o utilizam, autorul adoptă pentru determinarea stabilității coeficientului de rezistență λ_{90} expresia (43) care a fost încercată cu bune rezultate și de alți cercetători.

- Pentru determinarea pierderilor de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de nutreț concentrat măcinat cu cerealele conductei orizontale, autorul a stabilit relația (95) considerând că aceste pierderi sunt influențate de debitul de material existent în conducta de transport, de numărul de ciocniri probabil al particulelor de material la parcurgerea unei anumite lungimi de conductă, de pierderile de viteză la fiecare ciocnire și de parametrii constructivi ai conductei de transport.

- Nutrețurile concentrate măcinate se prezintă sub forma unor particule cu dimensiuni ce variază de la 0,1 - 3 mm în timpul transportului pneumatic în conducta orizontală cu secțiune circulară, aceste particule de nutreț sunt antrenate în mișcare de curentul de aer cu viteză de deplasare diferite. Din această cauză, particulele se ciocnesc între ele producându-se o disipare a energiei lor cinetice.

Autorul considerând acest aspect, o particularitate a transportului pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate care nu a fost studiată pînă în prezent, a stabilit relația

(116) pentru calculul pierderilor de presiune cauzate de ciocnirea particulelor de material între ele.

- Ecuația (117) stabilită de autor, pentru determinarea mărimii pierderilor totale de presiune, are în componență termenii care țin seama de influența factorilor principali (ρ_1 , v_a , δ_a , ρ_{mv} , v_m , Δ , D , λ_{ac} , λ_{sc} , λ_{nm}) asupra acestor pierderi.

- Ecuația (122) stabilită de autor pentru determinarea vitezei particulelor de nutreț concentrat măcinat ce se deplasează într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, precizează că acest parametru depinde de viteza curentului de aer, de debitul de alimentare cu material, de parametrii conductei și de viteza de plutire a particulelor.

- Autorul propune ca aprecierea unei instalații de transport pneumatic sub aspectul consumului de energie să se facă prin intermediul gradului de utilizare al energiei η_g . În acest sens a stabilit ecuația (127) din care rezultă că pentru fiecare secțiune de conductă există o valoare optimă a acestui grad de utilizare a energiei, atât pentru o anumită încărcare cu material a conductei cât și pentru o anumită putere a curentului de aer utilizat pentru transport.

PARTEA III-a

CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL NUTREȚURILOR CONCENTRATE MACINATE,

ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ

CAPITOLUL 1

INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ

Inercările experimentale asupra procesului de transport pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta orizontală cu secțiune circulară, s-au efectuat pe o instalație concepută, proiectată și realizată de autor prin colaborare în cadrul laboratorului Catedrei de mașini agricole de la Facultatea de mecanică agricolă, din Timișoara.

Instalația experimentală (fig.15) este formată din următoarele părți:

- colectorul de aspirație (1), conducta inferioară de transport (2), tubul Pitot (3), micromanometrul (4), dispozitivul de alimentare (5), coșul de alimentare (6), vibratorul (7), motorul de acționare (8) al dispozitivului de alimentare, variatorul (9), cotul (10), conducta verticală de transport (13), clapeta (14), colectoarele (15), conducta de aspirație (16), eclusa (17), ventilatorul (18) și bateria de piesometre (19).

În scopul asigurării unei curgeri uniforme a curenților de aer în interiorul conductei de transport, profilul colectorului de aspirație (fig.16) a fost realizat după legea cota lui Bernoulli, relația curbei de profil fiind:

$$r^2 = a^2 \cos 2\alpha \quad (128)$$

în care:

$$a = (0,6 - 0,8)D$$

D - diametrul interior al conductei de transport (m).

Conducta de transport este formată din două transec-

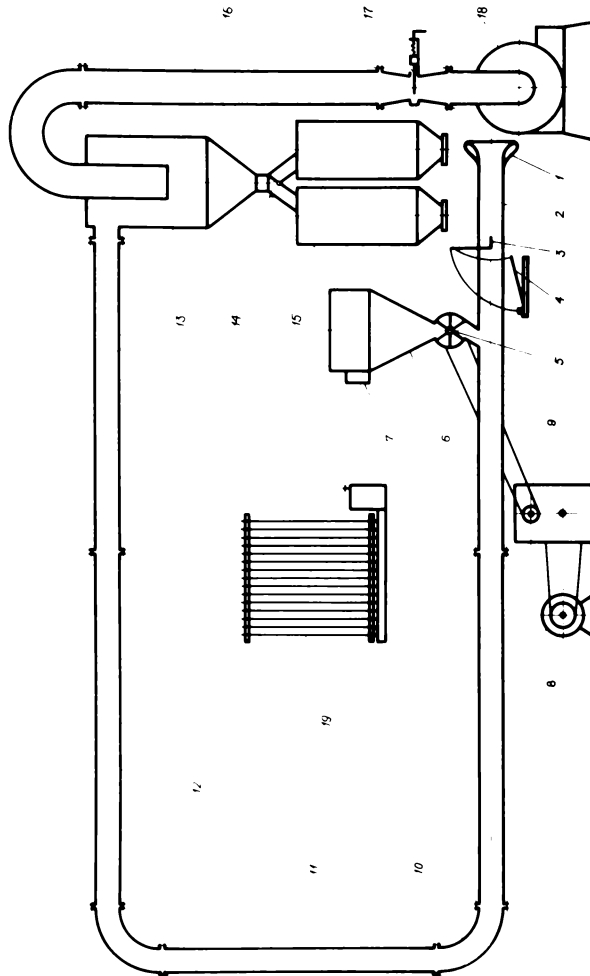


Fig.15. Schema instalației experimentale pentru transportul pneumatic al suspensiilor concentrate măginate

ne orizontale (2) și (12) cu lungimea de 15 m fiecare, un tronson de 2 m (11) dispus vertical și două coturi (10) de $\pi/2$ rad. Diametrul interior al conductei și coturilor este $D = 0,142$ m, fiind fabricată din laminate de oțel.

Îmbinarea tronșoanelor este făcută cu flanșe de etanșare și asigurată cu ajutorul unei substanțe de etanșare.

Pe tronșonul inferior al conductei, la distanța $l_1 = 12 D$ de la colectorul de aspirație este fixat tubul Pitot (3) pentru măsurarea sarcinii de stagnare.

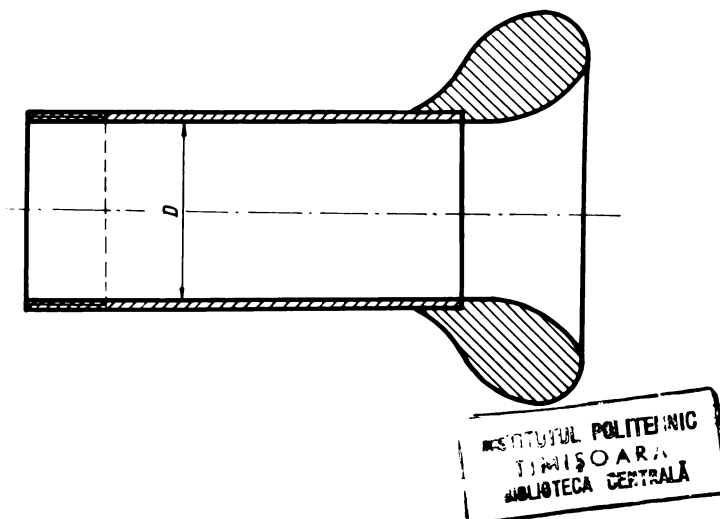


Fig.16. Schema colectorului de aspirație

Pentru determinarea vitezei medii a curentului de aer, în secțiunea de măsurare s-au realizat două prize, una la nivelul diametrului orizontal iar cealaltă pe diametrul vertical. La fiecare priză s-a montat câte un dispozitiv pentru deplasarea tubului Pitot de-a lungul diametrului, în scopul stabilirii vitezei curentului de aer.

Secțiunea de alimentare cu material a conductei, este practică la distanța $l_2 = 5 D$ de la secțiunea în care se fac măsurătorile pentru viteza curentului de aer.

Pe toată lungimea conductei de transport sînt mon-

tate din metru în metru prize pentru măsurarea presiunii statice. Într-o secțiune de măsurare (fig.17) sînt montate normal pe conducta (1) șase prize statice (2) conform schemei, decalate cu $\pi/3$ rad.

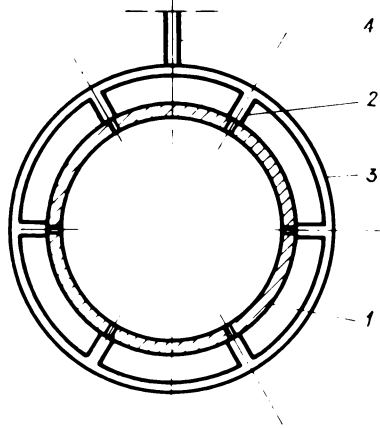


Fig.17. Schema secțiunii de colectare a presiunii statice medii

Prizele sînt legate la un inel colector (3) care prin intermediul unui tub de cauciuc (4) se leagă la bateria de piezometre (19).

Acest sistem de colectare a presiunii statice medii conduce la evitarea erorilor de măsurare cauzate de instalație.

Dispozitivul de alimentare (5) cu nutrețuri concentrate măcinată, a conductei de transport pneumatic, este format dintr-o carcasă prevăzută cu două degajări una în legătură cu coșul de alimentare iar cealaltă în legătură cu conducta, și un rotor cu paletă.

Rotorul este prevăzut cu șase paletă metalice care la extremități au prelungiri din cauciuc pentru etanșare cu carcasa. Diametrul exterior al paletelor este $D_e = 0,200$ m, diametrul interior $D_i = 0,040$ m iar lungimea activă a paletelor $l_a = 0,135$ m. Dispozitivul de alimentare este legat etanș cu conducta de transport pneumatic, printr-un tub de legătură montat înclinat

sub un unghi de $5 \pi/12$ rad. față de axa conductei în sensul de curgere a curentului de aer.

Rotorul dozatorului este acționat de la motorul electric (8) cu $P = 1,5$ kW și $\omega = 149$ rad/s (1430 rot/min) prin intermediul unui variator de turație cu curele trapezoidale și al unui reductor, sistem care a permis modificarea vitezei de rotație în mod continuu în limitele (0,52 - 4,6) rad/s (5 - 44 rot/min).

Coșul de alimentare (6) confecționat din tablă, are o formă tronconică cu unghiul de inclinare a părții inferioare de $5 \pi/12$ rad (75°) pentru a se asigura scurgerea normală a măcinșului către dispozitivul de alimentare.

Pentru evitarea formării bolților în masa materialului, în vederea asigurării uniformității de alimentare a conductei de transport, cerință deosebit de importantă pentru stabilirea cu exactitate a mărimilor ce sînt urmărite în timpul transportului pneumatic, pe coșul de alimentare s-a montat un vibrator (7).

Vibratorul (fig.18) este format din următoarele elemente: un redresor cu 15 plăci de seleniu (1), un transformator (2) cu $P_{abs} = 150$ W și un jug metalic (3) menținut într-o poziție de echilibru de către arcurile (4).

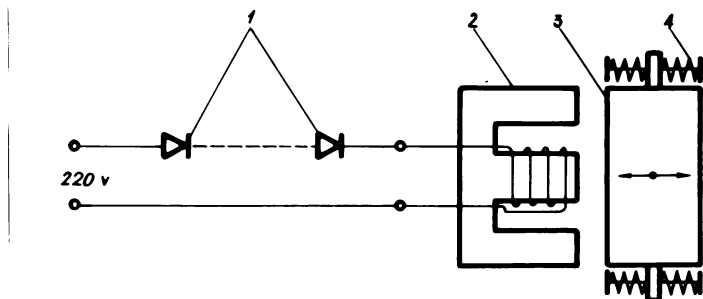


Fig.18. Schema vibratorului

În timpul funcționării, jugul (3) care este menținut pe coșul de alimentare îi imprimă acestuia vibrații care impie-

dică formarea de bolți și asigură curgerea uniformă a materialului către dispozitivul de alimentare.

Cicloul (13) destinat pentru separarea nutrețurilor concentrate măcinate de aerul de transport este prevăzut la partea inferioară cu două ramificații prin intermediul cărora se leagă cu colectoarele de material (15). Paleta (14) servește la dirijarea materialului către unul din cele două colectoare. Colectoarele sînt prevăzute la partea inferioară cu capace etanșe demontabile și jgheaburi pentru evacuarea materialului.

Conducta de aspirație (16) confecționată din tablă, are diametrul interior $D_1 = 0,300$ m, este prevăzută la partea superioară cu un cot de π rad. cu o rază de curbură $R_c = 3D_1$. Conducta face legătura între ciclou și orificiul de aspirație al ventilatorului. Pe conductă se află montată eolusa (17) pentru reglarea debitului de aer în conducta de transport.

Instalația de transport este echipată cu un ventilator de înaltă presiune (18) de tip monoaspirant model V-454/2 - F.P.V.S. cu debitul nominal $q_{m2} = 4000$ m³/h, sarcina nominală $H_n = 340$ mm/m², puterea electromotorului de acționare $P = 17$ kW cu $\omega = 314$ rad/s (3000 rot/min).

Bateria de piezometre (19) este formată dintr-un rezervor cu lichid colorat, pentru fotografierea bateriei, o conductă cu 38 ramificații, 38 de tuburi din oțelă recordate la ramificațiile conductei de lichid și la inelele de legătură ale prizelor de presiune statică prin intermediul unor tuburi de cauciuc. În timpul experiențelor, pentru fotografierea bateriei aceasta a fost iluminată continuu cu ajutorul a două lămpi electrice, fiecare avînd cîte 3 tuburi fluorescente de cîte 40 W.

Aparatul de fotografiat a fost fixat pe un cadru rigid în fața pensului cu bateria de piezometre. Pentru cîntărirea probelor în timpul experiențelor s-a folosit o balanță română de tipul Balanța Sibiu de 500 Kg - MBI-01/2.

CAPITOLUL 2

METODICA ÎNCERCĂRILOR

Cercetările experimentale efectuate de autor în scopul stabilirii regimului optim de transport pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducte orizontale cu secțiune circulară au cuprins; determinarea mărimii unor proprietăți fizico-mecanice ale nutrețurilor concentrate măcinate; determinarea debitului dosatorului de alimentare cu material a conductei de transport a instalației experimentale; determinarea profilului vitezei curentului de aer în conducta de transport; determinări ale pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu perețele conductei de transport și determinări ale pierderilor de presiune totale. În scopul obținerii unor date cât mai sigure și complete autorul a folosit o metodică a încercărilor originală.

2.1. Determinarea granulozității nutrețurilor concentrate măcinate

Pentru încercările experimentale au fost utilizate următoarele nutrețuri concentrate măcinate:

- porumb măcinat
- orz măcinat
- tărâțe
- șrot de floarea soarelui
- șrot de în
- șrot de soia

Aceste materiale au fost procurate de la Fabrica de nutrețuri combinate Beregsău jud. Timiș.

Cum obiectul acestei lucrări constă tocmai în studierea transportului pneumatic în conducte orizontale cu secțiune circulară a acestor materiale, au fost folosite nutrețuri concentrate măcinate din cadrul procesului tehnologic, adică cu proprietățile fizico-mecanice pe care le au în timpul fabricației.

Metoda de determinare a granulozității nutrețurilor concentrate măcinate se bazează pe stabilirea indicelui mediu

aritmetic al dimensiunilor particulelor de material.

Stătinarea acestui indice se face în funcție de raportul cantitativ dintre particulele de diferite dimensiuni.

Pentru încercări s-a folosit un dispozitiv (fig.19) care cuprinde următoarele elemente: batiul sitelor (1), sitele (2), mecanismul pentru transmisia mișcării (3), mecanismul de acționare (4).

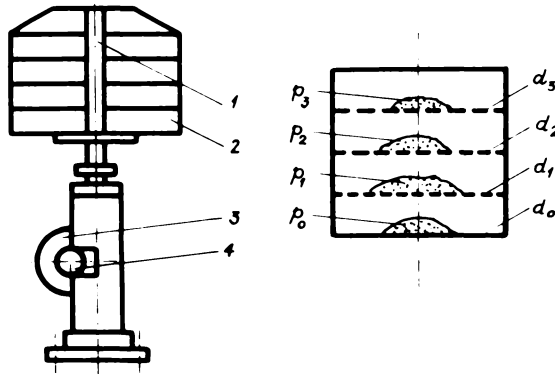


Fig.19. Schema dispozitivului pentru determinarea granulozității

Batiul (1) format din doi suportți laterali susține sitele (2) interschimbabile, cu orificii de diametre diferite. Sitele folosite au orificii cu diametrul $d_0 = 0$; $d_1 = 1$ mm; $d_2 = 2$ mm; $d_3 = 3$ mm.

Mecanismul de transmisie a mișcării (3) se ocupă de a transmite mișcarea imprimată de aceasta prin intermediul unui ax ghidat, batiului sitelor. Mecanismul de acționare este format dintr-o manivelă, pe al cărei ax se montează o cană cu patru proeminențe ce imprimă o mișcare de acționare batiului sitelor.

Pentru determinarea granulozității cu ajutorul acestui dispozitiv, s-a folosit următoarea metodă:

s-a colectat o probă de nutreț concentrat măcinat și s-a introdus în dispozitiv. S-a acționat mecanismul de transmitere a mișcării cu o viteză de 12,5 rad/s (120 rot/min) timp de 120 sec.

După cernere s-a colectat produsul rămas pe fiecare sită și s-a cântărit cu ajutorul unei balanțe de laborator.

Pentru a se micșora influența erorilor întâmplătoare asupra rezultatelor cântăririi, s-au efectuat pentru fiecare probă de material cîte 10 repetiții. Eroarea absolută a cântăririi a fost de 0,02.

Granulozitatea măcinăului a fost stabilită cu ajutorul relației:

$$\delta = \frac{c_1 P_0 + c_2 P_1 + c_3 P_2 + c_p P_3}{m} \quad (129)$$

în care:

P_0, P_1, P_2, P_3 - cantitățile de material rămase după cernere pe sitele respective (gr.);

c_1, c_2, c_3, c_p - coeficienți ce reprezintă indicii mediu aritmetic între diametrele orificiilor a două site consecutive;

m - masa unei probe = 100 gr.

Rezultatele obținute sînt trecute în tabelul nr.4

Tabelul nr.4

Nr. crt.	Denumirea materialului	P_0 gr	P_1 gr	P_2 gr	P_3 gr	δ
1.	Porumb măcinat	53,57	41,25	5,16	0,22	1,02
2.	Orz măcinat	54,42	35,46	8,60	2,50	1,07
3.	Tărițe	36,98	45,36	16,61	1,05	1,35
4.	Srot de in	68,22	25,55	5,17	1,06	0,89
5.	Srot de soia	40,74	38,55	17,24	3,47	1,34
6.	Srot de floarea soarelui	40,16	29,50	16,04	14,30	1,54

Din analiza acestui tabel se pot trage următoarele concluzii:

- Deși granulozitatea materialelor folosite în cadrul încercărilor experimentale este cuprinsă în limitele 0,89-1,54, totuși se poate constata că procentul particulelor < 1 mm variază în limitele 36,98 (tărițe) - 60,22 (grot de in), al particulelor cuprinse între 1 - 2 mm variază în limitele 25,55 (grot de in) la 41,25 (porumb măcinat); al particulelor cuprinse între 2 - 3 mm variază în limitele 5,16 (porumb măcinat) - 17,24 (grot de soia) și al particulelor > 3 mm variază în limitele 0,22 (porumb măcinat) - 14,30 (grot de floarea soarelui)

Rezultă că în timpul transportului pneumatic al diferitelor nutrețuri măcinate, în conducta de transport vor fi particule de dimensiuni diferite care pentru un anumit regim de funcționare se vor comporta în mod diferit. Din această cauză este necesar ca fenomenele ce au loc în conducta de transport să fie analizate global, stabilindu-se condițiile de funcționare optime pentru transportul pneumatic al unui amestec binar aer - particule solide - cu o astfel de compoziție.

2.2. Determinarea densității nutrețurilor concentrate măcinate, utilizate pentru încercările erozi- onale

Pentru determinarea densității relative a nutrețurilor concentrate măcinate s-a folosit metoda picnometrului, utilizându-se următoarea relație:

$$\rho_m = \frac{m}{m'} \rho'_m \quad (130)$$

în care:

ρ_m - densitatea relativă a materialului (Kg.m^{-3});

m - masa materialului (Kg);

m' - masa lichidului dislocuit (Kg.m^{-3}) la temperatura de $t^\circ\text{C}$.

În timpul determinărilor s-a folosit următorul utilaj și materiale:

- picnometru de 50 ml; creuset; balanță de laborator;

trusă de greutate; materialele a căror densitate relativă urmează să se determine și apă distilată cu temperatura de + 20°C.

Conform STAS 4500/1954 densitatea relativă a apei distilate, cu temperatura de + 20°C, în raport cu densitatea apei distilate (ρ'_m) cu temperatura de + 4°C este:

$$\rho_{a\ 20} = 0,99823 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Deoarece la balanțe sensibilitatea variază cu încălzirea, s-au efectuat cîntările necesare prin metoda lui Mendeleev (metoda sensibilității constante) adică metoda tarei constante. Astfel au fost utilizate pentru fiecare material cîte 10 probe a 10 gr fiecare.

Rezultatele cîntărilor s-au trecut în tabelul centralizator nr.6.

Pentru acuratețea determinărilor s-a efectuat calculul erorilor. Astfel pentru stabilirea erorii absolute a măsurătorii s-a procedat astfel:

S-a logaritmat expresia de bază (129) obținindu-se:

$$\ln \rho_m = \ln m - \ln m' + \ln \rho'_m \quad (131)$$

Derivată, această expresie devine:

$$\frac{d \rho_m}{\rho_m} = \frac{dm}{m} - \frac{dm'}{m'} \quad (132)$$

Erora relativă maximă este dată de suma erorilor relative parțiale luate în valoare absolută. Cum erorile absolute la determinarea masei materialului (Δm) și a lichidului ($\Delta m'$) sînt egale, rezultă:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_m} = \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) \Delta m \quad (133)$$

în care:

$\Delta \rho_m$ - eroarea absolută a măsurării densității relative.

Determinarea erorii absolute (Δm) s-a făcut astfel:

Pentru a micșora influența erorilor întâmplătoare asupra rezultatului măsurării, s-au cîntărit cele 10 probe pentru același material în condiții identice de temperatură și presiune. Valorile găsite pentru (m') s-au notat cu $m'_1 - m'_{10}$.

Valoarea cea mai probabilă s-a obținut făcînd valoarea medie (\bar{m}') a mărimilor individuale, adică:

$$\bar{m}' = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} m'_i}{10} \quad (134)$$

S-a stabilit apoi eroarea aparentă (v) a valorilor individuale:

$$v = m'_i - \bar{m}' \quad (135)$$

și s-a determinat eroarea medie pătratică cu ajutorul relației:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (m'_i - \bar{m}')^2}{(n - 1)}} \quad (136)$$

Precizia valorii probabile este caracterizată prin eroarea absolută a aparatului $\Delta m = \Delta m'$, stabilită în cazul erorilor distribuite normal (distribuția lui Gauss) cu ajutorul expresiei:

$$\Delta m = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (m'_i - \bar{m}')^2}{n(n - 1)}} \quad (137)$$

Rezultă că valoarea măsurării poate fi exprimată prin expresia:

$$m' = \bar{m}' \pm \Delta m \quad (138)$$

Determinarea erorii absolute a aparatului s-a făcut pentru un singur material (porumb măcinat) intrusit pentru restul materialelor valoarea ei se menține deoarece condițiile în care se execută măsurătorile sînt identice.

Detale obținute au fost trecute în tabelul nr.5.

Tabelul nr.5

Nr. ord.	m_i'	$v_i = m_i' - \bar{m}'$	$v_i^2 = (m_i' - \bar{m}')^2$
1.	7,210	- 0,020	0,0004
2.	7,300	+ 0,070	0,0049
3.	7,110	- 0,120	0,0144
4.	7,170	- 0,060	0,0036
5.	7,350	+ 0,120	0,0144
6.	7,130	- 0,100	0,0100
7.	7,320	+ 0,090	0,0081
8.	7,140	- 0,090	0,0081
9.	7,210	- 0,020	0,0004
10.	7,360	+ 0,130	0,0169
	$\bar{m}' = 7,230$	$v_i = \begin{cases} +0,410 \\ -0,410 \end{cases}$	$\sum v_i^2 = 0,0812$

- abaterea medie patratică:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = 0,099$$

- eroarea absolută a aparatului:

$$\Delta_m = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}} = 0,02$$

Rezultă ca valoarea reală a măsurării este:

$$m' = 7,230 \pm 0,02$$

În calcule, valoarea densității relative a fost luată cu trei zecimale pentru a corespunde gradului de precizie al determinărilor.

Paralel cu aceste determinări s-au făcut și cele privind umiditatea materialelor. Astfel au fost luate cîte 10 probe pentru fiecare material și utilizîndu-se metoda stovei s-a determinat umiditatea pentru cele 5 nutrețuri concentrate măcinate folosite pentru încercările experimentale. Rezultatele sînt trecute în tabelul centralizator nr.6. De asemenea, în același tabel sînt trecute și valorile densității relative.

Din analiza datelor conținute în acest tabel se poate constata că precizia măsurătorilor este satisfăcătoare, eroarea absolută $\Delta \rho$ fiind cuprinsă între $26 \cdot 10^{-4}$ - $6,6 \cdot 10^{-4}$, valori acceptabile pentru materialele studiate.

Astfel, aceste date pot fi folosite în proiectare, completîndu-se în acest fel golul existent în literatura de specialitate, cu privire la proprietățile nutrețurilor concentrate măcinate.

2.3. Determinarea coeficientului de frecare al nutrețurilor concentrate măcinate utilizate pentru încercările experimentale

În scopul determinării coeficientului de frecare dinamic autorul a conceput, proiectat și realizat un aparat a cărui schemă este prezentată în fig.20.

Aparatul se compune din următoarele părți: camera inelară (1) în care se așază proba de material a cărui coeficient de frecare urmează să fie determinat, discul (2) ce se rotește în plan orizontal confecționat din același material ca al conductelor de transport, față de care se stabilește coeficientul de frecare.

Tabellul nr.6

Pr. Denumirea mater. r.ialului	S	U %	m gr.	m gr.	S med gr/cm ³	$\frac{\Delta S}{S}$ 100%	Δp	S m med $\pm \Delta S$ gr/cm ³
1. Forumb mcinat	1,02	14,10	10,000	7,230	1,242	0,476	0,00066	1,342 \pm 0,00056
2. Srot de la	0,89	11,95	10,000	7,960	1,252	0,450	0,00056	1,252 \pm 0,00056
3. Srot de seia	1,34	12,70	10,000	6,020	1,246	0,440	0,00055	1,246 \pm 0,00055
4. Tărite	1,33	13,60	10,000	6,160	1,222	0,444	0,00053	1,222 \pm 0,00053
5. Srot de floarea soarelui	1,54	9,55	10,000	6,650	1,155	0,430	0,00049	1,155 \pm 0,00049
6. Ora mcinat	1,07	13,80	10,000	0,120	1,005	0,238	0,00026	1,005 \pm 0,00026

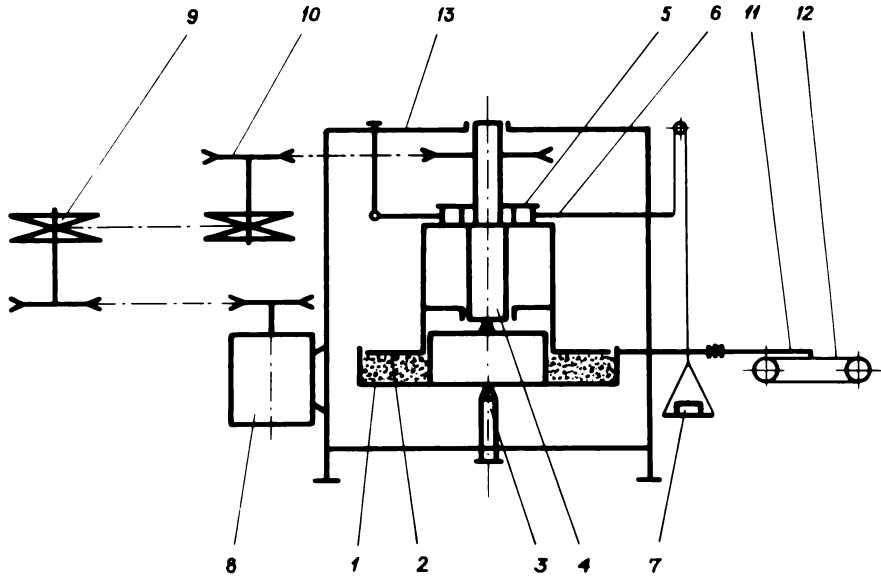


Fig.20. Schema aparatului pentru măsurarea coeficientului de frecare dinamic

Pentru a ușura rotirea camerei inelare în jurul axei adică pentru reducerea frecării, camera se sprijină prin intermediul a două prize, cea inferioară (3) având posibilitatea deplasării în plan vertical.

Discul (2) care acoperă camera inelară și vine în contact cu proba de material, se rotește odată cu axul (4) având posibilitatea de deplasare în plan vertical de-a lungul axei sale.

În vederea realizării a diferite presiuni specifice asupra probei de material, solidar cu discul (2) este fixată furca (5) în care se montează pârghia (6) ce se sprijină într-un capăt pe cadrul (13) iar în celălalt capăt se sprijină prin intermediul greutății (7).

Transmisia mișcării de rotație la axul (4) se rea-

lizează de la motorul (8) prin intermediul variatorului (9) și a transmisiei (10).

Variatorul permite obținerea a diferite vitezei de rotație a discului (2).

Aparatul este prevăzut cu un dinamograf (fig.21) pentru măsurarea și înregistrarea momentului de torsiune.

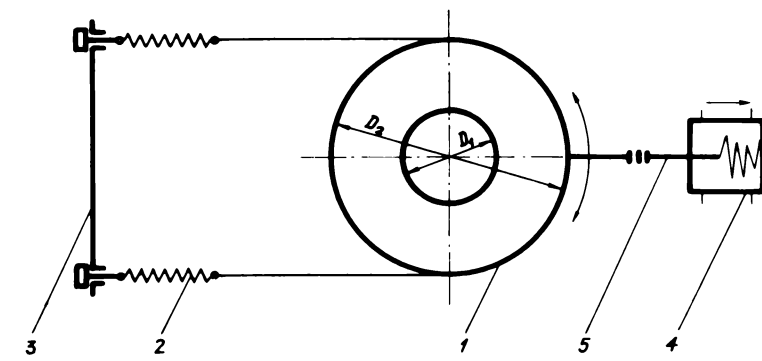


Fig.21. Schema dinamografului aparatului

Dinamograful aparatului constă din două arcuri tarate (2) fixate de camera inelară (1) și de cadrul (3) precum și mecanismul de înregistrare a momentului de torsiune a camerei inelare format din masa de înregistrare (4) și pârghia (5). Banda pe care se face înregistrarea se deplasează cu o viteză de $v = 25 \text{ mm/s}$.

În timpul rotirii discului orizontal al aparatului, camera inelară va fi sub acțiunea momentului de frecare (M_f) care apare între suprafața discului și proba de material și care îi va produce rotirea sub un unghi oarecare α , atît timp cît nu este echilibrat de tensiunea arcurilor.

Unghiul de rotire al camerei inelare, înregistrat la o anumită scară, se exprimă prin momentul de frecare căutat.

În vederea interpretării datelor ce se obțin cu acest aparat, s-a stabilit pe cale analitică expresia coeficientului de frecare dinamic, în funcție de parametrii constructivi și funcționali ai aparatului.

Considerând un element de suprafață al camerei în-lare (fig.22) $d\Omega$, delimitat de două arce de cerc de rază R și $r + dr$ precum și două raze vectoriale care formează unghiul θ și $\theta + d\theta$, expresia lui $d\Omega$ este:

$$d\Omega = R \cdot d\theta \cdot dr \quad (139)$$

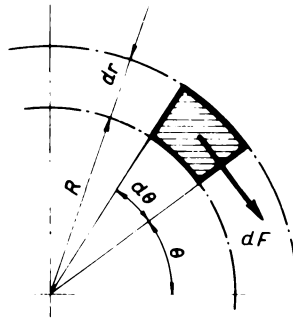


Fig.22. Schema elementului de suprafață

Asupra acestei suprafețe acționează forța elementară de frecare:

$$dF = p_0 \cdot f \cdot d\Omega \quad (140)$$

în care:

p - presiunea specifică ce se manifestă pe suprafața materialului;

f - coeficientul de frecare dinamic.

Momentul de frecare produs de această forță poate fi exprimat prin relația:

$$dM_f = dF \cdot R \quad (141)$$

Înlocuind pe dF cu valoarea stabilită cu expresia (140) se obține:

$$dM_x = p_0 \cdot f \cdot R^2 \cdot d\theta \cdot dr \quad (142)$$

de unde:

$$M_x = \iint p_0 \cdot f \cdot R^2 \cdot dr \cdot d\theta \quad (143)$$

Rezolvind această integrală dublă în limitele:

$$M_x = p_0 \cdot f \int_{R_1}^{R_2} R^2 dr \int_0^{2\pi} d\theta = p_0 \cdot f \cdot \frac{1}{3} (R_2^3 - R_1^3) 2\pi \quad (144)$$

se obține expresia momentului de frecare:

$$M_x = \frac{2 \pi f \cdot p_0}{3} (R_2^3 - R_1^3) \quad (145)$$

Cunoscând valoarea presiunii specifice, p_0 , forța normală elementală se poate scrie astfel:

$$dN = p_0 \cdot d\Omega = p_0 \cdot R \cdot dr \cdot \theta \quad (146)$$

de unde:

$$M = \iint p_0 \cdot R \cdot dr \cdot \theta \quad (147)$$

Rezolvind și această integrală dublă în aceleași limite se obține:

$$M = p_0 \int_{R_1}^{R_2} R \cdot dr \int_0^{2\pi} d\theta = \frac{p_0}{2} (R_2^2 - R_1^2) 2\pi = \pi p_0 (R_2^2 - R_1^2) \quad (148)$$

Este cunoscut că:

$$M_x = F \cdot R = f \cdot N \cdot R_m \quad (149)$$

în care:

R_m - raza medie a arii elementare.

$$R_M = \frac{M_f}{F \cdot R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi p_0 (R_2^3 - R_1^3)}{3\pi p_0 (R_2^2 - R_1^2)} = \frac{2}{3} \cdot \frac{(R_2^3 - R_1^3)}{(R_2^2 - R_1^2)} \quad (150)$$

Rezultă că coeficientul de frecare dinamic este:

$$f = \frac{M_f}{N \cdot R_M} = \frac{M_f}{N} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{(R_2^3 - R_1^3)} \quad (151)$$

Avînd în vedere că datele constructive ale camerei inelare în care se află proba de material sînt:

$R_1 = 105 \text{ mm}$ - raza interioară a camerei inelare;

$R_2 = 160 \text{ mm}$ - raza exterioară a camerei inelare

coeficientul de frecare dinamic se poate determina cu ajutorul expresiei:

$$f = 0,075 \frac{M_f}{N} \quad (152)$$

în care:

M_f - momentul de frecare (N.mm);

N - forța de greutate normală (N).

Analizînd relația (152) se poate constata că pentru determinarea coeficientului de frecare dinamic al probei de material pe discuș de oțel, trebuie să se stabilească mărimea momentului de frecare cu ajutorul dinamografului și mărimea forței normale.

În vederea determinării cu precizie a momentului de torsiune al camerei inelare, este necesar ca în prealabil să se execute etalonarea dinamografului.

În acest scop se atășează pe peretele camerei o sîrmă de oțel la capătul căreia prin intermediul unui talar se suspendă greutatea din 4,9 - 4,9 N. În acest fel momentul de torsiune efectiv apare egal cu greutatea de pe talar de înmulțit cu raza exterioară a camerei.

Acest mod de măsurare este exact deoarece el nu evidențiază pierderile prin frecare și jocurile din sistem și în acest fel permite să se determine eroarea părții de măsurare a forței.

Pentru a se obține o diagramă de tarare cât mai exactă operațiile de încărcare și descărcare a dinamometrului s-au repetat de trei ori. Rezultatele măsurătorilor sînt trecute în tabelul nr.7.

Cu ajutorul datelor măsurate s-a determinat scara medie a dinamografului λ_d . Pentru aceasta s-a calculat valoarea medie a ordonatei pentru fiecare încărcare și descărcare, adică:

$$h_{med_1} = \frac{h_{1_1} + h_{d_1}}{2} \quad (\text{mm}) \quad (153)$$

În acest caz valorile parțiale ale scării sînt:

$$d_1 = \frac{F_1}{h_{med_1}} \dots d_n = \frac{F_n}{h_{med_n}} \quad (\text{N/mm}) \quad (154)$$

Iar valoarea medie a scării pentru toată diagrama este:

$$\lambda_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \lambda_{d_i}}{n} \quad (\text{N/mm}) \quad (155)$$

După stabilirea scării dinamografului s-a calculat eroarea absolută ΔF și eroarea relativă ε a aparatului cu relațiile:

$$\Delta F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_i}{n} \quad (\text{N}) \quad (156)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i}{n} \quad (\%) \quad (157)$$

în care:

Tabelul nr.2

Nr. Seriale crist.	\bar{F} (N)	Inaltimea h (mm)						ΔF_1 (N)	ΔF_2 (N)	ΔF (N)	λd (N/mm)	Inaltimea plasei medie h_{med} (mm)	ϵ_1 %	ϵ %
		Incarcare P_1 (mm)												
		1	2	3	1	2	3							
1.	4,9	5	5,1	5,1	5,2	5,2	5	0,094	0,093	0,093	0,945	5,1	0,390	0,603
2.	9,8	9,7	9,5	9,5	9,6	9,7	9,6	0,097	0,093	0,093	0,945	9,6	0,520	0,603
3.	14,7	15,5	15,7	15,7	15,4	15,3	15,4	0,094	0,093	0,093	0,945	15,5	0,645	0,603
4.	19,6	20,2	20,4	20,3	20,5	20,1	20,3	0,141	0,093	0,093	0,945	20,3	0,745	0,603
5.	24,5	26,3	26,2	26,7	26,7	26,7	26,4	0,094	0,093	0,093	0,945	26,5	0,565	0,603
6.	29,4	32,1	32,5	32,4	32,5	32,4	32,5	0,094	0,093	0,093	0,945	32,4	0,465	0,603
7.	34,3	37,1	37	36,9	36,8	37,4	37	0,094	0,093	0,093	0,945	37	0,405	0,603

$$\Delta F_1 = \frac{\lambda_d(h_{11} - h_{d1})}{2} \quad (N) \quad (158)$$

și:

$$\varepsilon_1 = \frac{h_{11} - h_{d1}}{h_{11} + h_{d1}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (159)$$

Cum se poate constata din tabelul nr.7, cea mai mare eroare a fost obținută la încărcarea minimă a dinamografului iar cea mai mică, la cea mai mare solicitare. Acest lucru este obișnuit la dinamografele cu arc. Eroarea medie este însă pe deplin acceptabilă.

Cu ajutorul datelor calculate s-a trasat curba de tarare (fig.23).

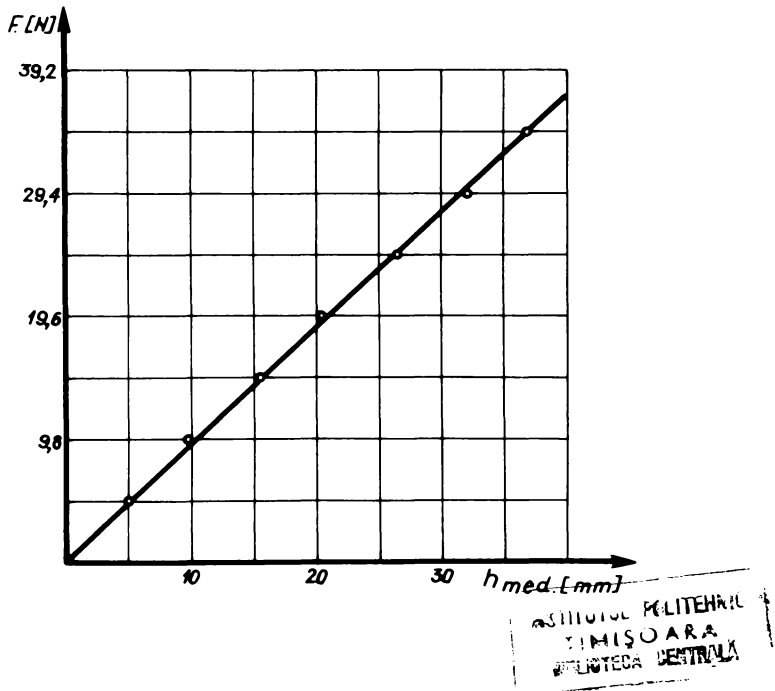


Fig.23. Diagram de tarare a dinamografului

Trebuie remarcat că dependența forței de încărcare

de înălțimea medie a diagramei se așază pe o linie dreaptă, ceea ce atestă perfecțiunea dinamografului în limitele în care a fost tarat.

Pentru efectuarea încercărilor s-a folosit următoarea metodă:

- S-a așezat proba de material în camera înclăsată a aparatului. Apoi s-a plasat discul sub greutatea proprie pe suprafața probei. S-a obținut astfel o presiune specifică $2 \cdot 10^{-1}$ N/cm². S-a imprimat o anumită viteză de rotație discului și apoi s-au pus în funcțiune banda de înregistrare. Fiecare experiență a durat 10 sec, având în vedere că banda de înregistrare s-a deplasat cu 25 mm/s.

După experiență, diagrama trasată (fig.24) a fost prelucrată prin metoda virfurilor maxime și minime, determinându-se

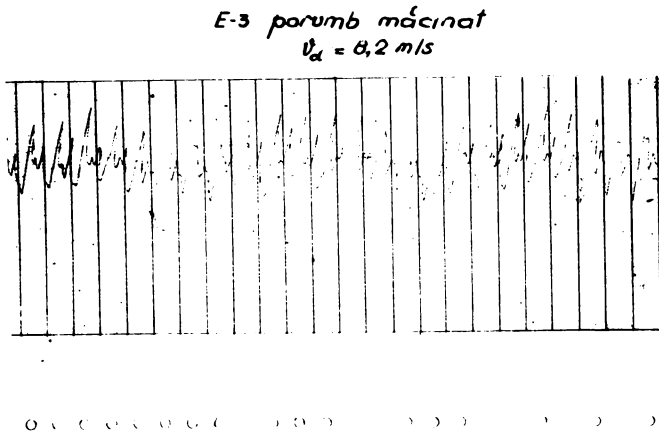


Fig.24. Diagrama trasată pentru porumb măcinat

coordonata de deviere a dispozitivului de înregistrare. Apoi cu ajutorul diagramei de tarare s-a stabilit valoarea momentului de frecare. Utilizându-se apoi relația (152) s-a determinat coeficientul de frecare. Pentru fiecare probă de material s-au efectuat 10 repetiții.

Avind în vedere că coeficientul de frecare se schimbă sub influența a numeroși factori ca: viteza, umiditatea, starea suprafeței de contact, factori atmosferici etc. s-a căutat în timpul experiențelor să se asigure influența constantă a tuturor factorilor cu excepția vitezei de rotație a discului, în raport cu care s-a studiat variația coeficientului de frecare. Astfel s-au făcut determinări pentru următoarele viteze de rotație a discului: 1,4; 1,63; 2,02; 2,42; 2,85; 3,25; 3,7; 4,5; 6,1; 8,2; 10,5; 12,7; și 15 m/s.

Încercările experimentale efectuate la viteze mai mari de 15 m/s au scos în evidență că o dată cu creșterea vitezei, variația coeficientului de frecare este neînsemnată. Ca stare s-a ales ca limită superioară pentru încercări viteze de 15 m/s.

În timpul experiențelor, materialele au avut următoarele umidități:

- porumb măcinat	- U = 14,10%
- orz măcinat	- U = 13,80%
- țărițe	- U = 13,60%
- șrot de soia	- U = 12,70%
- șrot de în	- U = 11,95%
- șrot de floarea soarelui	- U = 9,55%

Pentru a respecta condițiile de frecare din interiorul conductei de transport, discul aparatului experimental a fost prelucrat, avind suprafața perfect netedă.

Factorii atmosferici, ai căror valori au fost luate de la Stațiunea meteorologică Timișoara, au fost la data în care s-au efectuat încercările:

- presiunea atmosferică	$p_a = 762,8$ mm.ccl.Hg.
- umiditatea aerului	$U_a = 58\%$

Datele obținute în aceste condiții, pentru variația vitezei discului, au fost prelucrate după metoda expusă, valorile rezultate fiind materializate în diagramele din fig. 25 și 26.

Trebuie menționat faptul că astfel de date cu

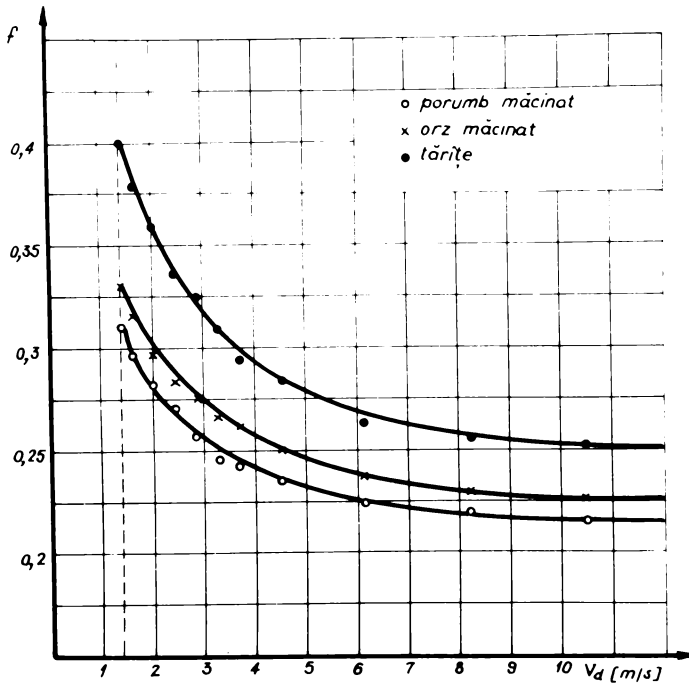


Fig.25. Diagrama de variație a coeficientului de frecare în funcție de viteză, pentru porumb, orz măcinat și tărîțe

privire la coeficientul de frecare al nutrețurilor concentrate măcinate, lipsește din literatura de specialitate. Considerăm că deși s-a studiat variația acestui coeficient numai în raport cu viteza, aceste date, având în vedere că s-au stabilit pentru materialele utilizate în nou curent în fabricile de nutrețuri concentrate combinate, cu umiditatea pe care o au în timpul procesului de fabricație - constituie elemente importante în procesul de proiectare al instalațiilor de transport pneumatic, elemente care pînă în prezent lipseau.

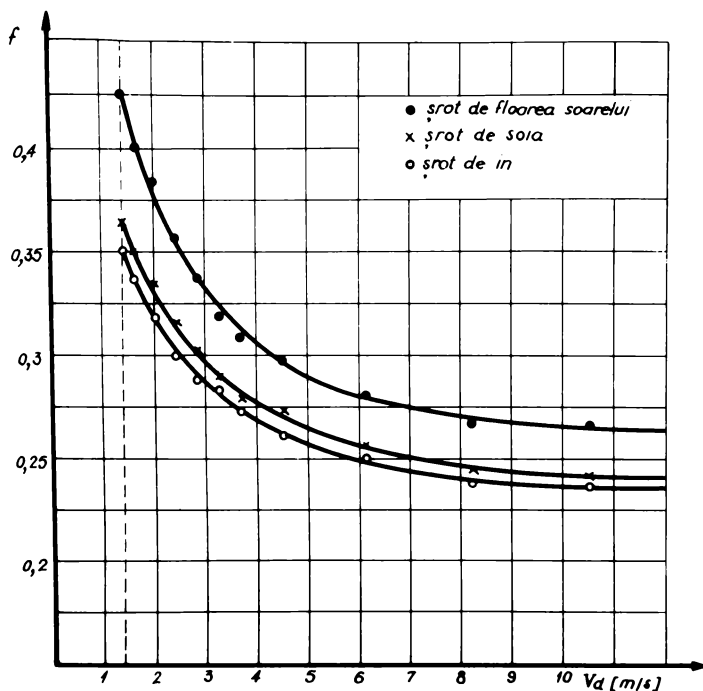


Fig.26. Diagrama de variație a coeficientului de frecare în funcție de viteză, pentru șrot de in, șrot de soia și șrot de floarea soarelui

Analizând diagramele din fig.25 și 26 se poate constata că în domeniul $v_d = 1,4 - 8,2$ m/s, coeficientul de frecare pentru aceste materiale are o variație însemnată. În continuare pentru $v_d > 8,2$ m/s această variație devine foarte mică ceea ce ne permite să considerăm că în timpul transportului pneumatic adică atunci cînd viteza materialului > 15 m/s, variația coeficientului de frecare este neînsemnată, stabilindu-se în limitele $f = 0,21300$ pentru porumb năcinat și $f = 0,20520$ pentru șrotul de floarea soarelui, valori ce vor fi luate în

considerație în aprecierea pierderilor de presiune în conductele orizontale cu secțiune circulară.

2.4. Determinarea debitului dozatorului de alimentare a conductei de transport

Dozatorul cu tambur utilizat în cadrul instalației experimentale are două funcțiuni: aceea de a menține diferența de presiune între interiorul conductei și spațiul de unde se încarcă materialul și aceea de a doza materialul introdus în conducta de transport. Dozatorul cu tambur de tipul cu palete, realizează o dozare uniformă a materialului și distribuția lui în conducta de transport cu un debit constant - condiție deosebit de importantă pentru exactitatea experiențelor - numai într-un anumit domeniu al vitezelor de rotație a tamburului.

Acest domeniu corespunde variației liniare a debitului în funcție de viteza de rotație a tamburului.

În cadrul experiențelor pentru ridicarea caracteristicilor de debit a dozatorului s-au folosit probe de 300 kg din fiecare nutreț concentrat măcinat. Au fost efectuate cîte cinci repetiții pentru fiecare viteză de rotație a tamburului în domeniul $\omega = 0,52 - 4,6 \text{ rad/s}$ ($5 - 44 \text{ rot/min}$). S-a cronometrat timpul în care probe de material a trecut prin dozator.

Datele obținute au fost prelucrate și sînt prezentate în diagrama din fig.27.

Ecuația dreptelor de ajustare a distribuțiilor experimentale obținute, s-a stabilit prin metoda celor mai mici pătrate. Trebuie menționat că a fost folosit numai domeniul de funcționare al dozatorului pentru care $\dot{m} = f(\omega)$ are o variație liniară.

Considerînd dreptele de variație de forma $y = ax + b$ parametrii reali a și b au fost determinați cu relațiile:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (160)$$

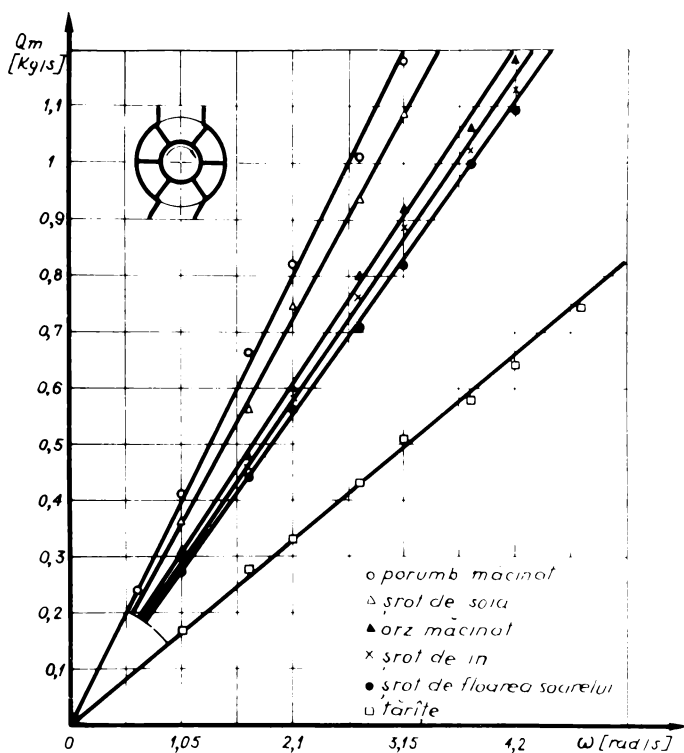


Fig.27. Diagrama de variație $Q_m = f(\omega)$ a dozatorului

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (161)$$

în care:

x_1, y_1 - coordonatele punctelor obținute pe cale experimentală;

\bar{x}, \bar{y} - media aritmetică a coordonatelor

Astfel au fost obținute pentru cele șase materiale utilizate la încercări, următoarele drepte de ajustare:

- porumb măcinat; $y = 4 \cdot 10^{-3}x + 2 \cdot 10^{-2}$

- șrot de soia; $y = 3,6 \cdot 10^{-3}x + 13 \cdot 10^{-3}$
- orez măcinat; $y = 5 \cdot 10^{-3}x + 4 \cdot 10^{-3}$
- șrot de in; $y = 2,8 \cdot 10^{-3}x + 18 \cdot 10^{-3}$
- șrot de floarea soarelui; $y = 2,7 \cdot 10^{-3}x + 11 \cdot 10^{-3}$
- tărâțe; $y = 1,6 \cdot 10^{-3}x + 17 \cdot 10^{-3}$

2.5. Determinarea profilului vitezei curentului de aer în conducta cu secțiune circulară

Profilul vitezei curentului de aer în conducta de transport pneumatic, s-a determinat cu ajutorul unui tub Pitot pe două diametre perpendiculare, orizontal și vertical, în puncte situate din 5 în 5 mm.

Pentru o precizie mai mare a măsurătorilor, tubul Pitot s-a deplasat de două ori pe un diametru, făcându-se câte două citiri pentru fiecare punct. Rezultă că valoarea vitezei curentului de aer la o anumită distanță de axa conductei s-a stabilit ca medie a opt valori măsurate separat.

S-au efectuat măsurători pentru viteza medie a curentului de aer în limitele $v_g = 14 - 32$ m/s, domeniu în care de fapt se realizează transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate.

Variația vitezei curentului de aer în funcție de distanța y de la pereții inferior ai conductei este prezentată în fig.28.

Pentru domeniul în care s-au făcut măsurătorile variația curentului de aer în secțiunea transversală a conductei se poate exprima prin legea exponențială:

$$\frac{v_{loc}}{v_{a \max}} = \left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} \quad (162)$$

în care:

- v_{loc} - viteză locală a curentului de aer ($m \cdot s^{-1}$);
- $v_{a \max}$ - viteză maximă a curentului de aer ($m \cdot s^{-1}$);

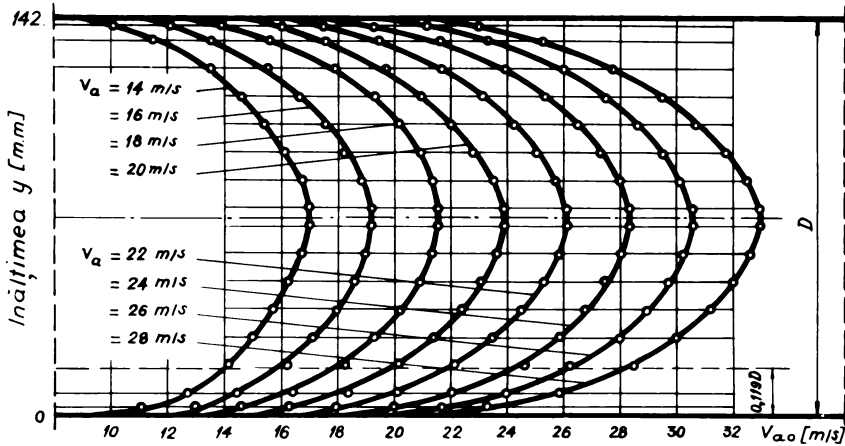


Fig.28. Profilele vitezelor într-o conductă orizontală
cu $D = 142$ mm

y - distanța de la peretele inferior al conductei (m);
 R - raza conductei (m).

Măsurătorile făcute de autor asupra variației vitezei curentului de aer în secțiunea conductei de transport, verificate cu relația (162) pentru valoarea coeficientului $n = 7$, au confirmat că punctele sînt bine plasate respectînd legea exponențială.

Valoarea vitezei medii în secțiunea transversală este egală cu viteza locală a curentului de aer măsurată la distanța de $0,119 D$ de peretele conductei.

Analizînd profilul vitezelor obținut în urma măsurătorilor, se poate constata că în apropierea pereților conductei, viteza locală are o valoare mai redusă decît în centrul conductei. Acest lucru influențează în mod negativ repartizarea particulelor de material în secțiunea transversală a conductei, producînd la valori scăzute ale vitezei, depuneri pe pereții

inferior. In cazul nutrețurilor concentrate măcinate, la viteze de transport pneumatic, acest efect este mai redus dar trebuie să se țină seama de el în prelucrarea datelor.

2.6. Determinarea pierderilor de presiune în conducta de transport pneumatic

În baza ipotezelor teoretice făcute asupra fenomenului de transport pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, autorul a stabilit ecuația (117) care permite determinarea pierderilor totale de presiune în timpul procesului de transport. Această ecuație conține două grupuri de termeni, una reedă pierderile de presiune cauzate de circulația curentului de aer prin conducta de transport (Δp_{ao}) și celălalt format din clemente care determină pierderile de presiune produse prin deplasarea materialului în timpul transportului pneumatic prin conductă (Δp_{no} și Δp_{mv}).

În vederea determinării acestor două fracțiuni, s-a procedat la efectuarea stabilirii pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei (Δp_{ao}) și a pierderilor totale (Δp), pierderile produse de prezența particulelor de nutreț concentrat măcinat în conductă, rezultând că diferența acestor două mărimi. Această metodă este impusă de faptul că în prezent nu se cunoaște o metodă practică pentru determinarea separată a pierderilor de presiune produse de particulele de material în timpul transportului pneumatic prin conducte orizontale cu secțiune circulară. În baza datelor experimentale ce se vor obține se vor verifica relațiile analitice stabilite de autor, determinându-se astfel domeniul lor de valabilitate.

2.6.1. Determinarea pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei

Pierderile de presiune cauzate de frecarea aerului curat cu pereții conductei, pot fi determinate în cadrul func-

ționării instalației experimentale în gol.

Pentru încercări s-a folosit următoarea metodă:

S-a fixat tubul Pitot la 0,119 D distanță de la perețele inferior al conductei, corespunzător vitezei medii a curentului de aer în secțiunea conductei la distanța $l_1 = 12 D$ de la colectarul de aspirație. Tubul manometricului a fost fixat la o înclinare $i = 1/5$ ceea ce a permis ca citirile nivelului lichidului în tub să se facă cu o eroare de celă de 0,2 mm coloană lichid, eroarea fiind admisibilă pentru domeniul valorilor citite.

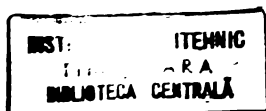
Au fost stabiliți parametrii de stare ai aerului, măsurându-se temperatura cu ajutorul unui termometru înaintea fiecărei experiențe precum și umiditatea relativă cu ajutorul unui psihrometru ASIMM. Valorile presiunii barometrice au fost luate de la Stațiunea meteorologică Timișoara. S-a reglat viteza medie a curentului de aer la valoarea indicată. S-au făcut măsurători pentru $v_g = 10 - 32$ m/s din 2 în 2 m/s. Pentru stabilirea exactă a valorilor vitezelor aerului în secțiunea de măsurare, s-au făcut câte 5 citiri ale nivelului lichidului în tubul micrometricului, viteza curentului de aer fiind media celor 5 citiri ale sasinii de staționare.

Pentru determinarea pe cale experimentală a pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu perețele conductei s-a măsurat din metru în metru prin efectuarea a câte trei fotografii a panoului cu piezometre, pentru o singură valoare a curentului de aer, pierderile de presiune din conducta de transport orizontală (1) a instalației experimentale. O astfel de fotografie este prezentată în fig.29.

Nivelul lichidului din fiecare piezometru s-a citit ulterior prin proiectarea filmului pe un ecran liniat, ceea ce permis efectuarea citirilor cu o precizie de 0,2 mm coloană apă. Pentru fiecare punct de măsurare a pierderilor de presiune, valoarea acestora a rezultat din media celor trei citiri a fotografiilor, panoului cu piezometre.

Datele experimentale prelucrate sînt prezentate în fig.30.

În această figură, prin linie continuă au fost prezentate pierderile specifice de presiune în funcție de viteza



medie a curentului de aer calculate cu relația (69) stabilită de autor, iar prin puncte s-au reprezentat detale încercărilor experimentale.

Se poate constata o perfectă concordanță a valorilor măsurătorilor experimentale cu valorile calculate. Acest lucru atestă că ipoteza făcută de autor cu privire la influența variației gradientului de presiune asupra pierderilor de presiune are un suport real. Cu atare relația (69) permite

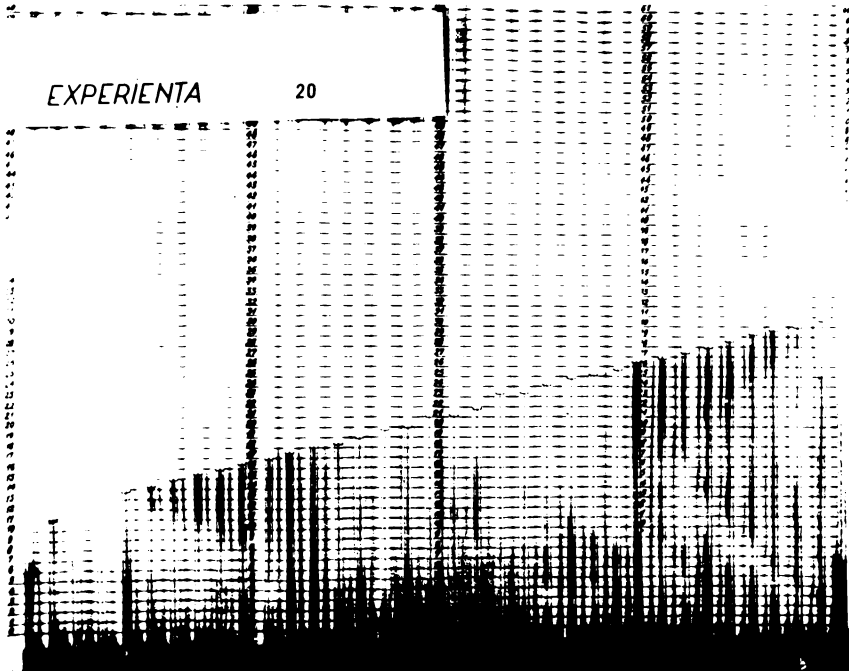
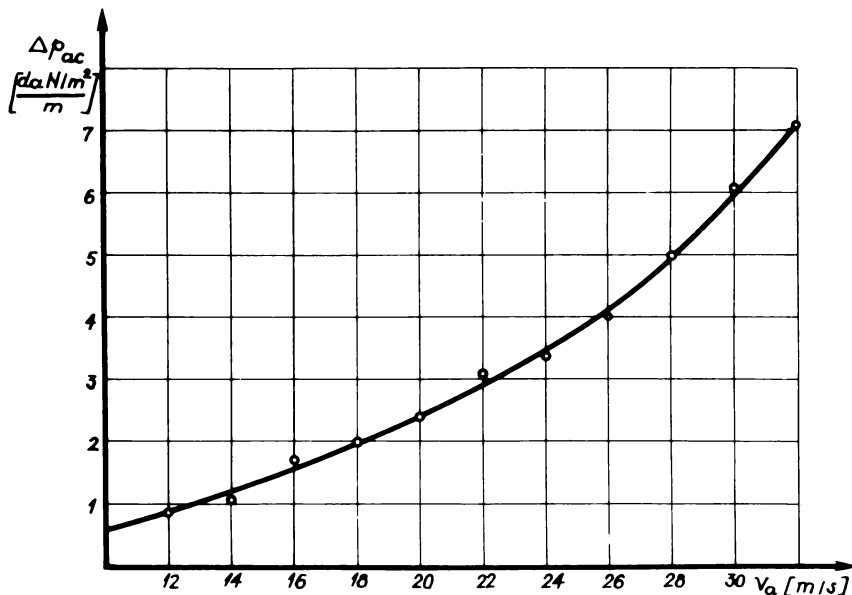


Fig.29. Aparatul cu piezometre, în timpul unor experimente pentru determinarea pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu peretele conductei

stabilirea cu exactitate a pierderilor de presiune cauzate de frecarea aerului cu peretele conductei orizontale cu secțiunea circulară și se impune pentru a fi utilizată în calculul instalațiilor de transport pneumatic.

Valoarea coeficientului λ_{ac} se determină cu ajutorul relației lui Nicuradze (43), aceasta dând satisfacție



**Fig. 30. Pierderile specifice de presiune datorită
frecării curențului de aer cu pereții con-
ductei**

pentru regimul de curgere utilizat în cazul transportului pneu-
matic.

**2.6.2. Influența diametrului conductei D , asupra
pierderilor specifice de presiune datori-
tă curențului de aer**

Este cunoscut că pierderile specifice de presiune,
cauzate de frecarea aerului cu pereții conductei de transport,
reprezintă o parte însemnată din pierderile totale de presiune,
în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale.

Se impune deci să se analizeze influența diferiților factori asupra acestor pierderi în vederea găsirii unui regim corespunzător de funcționare a instalației de transport.

Pentru a pune în evidență influența diametrului conductei asupra pierderilor specifice de presiune s-a trasat diagrama din fig.31 pentru $v_g = 20 \text{ m/s}$.

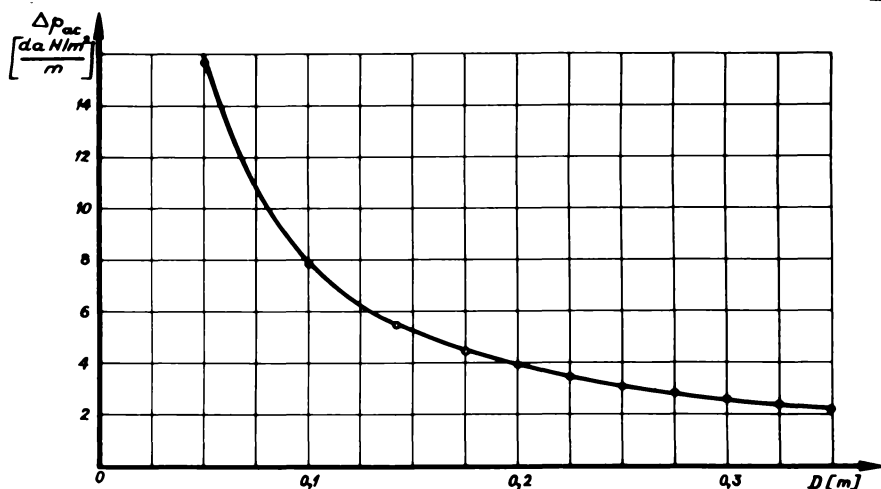


Fig.31. Variația pierderilor specifice de presiune în funcție de diametrul conductei de transport

Din analiza acestei diagrame rezultă că o dată cu creșterea diametrului conductei scade valoarea pierderilor specifice de presiune, mai evident în domeniul $D = 0,05 - 0,142 \text{ m}$. În continuare scăderea nu mai este atât de accentuată.

Sub acest aspect, reiese că pentru a avea valori cât mai reduse ale pierderilor specifice de presiune, ar fi indicat să se aleagă o conductă cu un diametru cât mai mare. Dar în cazul utilizării conductei cu diametru mare, pentru a putea fi asigurat procesul de transport pneumatic normal, adică pen-

tru a se putea realiza antrenarea particulelor de material, este necesară o valoare mai ridicată pentru viteza curentului de aer. Din această cauză alegerea diametrului D al conductei de transport se face în raport și cu alți factori cum ar fi diametrul particulelor de material d și concentrația gravimetrică μ_g .

2.6.3. Determinarea pierderilor totale de presiune, în conducta orizontală cu secțiune circulară

Pierderile de presiune totale ce se produc într-o conductă în timpul transportului pneumatic pot fi determinate în cazul funcționării instalației în sarcină adică atunci cînd amestecul aer-particule solide se deplasează în interiorul ei.

Metodica încercărilor în acest caz a constat în următoarele operații:

- S-a așezat tubul Pitot la distanța $0,119 D$ de la pereții conductei, avînd în vedere că această poziție corespunde vitezei medii a curentului de aer în secțiunea conductei. Tubul manometrului a fost fixat la o înclinare $i = 1/5$ pentru ca eroarea de 1 mm la citirea nivelului lichidului să corespundă la o eroare de cotă de $0,2$ mm coloană lichid.

- Au fost stabiliți parametrii de stare ai aerului la fel ca la determinările anterioare.

Pentru încercări au fost folosite măcinături de porumb, orz, șrot de soia, șrot de in, șrot de floarea soarelui și tărițe.

Debitele de alimentare a conductei de transport au fost $Q_m = 0,4$ kg/s; $0,6$ kg/s; $0,8$ kg/s și $1,2$ kg/s. Aceste debite au fost astfel alese încît să corespundă debitelor morilor cu ciocane folosite mai frecvent în cadrul fabricilor de nutrețuri concentrate combinate MC-3 și MC-5.

Pentru fiecare din aceste debite, corespunzător celor șase materiale folosite pentru încercări, au fost stabilite pierderile de presiune pentru șase trepte de viteză a curentului de aer în conducta de transport, în limitele $v_g = 14$

m/s - $v_a = 32$ m/s din doi in doi metri.

Astfel, s-a reglat viteza medie v_a a curentului de aer la valoarea corespunzătoare experienței, valoare rezultată din media a 10 citiri a presiunii de stagnare cu ajutorul micromanometrului și apoi s-a reglat turatia dispozitivului de alimentare pentru debitul stabilit. In vederea determinării debitului real al experienței, s-a colectat timp de 60 sec. materialul transportat prin instalație și apoi s-a cîntărit.

Se menționează faptul că a fost evitată trecerea repetată de mai multe ori a aceleiași cantități de material prin conducte de transport, intrucît această situație conduce la distrugerea particulelor de material care bineînțeles ar fi influențat exactitatea măsurătorilor.

După ce s-a ajuns la un regim de funcționare corespunzător s-au făcut cîte trei fotografii ale bateriei de piezometre in cadrul unei experiențe. O astfel de fotografie este prezentată in fig.32.

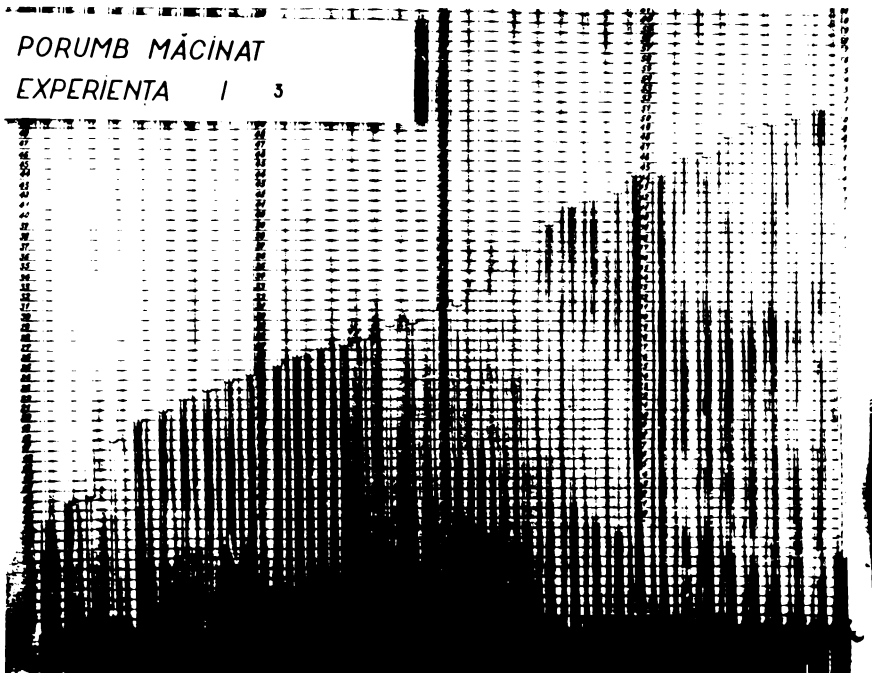


Fig.32. Panoul cu piezometre in timpul determinării pierderilor totale de presiune

După efectuarea fiecărei experiențe, înainte de stabilirea unui nou regim de funcționare, instalația experimentală a funcționat un timp în gol pentru a se curăți, verificându-se totodată dacă prizele pentru măsurarea presiunii statice nu s-au infundat.

Nivelul lichidului în fiecare piezometru s-a citit ulterior prin proiectarea filmului pe ecran liniat, care a permis citirea nivelului cu o eroare de 0,2 mm.

Pierderile totale de presiune între două secțiuni ale conductei de transport situate la o anumită distanță determinată s-a stabilit ca media diferenței nivelelor piezometrelor corespunzătoare la trei citiri. Rezultatele prelucrate au fost materializate în diagramele prezentate în următoarele capitole.

Din relația (117) stabilită de autor pentru calculul pierderilor de presiune totale într-o conductă orizontală, rectilinie, cu secțiune circulară, se poate constata că mărirea acestor pierderi este influențată de lungimea conductei de transport L , de debitul de alimentare cu material a conductei Q_m , de viteza medie a curentului de aer v_m precum și de diametrul conductei D . Pentru a determina sensul acestor influențe, vor fi analizate în continuare, în mod separat, utilizându-se în acest sens rezultatele încercărilor experimentale.

2.6.4. Influența lunginii conductei de transport, asupra pierderilor de presiune totale

În baza datelor obținute în cadrul încercărilor experimentale privind pierderile de presiune totale, într-o conductă orizontală, s-au trasat diagramele de variație $\Delta p = f(L)$ pentru o conductă cu $D = 142$ mm, la diferite valori ale vitezei medii a curentului de aer și pentru diferite debite de alimentare.

Pentru cele șase gaze materiale utilizate pentru încercările experimentale, dependența pierderilor de presiune totale față de lungimea conductei este prezentată în fig.33 - 62.

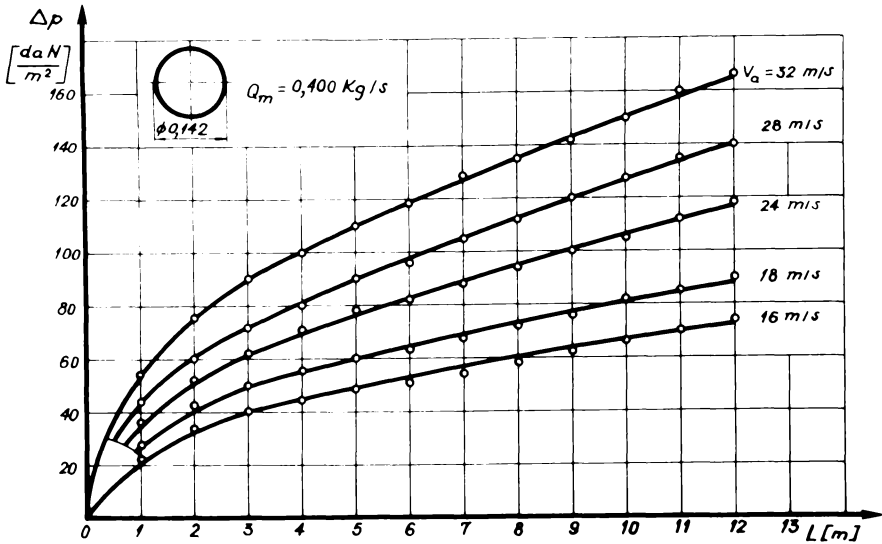


Fig.33. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al porumbului măcinat pentru $Q_m = 0,4 \text{ Kg/s}$

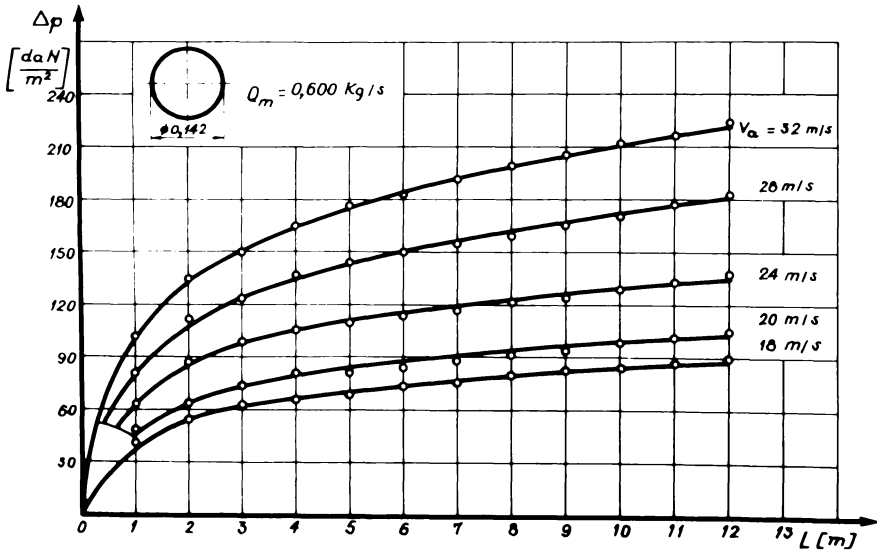


Fig.34. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al porumbului măcinat pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

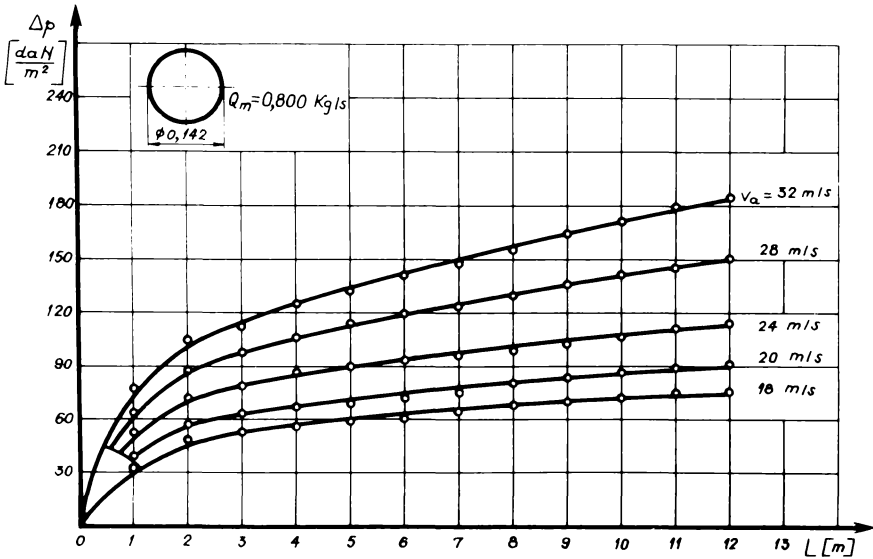


Fig. 35. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al porumbului măcinat pentru $Q_m = 0,8 \text{ kg/s}$

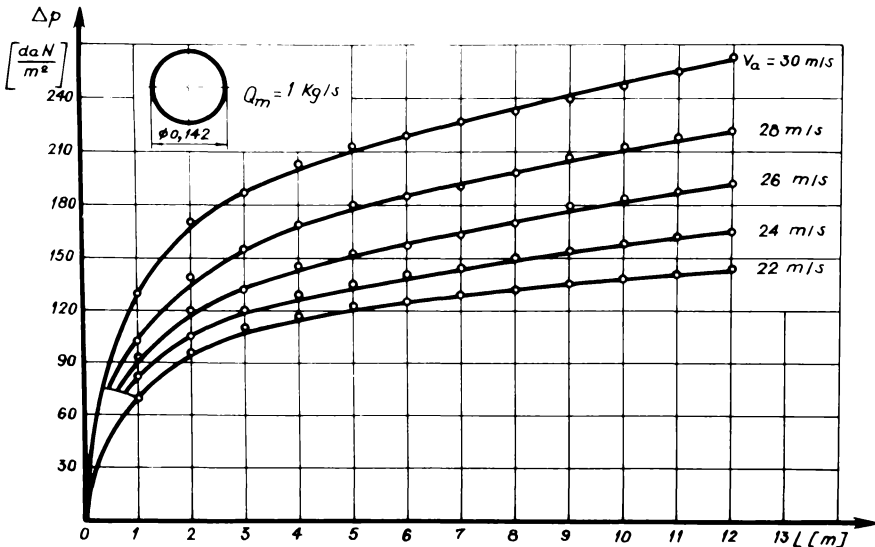
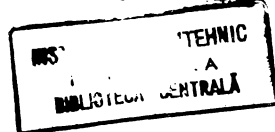


Fig. 36. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al porumbului măcinat pentru $Q_m = 1 \text{ kg/s}$



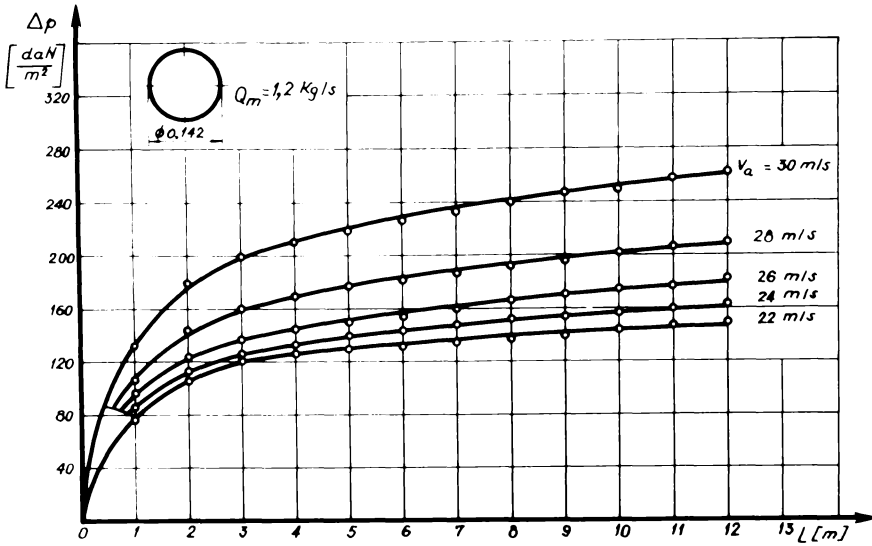


Fig. 37. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al porumbului măcinat pentru $Q_m=1,2 \text{ Kg/s}$

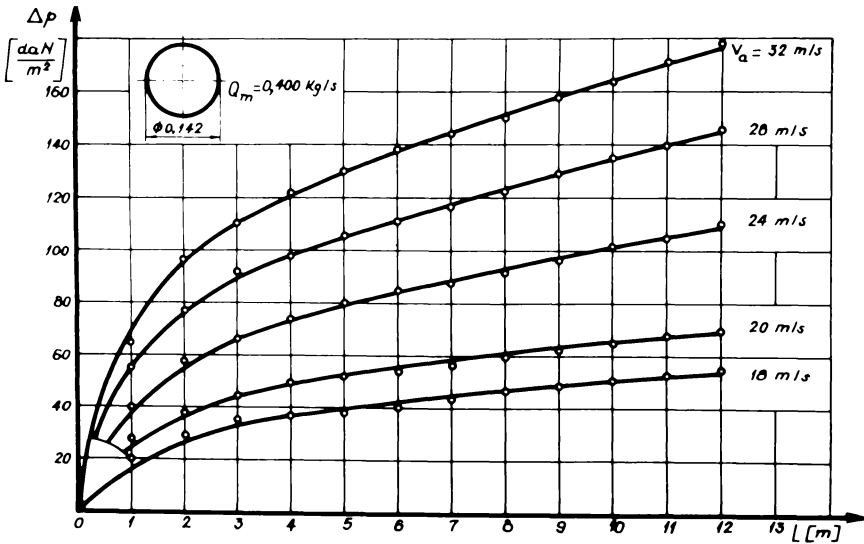


Fig. 38. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al orzului măcinat pentru $Q_m=0,4 \text{ Kg/s}$

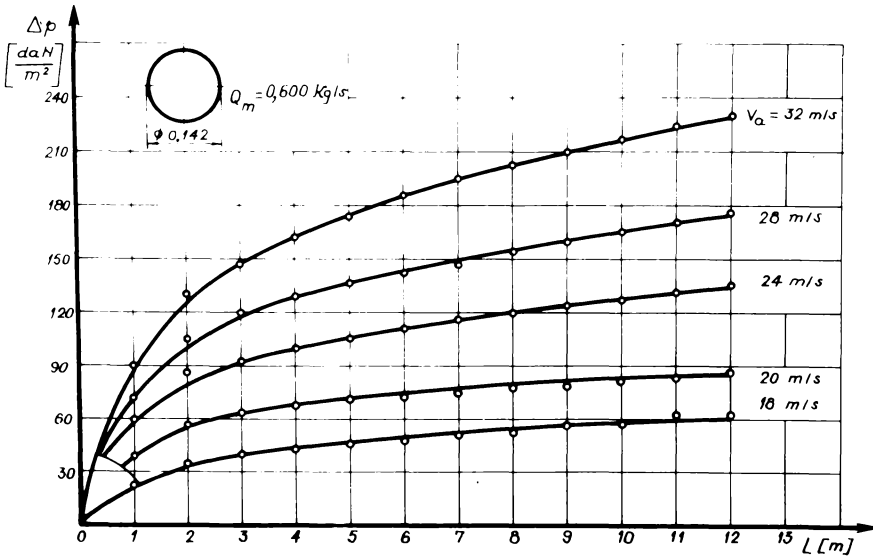


Fig.39. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al oraului măcinat pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

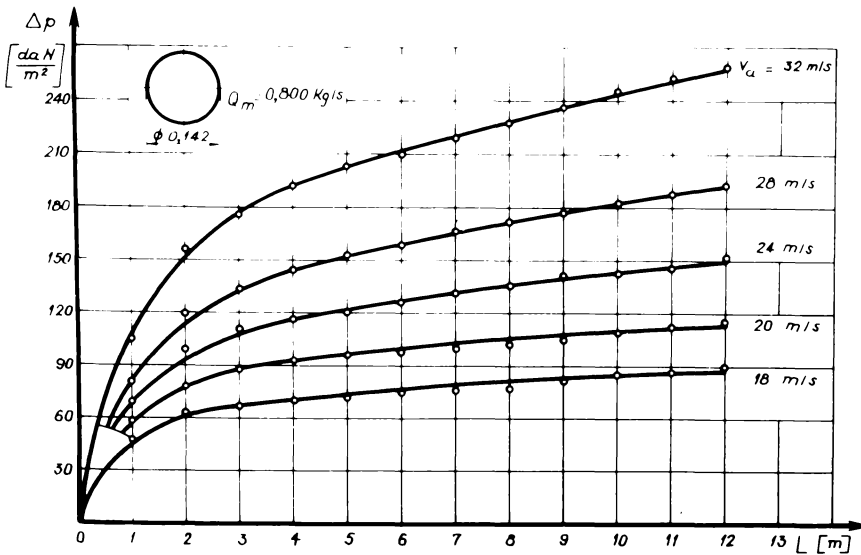


Fig.40. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al oraului măcinat pentru $Q_m = 0,8 \text{ Kg/s}$

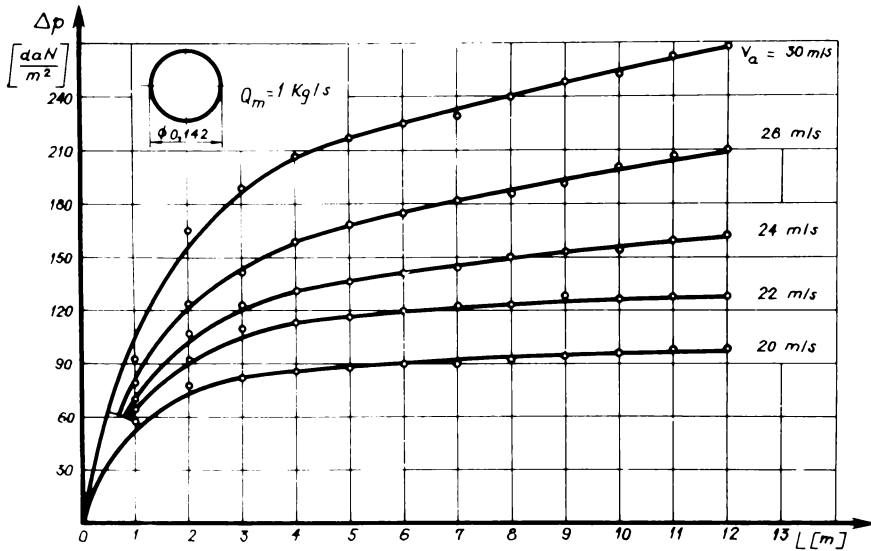


Fig.41. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al orzului măcinat pentru $Q_m = 1 \text{ kg/s}$

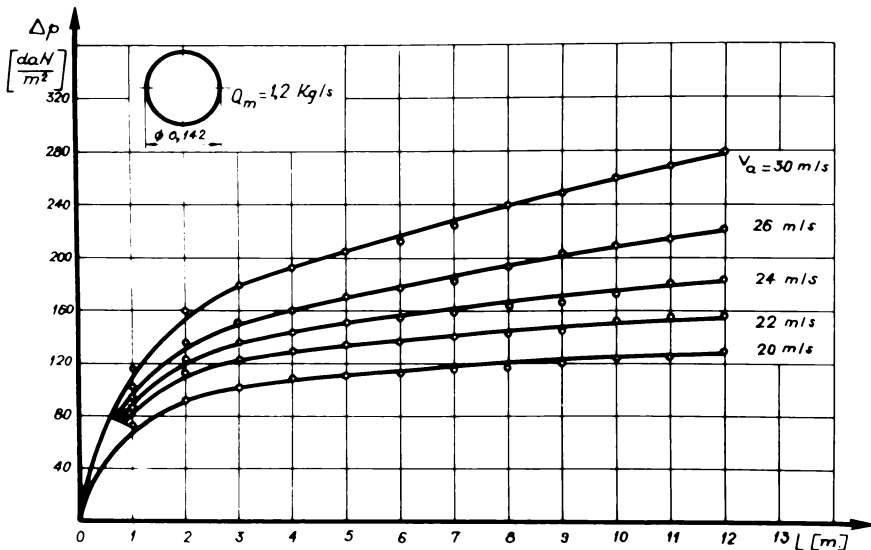


Fig.42. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al orzului măcinat pentru $Q_m = 1,2 \text{ kg/s}$

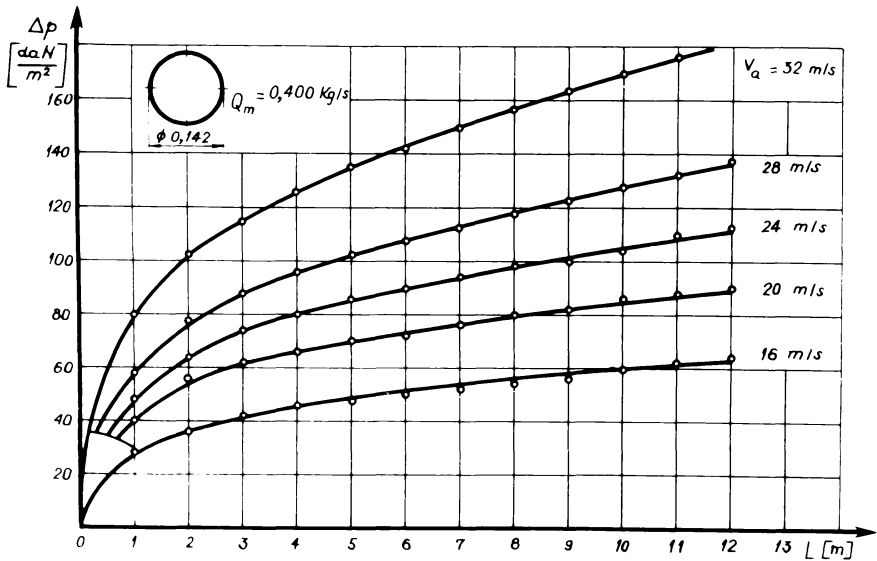


Fig.43. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al şrotului de in pentru $Q_m = 0,4 \text{ Kg/s}$

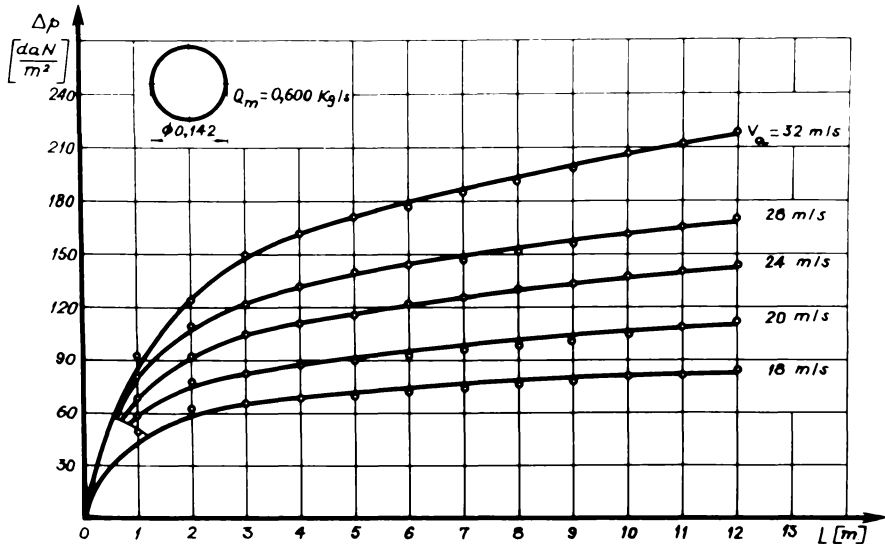


Fig.44. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al şrotului de in pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

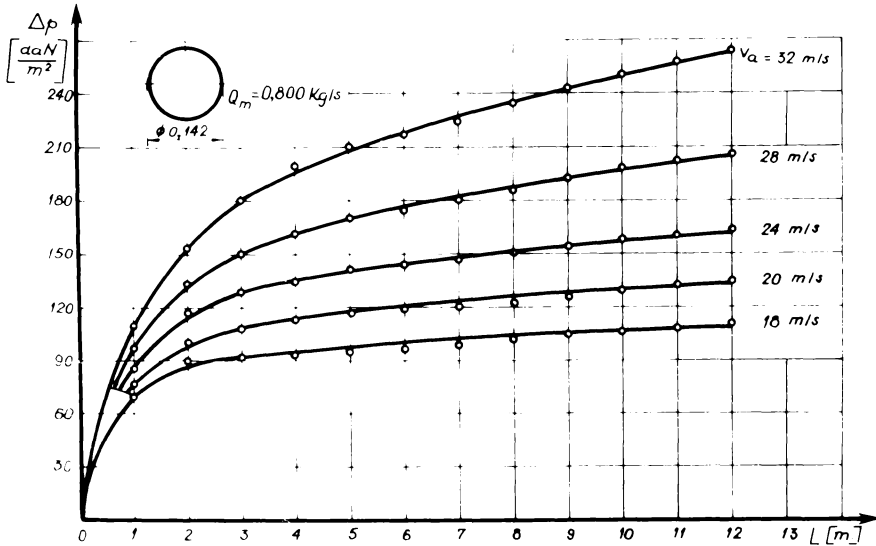


Fig.45. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de fier pentru $Q_m = 0,8 \text{ Kg/s}$

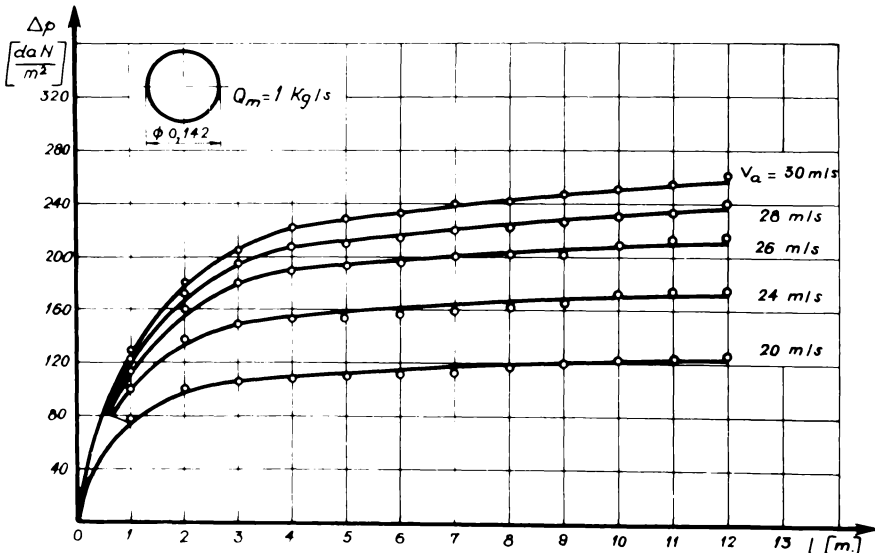


Fig.46. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de fier pentru $Q_m = 1 \text{ Kg/s}$

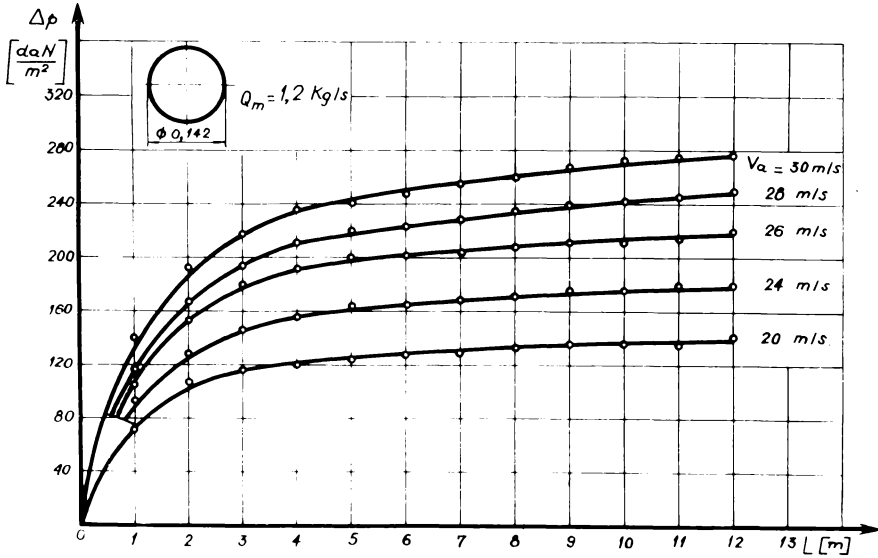


Fig.47. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al gretului de ia pentru $Q_m = 1,2 \text{ Kg/s}$

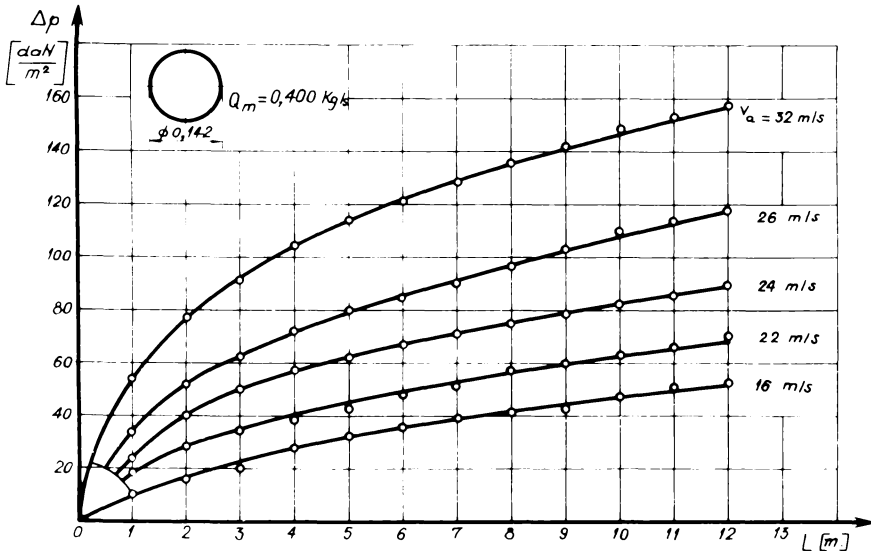


Fig.48. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al gretului de soia pentru $Q_m = 0,4 \text{ Kg/s}$

INTERDICT

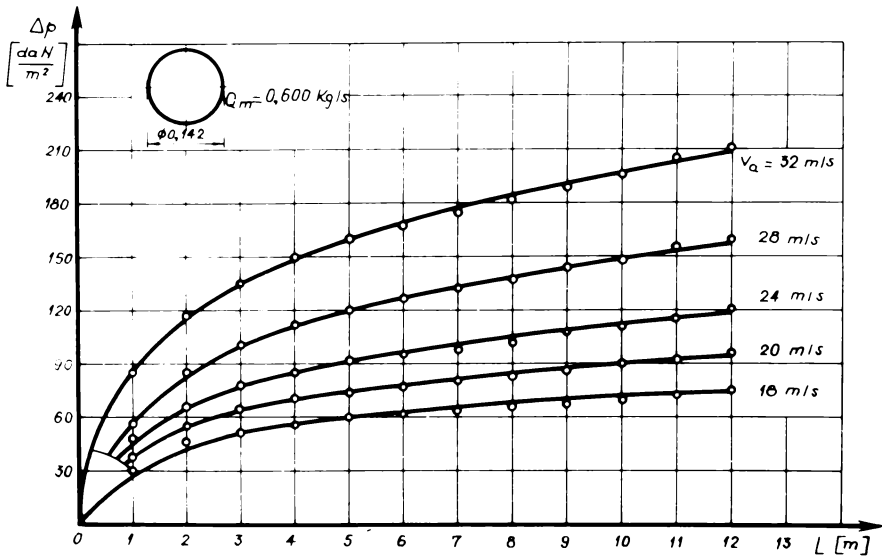


Fig.49. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al grotului de scia pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

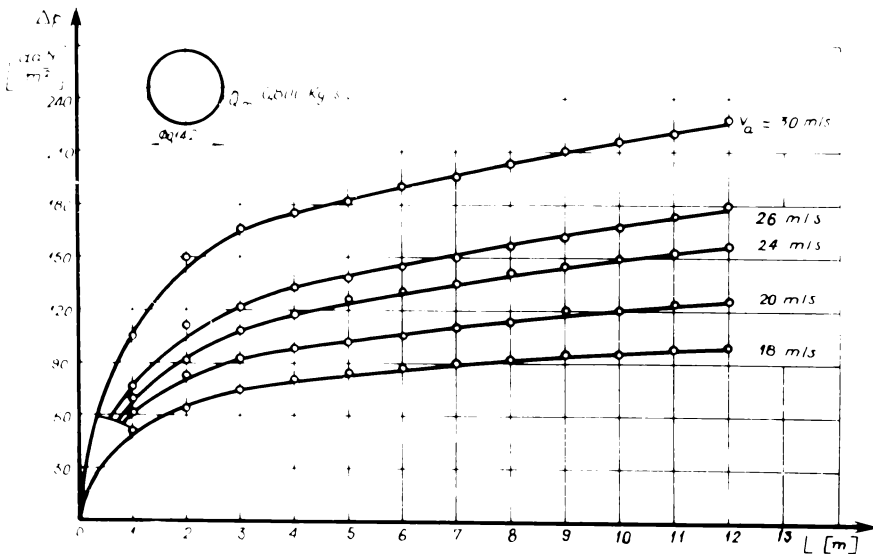


Fig.50. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al grotului de scia pentru $Q_m = 0,8 \text{ Kg/s}$

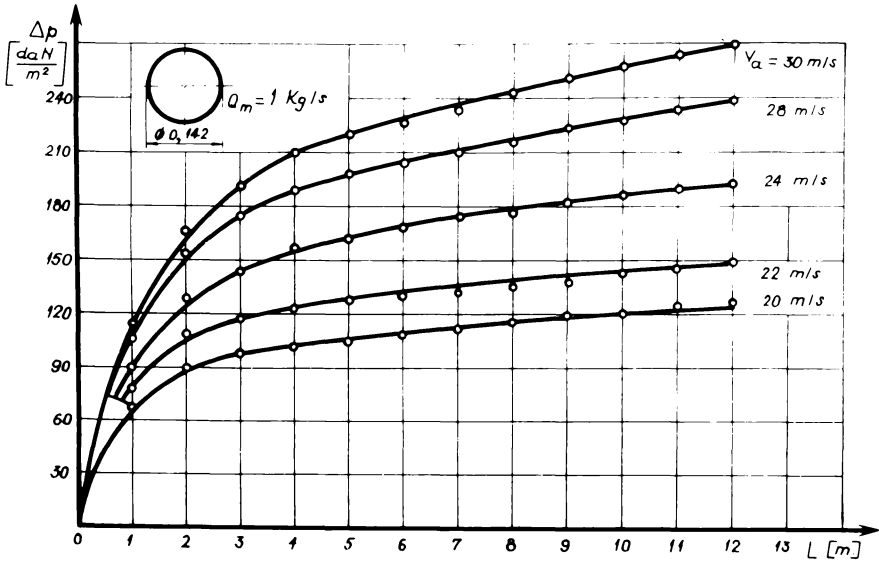


Fig.51. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de soia pentru $Q_m = 1 \text{ Kg/s}$

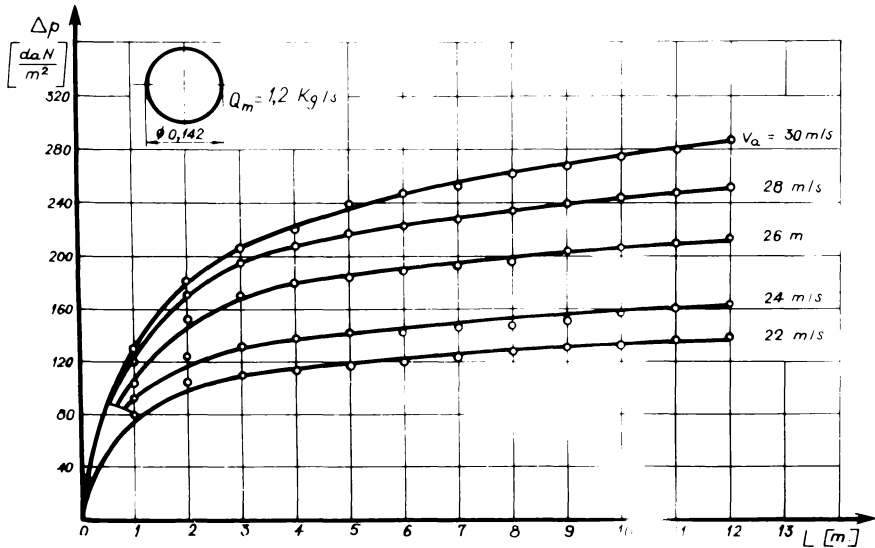


Fig.52. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de soia pentru $Q_m = 1,2 \text{ Kg/s}$

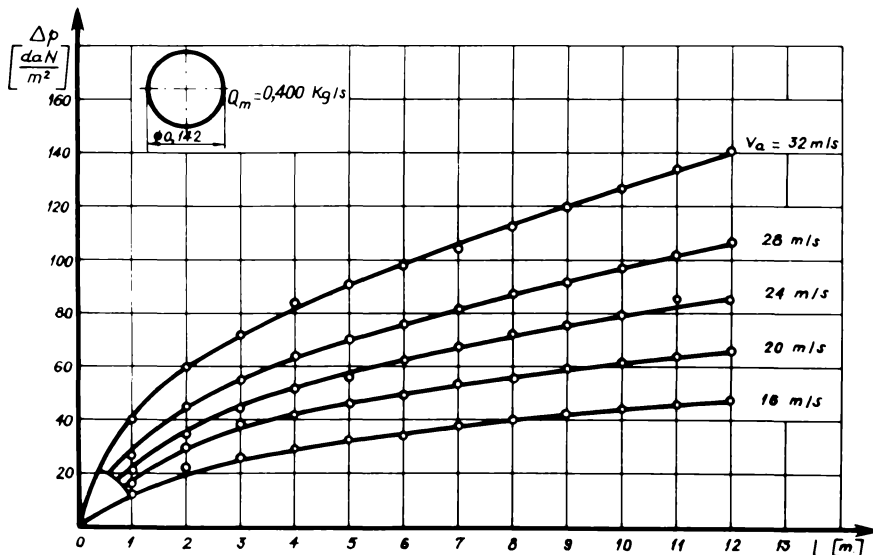


Fig. 53. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al grotului de floarea soarelui pentru $Q_m = 0,4 \text{ Kg/s}$

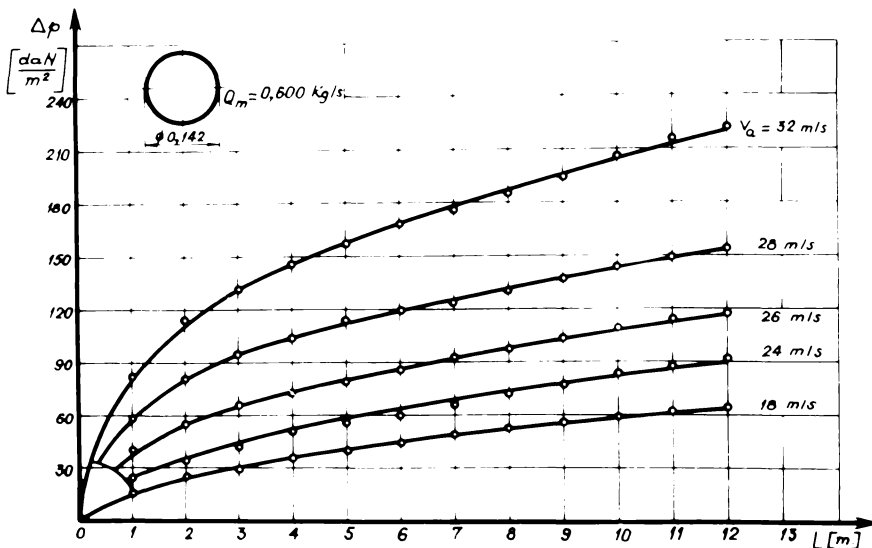


Fig. 54. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al grotului de floarea soarelui pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

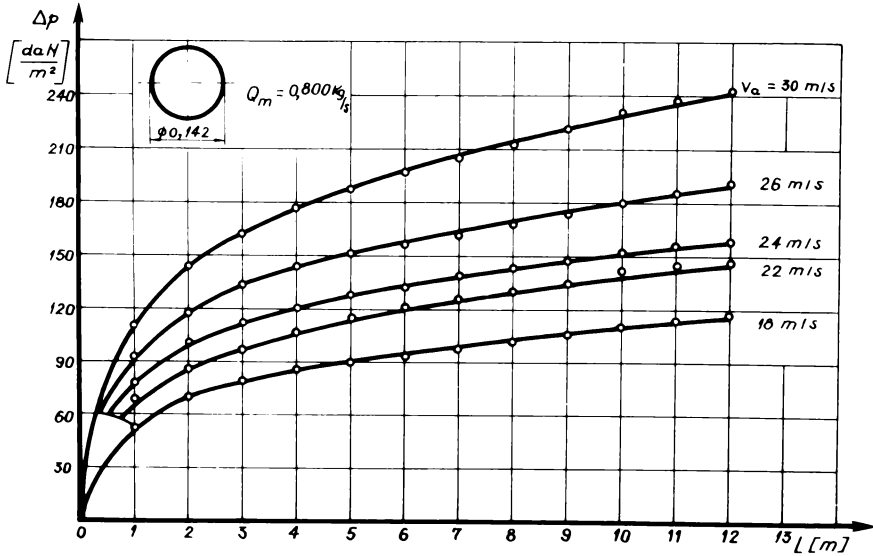


Fig.55. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de floarea soarelui pentru $Q_m = 0,8 \text{ kg/s}$

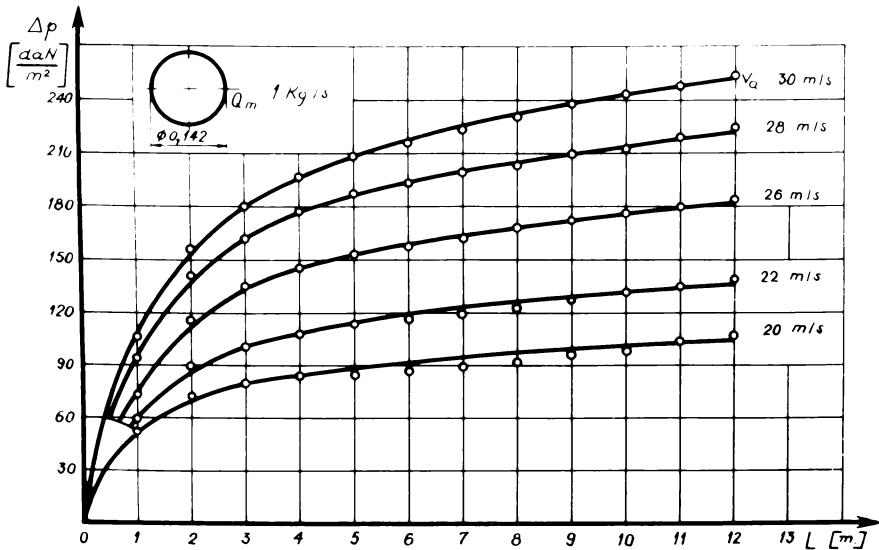


Fig.56. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de floarea soarelui pentru $Q_m = 1 \text{ kg/s}$

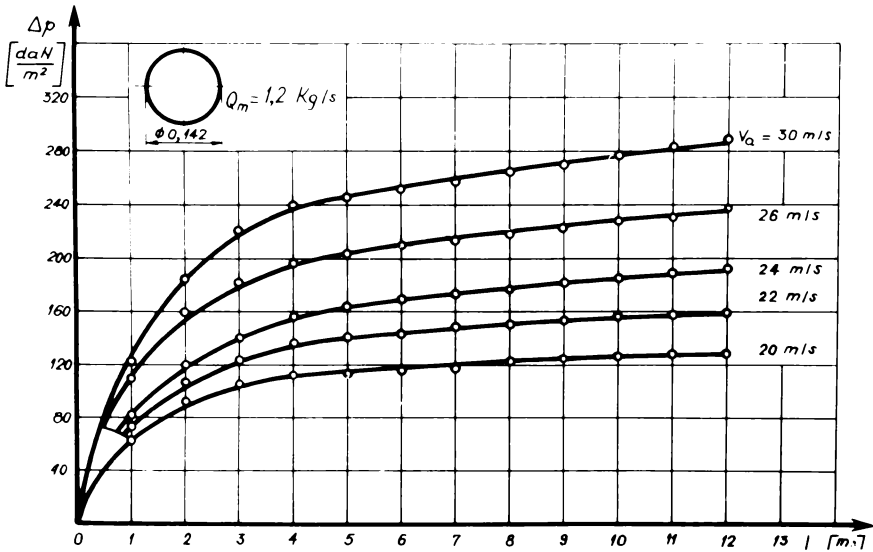


Fig.57. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al șrotului de floarea soarelui pentru $Q_m = 1,2$ kg/s

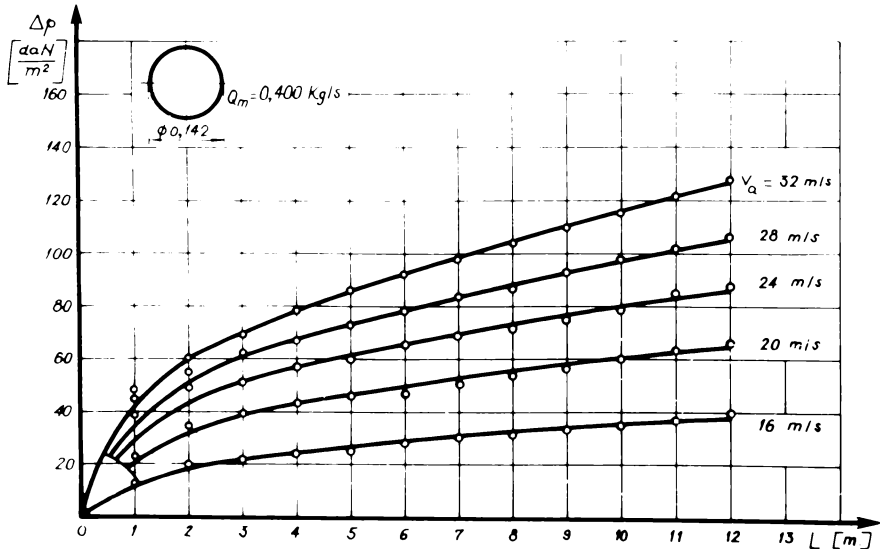


Fig.58. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al tărîței pentru $Q_m = 0,4$ kg/s

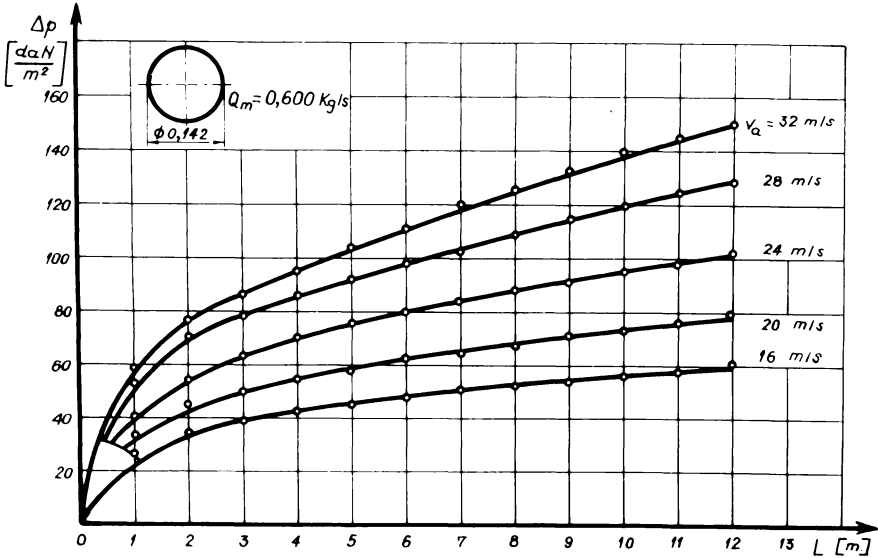


Fig.59. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p_{af}(L)$ la transportul pneumatic al săriței pentru $Q_m = 0,6 \text{ Kg/s}$

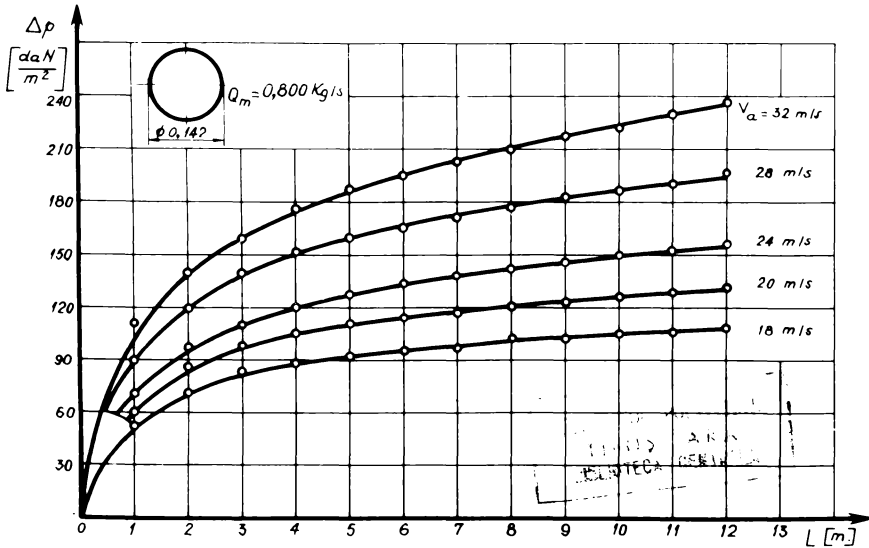


Fig.60. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p_{af}(L)$ la transportul pneumatic al săriței pentru $Q_m = 0,8 \text{ Kg/s}$

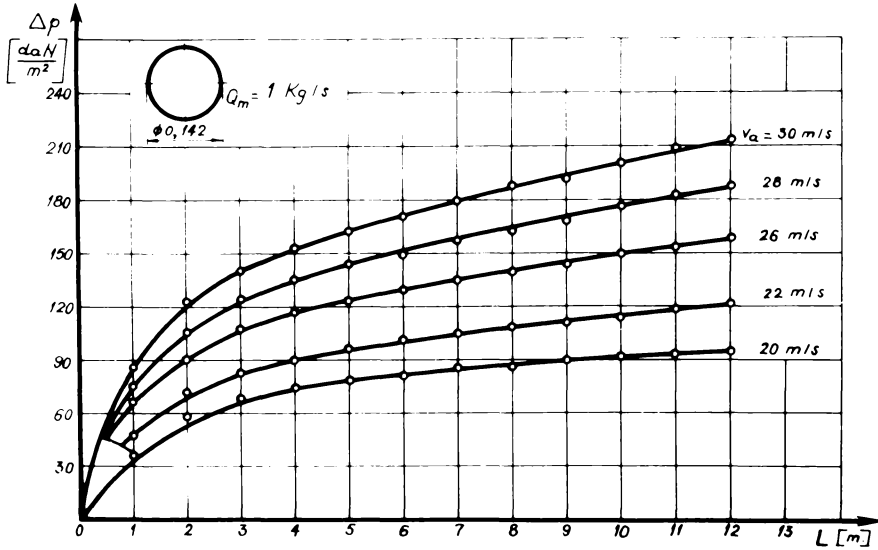


Fig.61. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al cărbunii pentru $Q_m = 1 \text{ Kg/s}$

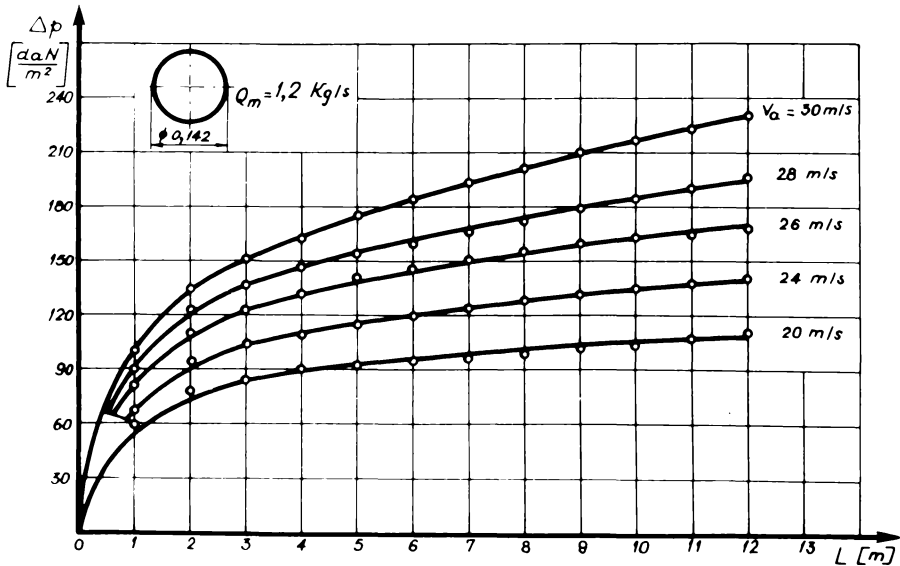


Fig.62. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(L)$ la transportul pneumatic al cărbunii pentru $Q_m = 1,2 \text{ Kg/s}$

Analizând diagramele din fig. 33 - 62 se constată în mod evident că pierderile de presiune totale, cresc o dată cu creșterea lunginii conductei, mai accentuat pe primii metri după secțiunea de alimentare. În continuare pierderile de presiune totale au tendința de a se uniformiza, astfel încât în zona mișcării stabilizate ele cresc aproximativ liniar cu lungimea conductei.

Dependența $\Delta p = f(L)$ obținută de autor pe cale experimentală pentru materialele utilizate la încercări, poate fi comparată cu rezultatele altor cercetători [4, 13, 32, 35 ș.a.] dar numai în privința alierei curbelor de variație, nu și sub aspectul mărimii valorilor pentru că pînă în prezent nu s-a studiat sub aspect cantitativ și calitativ transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate în conducte orizontale cu secțiune circulară, sau cel puțin în literatura de specialitate nu se întîlnesc date cu privire la aceste materiale.

Sub aspectul alierei curbelor, se constată o asemănare în ceea ce privește în cercetările realizate pentru alte materii ca: cereale, îngrășăm, praful de cărbune etc.

2.6.5. Influența debitului de material asupra pierderilor totale de presiune

Dependența $\Delta p = f(Q_m)$ în conducta orizontală cu secțiune circulară, la diferite viteze ale curentului de aer, pentru diferite nutrețuri concentrate măcinate, este prezentată în fig. 63 - 68.

Din analiza acestor diagrame reprezentate cu ajutorul datelor experimentale obținute de autor, reiese faptul că pierderile de presiune totale cresc liniar o dată cu creșterea debitului de alimentare. Desigur că această dependență liniară este valabilă pentru un anumit domeniu. Dacă debitul de alimentare al conductei de transport aflată într-un regim de funcționare, crește considerabil, atunci pot să apară modificări structurale ale transportului care ar conduce la modificarea caracterului variației pierderilor de presiune totale, în funcție de debitul de alimentare.

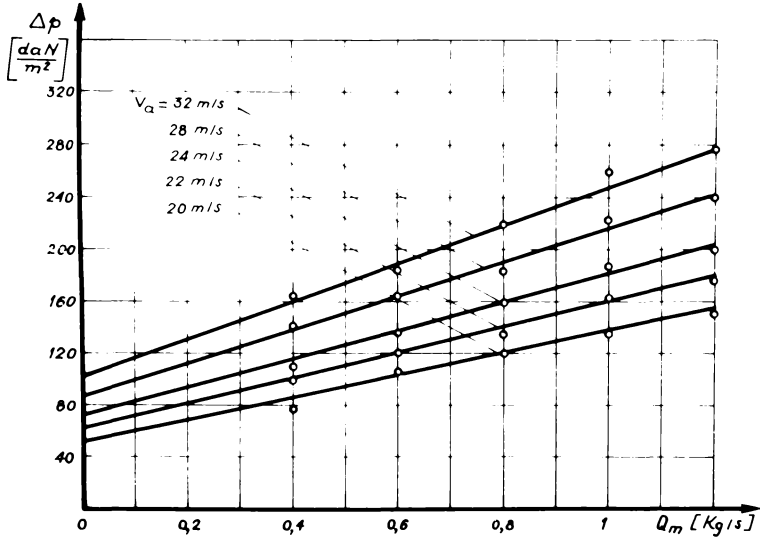


Fig.63. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p = f(Q_m)$ la transportul pneumatic al perneiului micinat

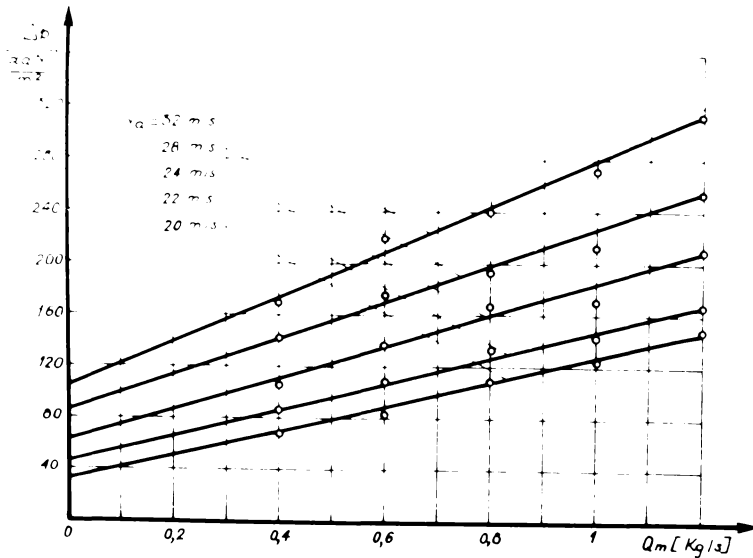


Fig.64. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p = f(Q_m)$ la transportul pneumatic al oruzului micinat

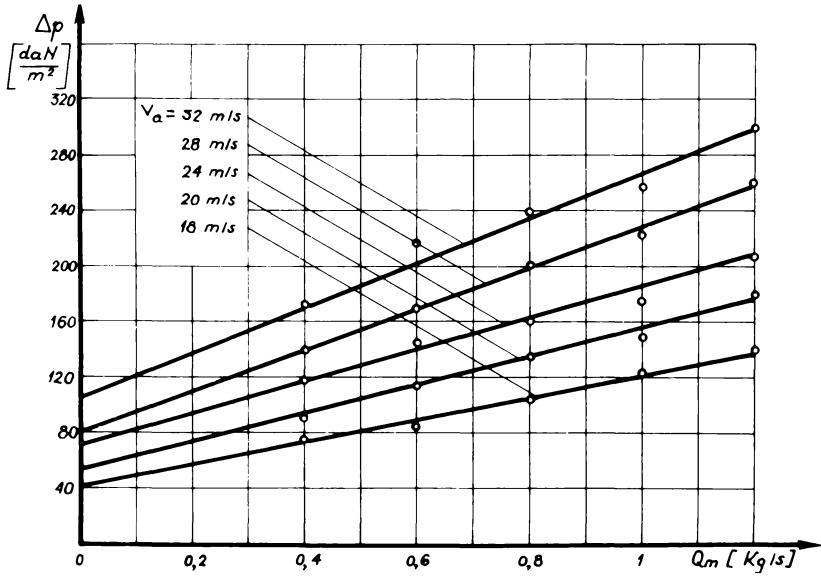


Fig.65. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(Q_m)$ la transportul pneumatic al grotului de în

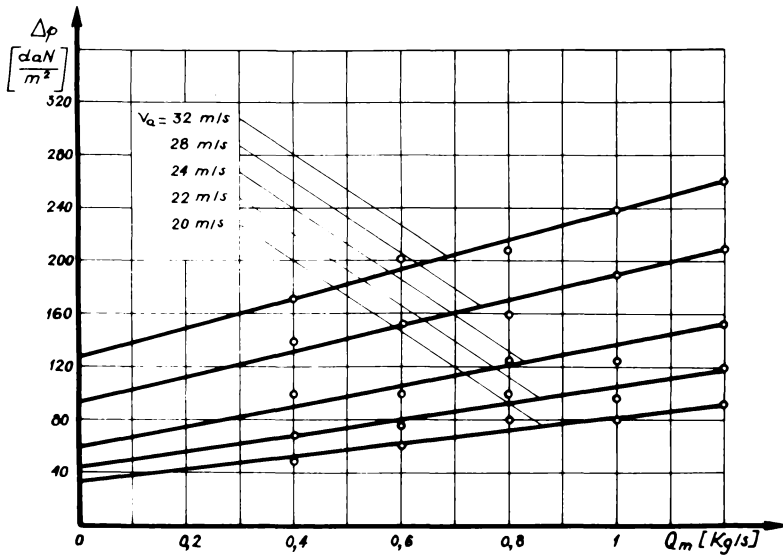


Fig.66. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p=f(Q_m)$ la transportul pneumatic al grotului de scia

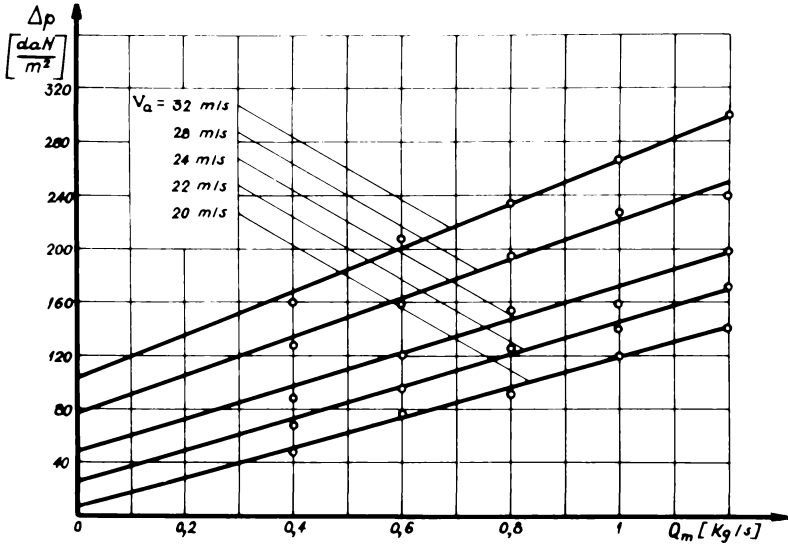


Fig.67. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p = f(Q_m)$ la transportul pneumatic al șteului de floarea soarelui

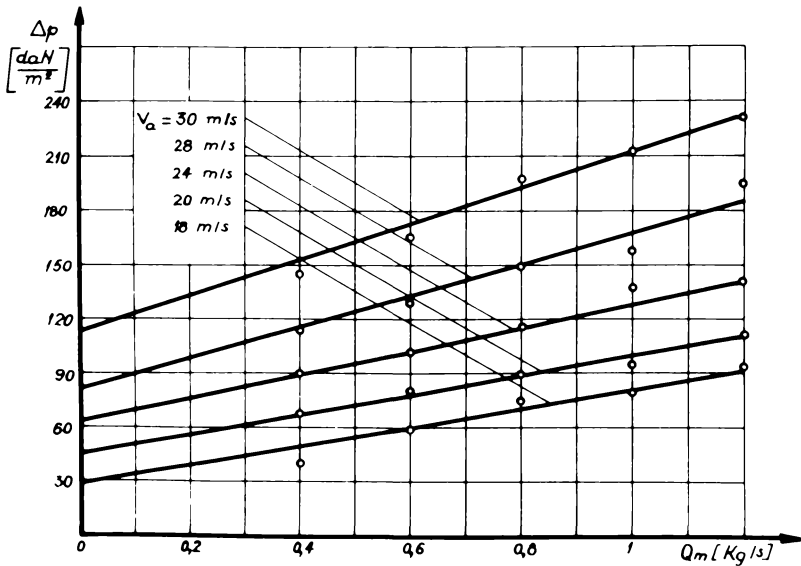


Fig.68. Dependența pierderilor de presiune $\Delta p = f(Q_m)$ la transportul pneumatic al făinii

De asemeni se poate constata că pierderile de presiune totale în funcție de debitul de alimentare, au valori mai ridicate pentru orz și șrotul de în și mai scăzute pentru tărîțe.

Avînd în vedere rezultatele obținute de alți cercetători cu privire la dependența pierderilor totale de presiune față de concentrația gravimetrică, dependenții care pentru toate datele înfîlșite, este liniară, rezultă că valorile obținute de autor în cadrul încercărilor experimentale sînt corespunzătoare.

2.6.6. Influența vitezei curentului de aer, asupra pierderilor specifice de presiune

Dependența pierderilor specifice de presiune $\Delta p_{sp}(v_a)$ pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer și pentru diferite debite de alimentare cu material a conductei de transport, este prezentată în fig.69 - 74.

Analizînd diagramele din aceste figuri se pot constata următoarele:

Pentru valori reduse ale vitezei curentului de aer, în conducta de transport au loc depuneri de materiale. Acest fenomen se produce datorită creșterii concentrației gravimetrice care conduce în final la infundarea conductei. În acest domeniu pierderile specifice de presiune scad o dată cu creșterea vitezei curentului de aer, prezentînd un minim caracteristic fiecărui debit de alimentare, pentru fiecare material. Acest minim corespunde punctului de transport pneumatic optim, adică punctului de consum minim de energie, pentru transportul materialului dat.

La mărirea vitezei aerului peste punctul optim, pierderile specifice de presiune cresc din nou, consumul de putere necesar transportului pneumatic mărindu-se.

Rezultă că regimul optim de funcționare corespunde vitezei curentului de aer pentru care pierderile de presiune prezintă un minim, sau, în domeniul învecinat la dreapta acestui minim.

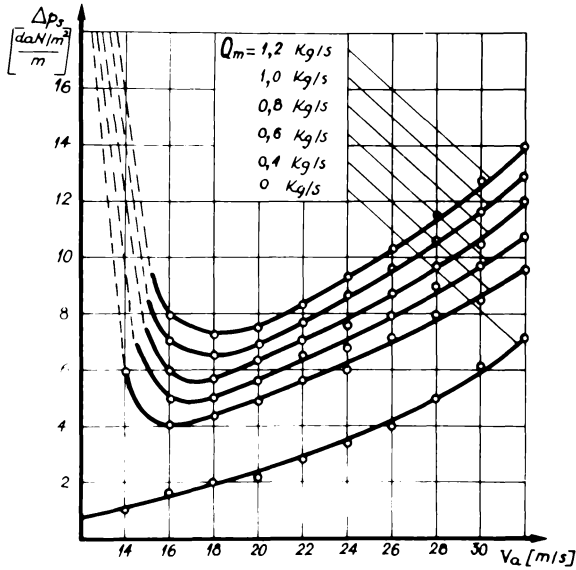


Fig.69. Dependența pierderilor de presiune specifice $\Delta p_s = f(v_a)$ la transportul pneumatic al porusului măcinat

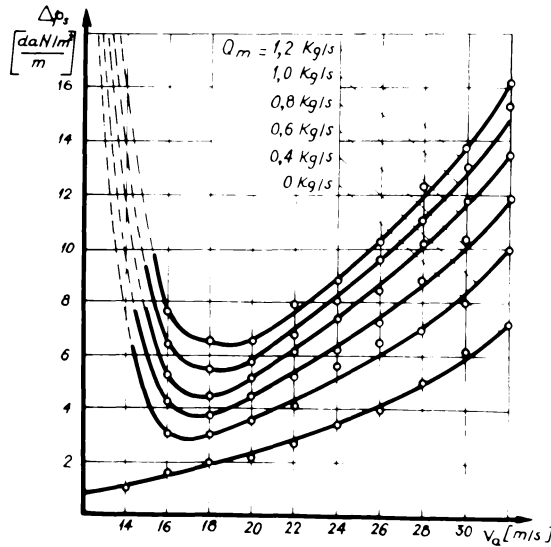


Fig.70. Dependența pierderilor de presiune specifice $\Delta p_s = f(v_a)$ la transportul pneumatic al orzului măcinat

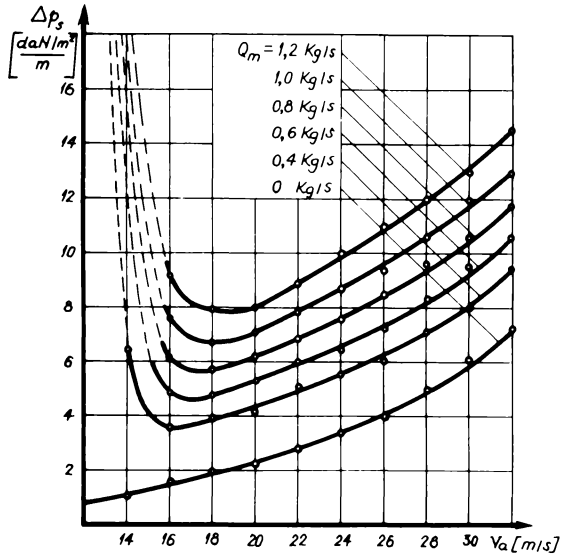


Fig.71. Dependenta pierderilor specifice de presiune $\Delta p_s=f(v_a)$ la transportul pneumatic al grotului de in

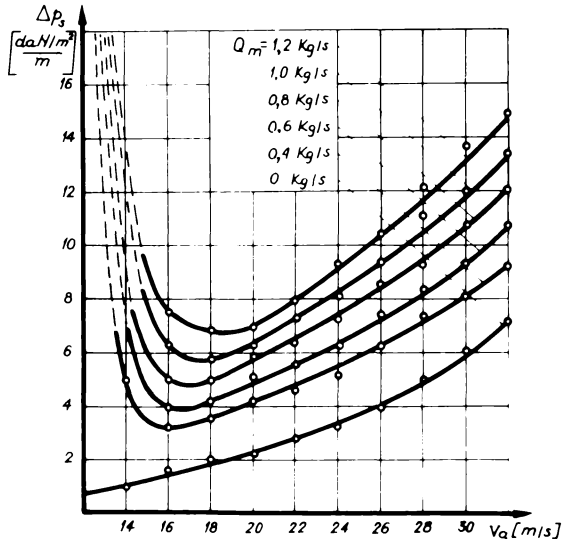


Fig.72. Dependenta pierderilor specifice de presiune $\Delta p_s=f(v_a)$ la transportul pneumatic al grotului de soia

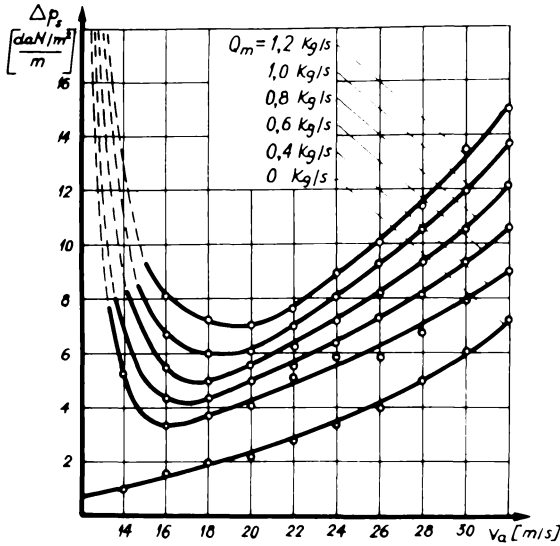


Fig.73. Dependenta pierderilor de presiune $\Delta p_s = f(v_a)$ la transportul pneumatic al grotului de floarea soarelui

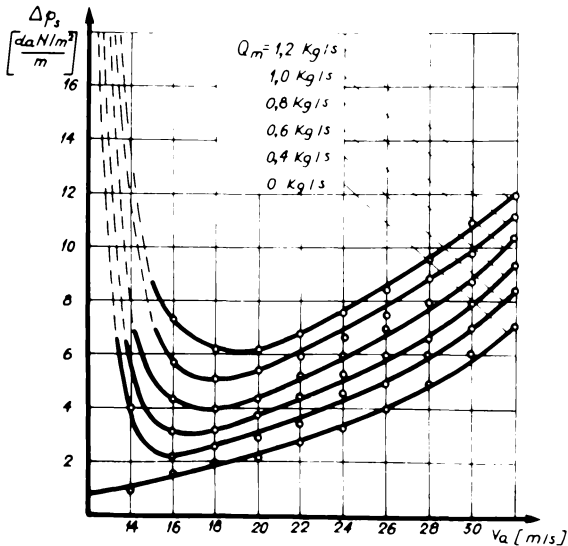


Fig.74. Dependenta pierderilor specifice de presiune $\Delta p_s = f(v_a)$ la transportul pneumatic al turtitelor

Nu este indicat să se folosească valori ale vitezei curentului de aer situate în stînga minimumului datorită fenomenelor descrise mai sus.

Este evident că pentru diferite debite de alimentare poziția punctului ce exprimă minimumul pierderilor specifice de presiune se deplasează spre dreapta către valori mai mari ale vitezei curentului de aer.

Pentru debitele de alimentare $q_m = 0,4 \text{ kg/s} - 1,2 \text{ kg/s}$ vitezele optime ale curentului de aer pentru materialele utilizate în cadrul încercărilor, sînt cuprinse în limitele:

$v_a = 16 - 19 \text{ m/s}$	- porumb măcinat
$v_a = 16,8 - 21 \text{ m/s}$	- orz măcinat
$v_a = 16,2 - 20 \text{ m/s}$	- șrot de in
$v_a = 16,8 - 20,8 \text{ m/s}$	- șrot de soia
$v_a = 15,8 - 19 \text{ m/s}$	- șrot de floarea soarelui
$v_a = 15,4 - 18,4 \text{ m/s}$	- tărîțe

Aceste valori ale vitezei curentului de aer, stabilite din diagramele trasate de autor, lipsesc din literatura de specialitate. Astfel ele vin să completeze un gol existent, oferind serviciilor de proiectare noi date cu privire la transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate prin conducte orizontale cu secțiune circulară.

2.6.7. Influența diametrului conductei de transport, asupra pierderilor specifice de presiune

Pentru a analiza influența diametrului conductei cu secțiune circulară, asupra pierderilor specifice de presiune, pentru transportul pneumatic al porumbului măcinat, la viteza curentului de aer $v_a = 19 \text{ m/s}$, s-a trasat diagrama din fig.75.

Din diagramă rezultă că pierderile specifice de presiune Δp_p decresc cu creșterea diametrului D al conductei mai pronunțat pentru $D < 0,1 \text{ m}$.

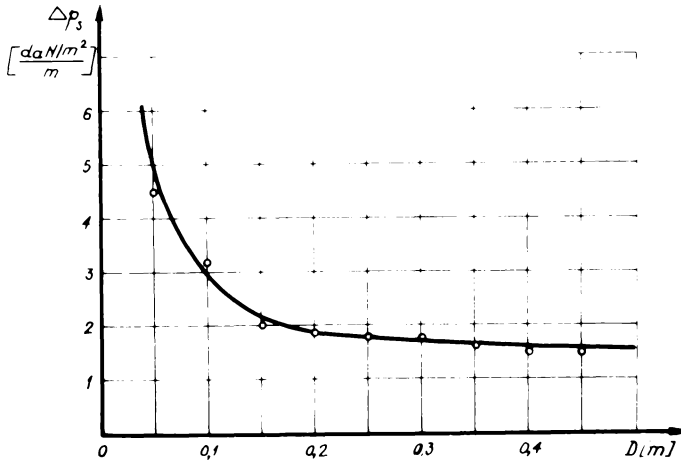


Fig.75. Dependența pierderilor specifice de presiune $\Delta p_3=f(D)$ pentru transportul pneumatic al porumbului măcinat

Pentru valori ale diametrului $D > 0,3$ m, pierderile specifice de presiune su o descreștere neînsemnată. Rezultă că alegerea diametrului conductei astfel, încît corelat cu ceilalți factori să asigure valori reduse ale pierderilor de presiune, asigură funcționarea rațională a instalației de transport.

2.7. Determinarea vitezei particulelor de nutret concentrat măcinat, în conducta de transport orizontală cu secțiune circulară

În studiul făcut în capitolul 2 asupra dinamicii particulelor solide în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale cu secțiune circulară, a reieșit că vite-

sa particulelor de material depinde de mărimea vitezei curentului de aer, de debitul de alimentare, de viteza de plutire a particulelor și bineînțeles de parametrii constructivi ai conductei.

Încercările care s-au făcut pînă în prezent în vederea stabilirii unei legi de variație a vitezei particulelor de material în dependență de parametrii amintiți, nu au permis să se obțină date care ar putea fi generalizate pentru domeniul mai larg de utilizare sau pentru o gamă mai mare de materiale. Din acest motiv, cunoscînd că în cazul transportului pneumatic, micșorarea vitezei particulelor de material în scopul micșorării pierderilor de presiune, pentru mărirea randamentului unei instalații, este limitată în cazul conductelor orizontale, de fenomenul de depunere, s-a considerat necesar să se determine pe cale experimentală mărimea vitezei minime a particulelor, la care transportul se execută în condiții normale.

Acest lucru este posibil deoarece în cadrul lucrărilor efectuate de autor pe standul experimental, s-a putut stabili cu exactitate mărimea pierderilor de presiune totale, cît și a pierderilor de presiune cauzate numai de circulația curentului de aer curat. Legătura între acești parametri și viteza particulelor de material este redată prin ecuația (122) stabilită de autor :

$$\frac{\frac{v_m}{v_a}}{(1 - \frac{v_m}{v_a})^2} = \frac{C_{Dm} \cdot v_a \cdot S \cdot L}{(\Delta p - \Delta p_{ac}) A v_p^2}$$

Avînd în vedere multitudinea factorilor care influențează simultan viteza materialului în conducta orizontală de transport, precum și numărul mare de valori al acestor factori care au fost luate în considerație la determinarea pierderilor de presiune, autorul a programat în limbaj FORTRAN această ecuație, iar soluțiile numerice pentru v_m au fost obținute după rularea programului la calculatorul ELIIX C-256.

Pentru întocmirea organigramei (fig.76) în baza căreia s-a făcut programarea calculului pentru viteza materialu-

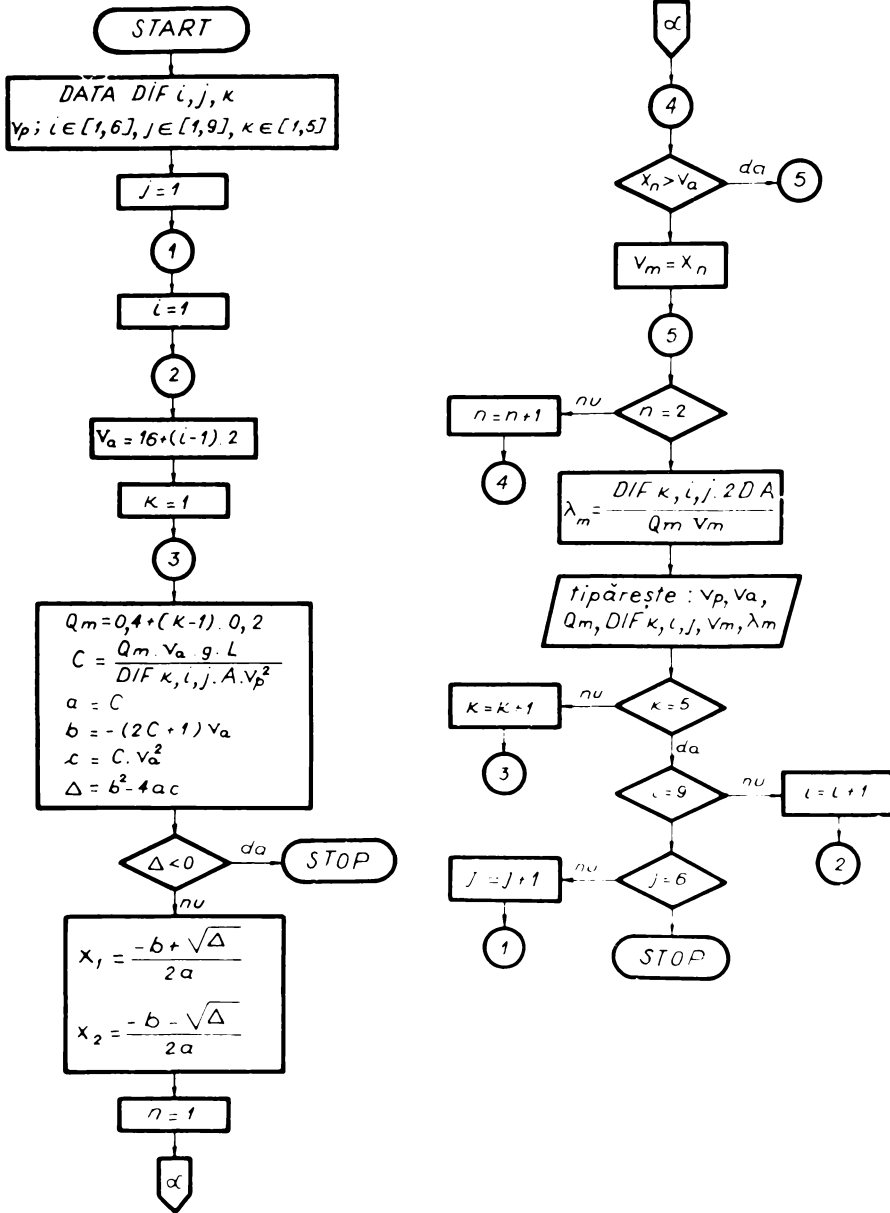


Fig.76. Organigrama pentru calculul vitezei materialului (v_m) și a coeficientului de rezistență (λ_m)

lui v_m s-a explicitat ecuația (122).

În vederea obținerii soluțiilor numerice ale vitezei materialului, au fost luate în considerație următoarele valori pentru elementele conținute în organigramă:

$$v_m = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 \text{ și } 1,2 \text{ kg/s}$$

$$v_a = 15; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30 \text{ și } 32 \text{ m/s}$$

v_p = valorile corespunzătoare stabilite pentru fiecare material;

$\Delta p - \Delta p_{oc}$ = valorile care au reieșit din încercările experimentale pentru valorile lui v_m și v_a luate în considerație;

$$L = 10 \text{ m}$$

$$A = 0,0156 \text{ m}^2$$

În baza soluțiilor numerice oferite de calculator, au fost întocmite diagrame de variație $v_m = f(v_a)$ pentru diferite debite de alimentare, corespunzătoare celor șase materiale folosite pentru încercările experimentale, prezentate în fig.77 - a2.

Analizând aceste diagrame se poate constata că în timpul transportului pneumatic, în conducta orizontală cu secțiune circulară, o dată cu creșterea vitezei curentului de aer crește și viteza particulelor. Acest lucru este firesc dat fiind faptul că mișcarea particulelor este produsă de acțiunea curentului de aer. De asemenea se poate observa că viteza particulelor de material este mai mică decât viteza curentului de aer. Acest fenomen constatat de altfel și de alți cercetători [7, 19, 72, 73 și alții], a putut fi pus în evidență prin diferite metode în cadrul experimentărilor efectuate și prezentate în literatură dar cu erori de determinare evaluate în cele mai multe cazuri la circa 25%, ceea ce considerăm ca nesatisfăcător.

Prin metoda folosită, autorul a eliminat în mare parte posibilitatea introducerii de erori în măsurători, astfel încât valoarea lor s-a situat la circa 5%.



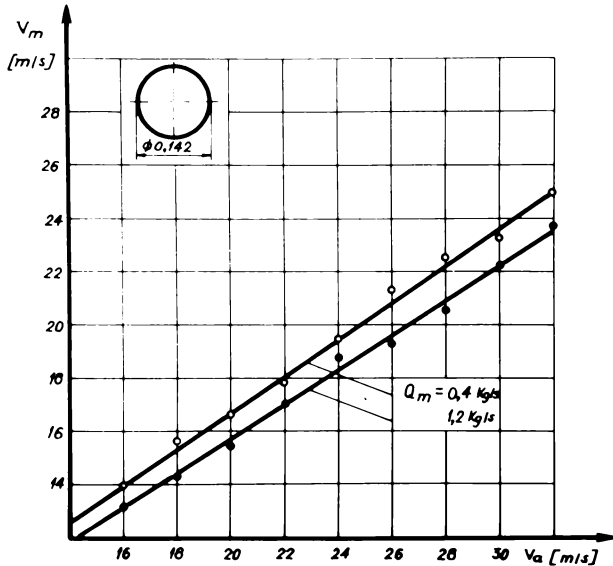


Fig.77 Dependența vitezei particulelor de material $v_m = f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142$ mm pentru porumb măcinat

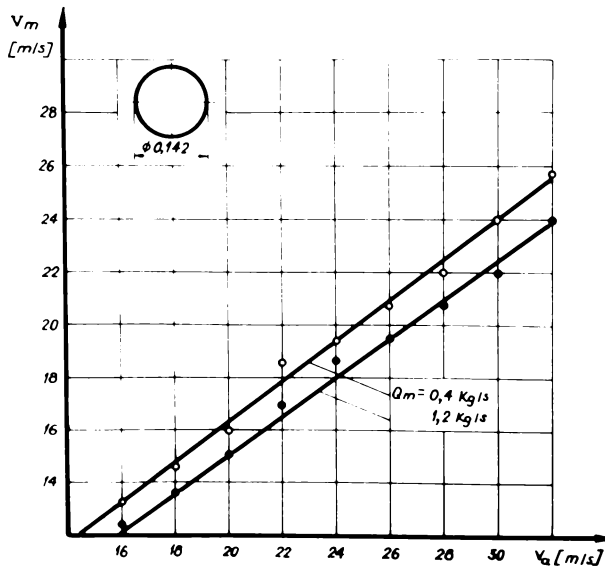


Fig.78. Dependența vitezei particulelor de material $v_m = f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142$ mm, pentru orz măcinat

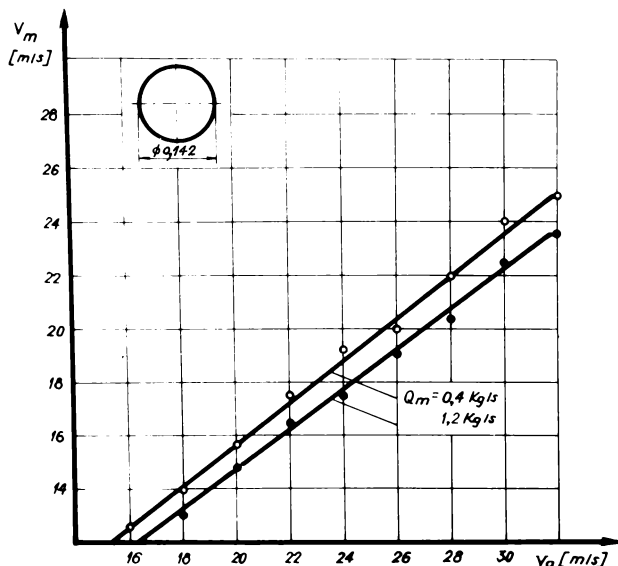


Fig.79. Dependența vitezei particulelor de material $v_m = f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142 \text{ mm}$ pentru șrot de in

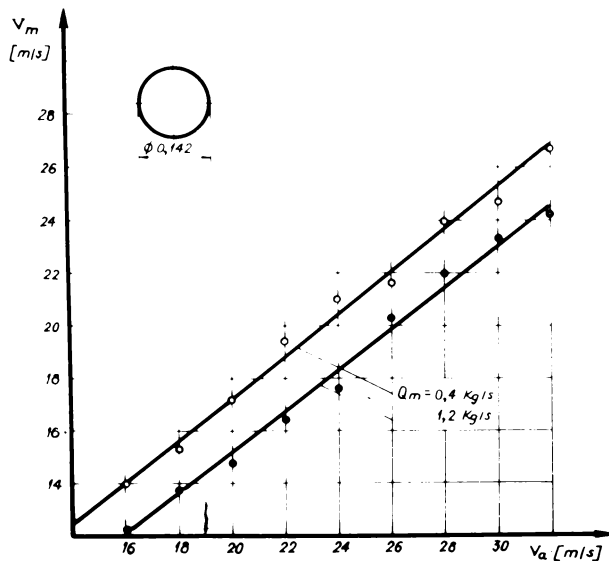


Fig.80. Dependența vitezei particulelor de material $v_m = f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142 \text{ mm}$ pentru șrot de soia

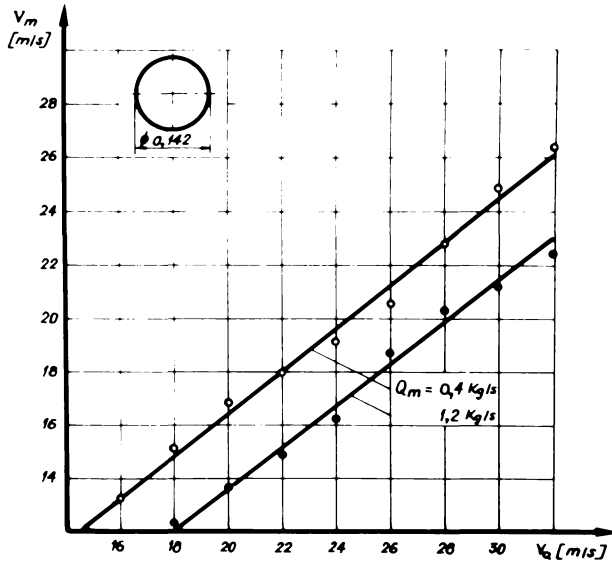


Fig.81. Dependența vitezei particulelor de material $v_m=f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142$ mm pentru șrot de floarea soarelui

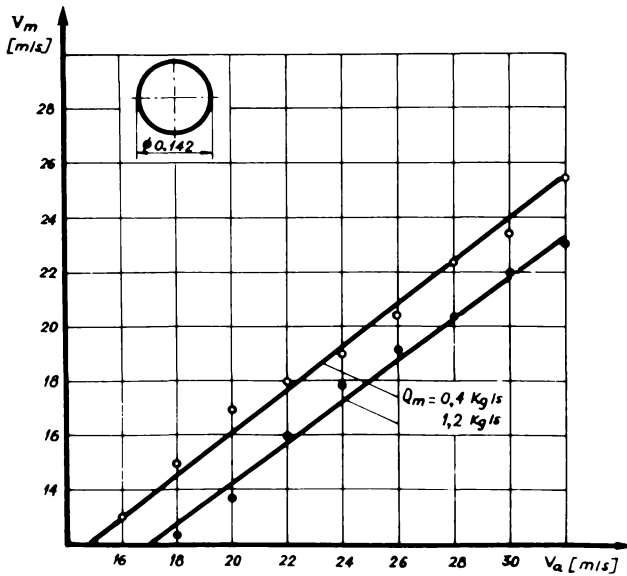


Fig.82. Dependența vitezei particulelor de material $v_m=f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $D = 142$ mm pentru tărițe

Trebuie menționat faptul că dependența liniară $v_m = f(v_a)$ stabilită de autor, este valabilă numai în domeniul transportului pneumatic pentru valori ale curentului de aer $v_a = 16 - 32$ m/s. În afara acestor valori este posibil ca această lege de variație să nu mai fie respectată și acest lucru mai ales pentru $v_a < 16$ m/s.

În diagramele trasate au fost prezentate dreptele de variație $v_m = f(v_a)$ numai pentru $\rho_m = 0,4$ și $1,2$ Kg/s. Este evident că pe măsură ce debitul de alimentare, respectiv concentrația gravimetrică a amestecului de aer - particule solide - crește, crește și diferența între viteza curentului de aer și cea a particulelor de material. Aceste diagrame au mare importanță practică, întrucât oferă posibilitatea de determinare a vitezei materialului în funcție de viteza curentului de aer din conducta de transport, în mod operativ și cu o precizie satisfăcătoare. Diagramele sînt valabile însă numai pentru materialele folosite pentru încercări și în condițiile de transport pneumatic amintite.

Stabilirea unei legi generale de variație $v_m = f(v_a)$ în baza acestor rezultate, nu este posibilă încă, datorită cunoașterii insuficiente în stadiul actual, a influenței simultane a tuturor factorilor care condiționează transportul pneumatic. Din această cauză sînt necesare noi cercetări teoretice și experimentale asupra acestui important parametru.

Se menționează că ecuația (122) stabilită de autor, în baza căreia s-a determinat viteza materialului pentru diferite regimuri de transport, conține principalii factori care condiționează dinamica particulelor și ca atare redă mai exact fenomenul ce are loc în conducta orizontală de transport, în comparație cu relațiile folosite pînă în prezent în acest scop.

2.0. Determinarea coeficientului de rezistență λ_m pentru autreturile concentrate măcinată transportate pneumatic

Stabilirea pe care teoretică a coeficientului de re-

rezistență datorită frecării și ciocnirii particulelor de material cu pereții conductei (λ_{mc}) și a coeficientului de rezistență datorită ciocnirii între particulele de material (λ_{mn}) este posibilă, așa cum am mai menționat, numai în cazuri speciale dacă particulele existente în conducta de transport, se deosebesc chiar printr-o caracteristică a lor.

În cazul nărușurilor concentrate măcigate, această condiție nu poate fi satisfăcută din cauza stării în care se prezintă materialul. S-a impus astfel găsirea unei alte metode de determinare.

Autorul, analizând ecuația (117) care a stabilit-o pentru calculul pierderilor totale de presiune în conducta orizontală cu secțiune circulară, a ajuns la concluzia că cei doi coeficienți λ_{mc} și λ_{mn} se pot determina împreună în cadrul unui coeficient global;

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{mc} + \lambda_{mn} = \frac{2(\Delta p - \Delta p_{mc})_{\text{calc}}}{\rho \cdot v_m^3 \cdot l} \quad (163)$$

Pentru calculul numeric al coeficientului global de rezistență λ_{Σ} având în vedere numărul mare de valori pe care le poate lua prin variația elementelor de care depinde, autorul a programat în limbaj FORTRAN și această ecuație. Astfel ținând seama că acest coeficient depinde și de valoarea vitezei materialului (v_m) în conducta de transport, valoarea stabilită tot cu ajutorul calculatorului, a întocmit organigrama pentru λ_{Σ} (fig.76) în continuarea organigramei pentru v_m în scopul folosirii directe a acestor valori. Prin rularea programului complet la calculatorul UNIVAC G-356 s-au obținut atât valorile numerice pentru viteza materialului (v_m) cât și pentru coeficientul global de rezistență (λ_{Σ}). Cu ajutorul valorilor lui λ_{Σ} s-au trasat apoi diagramele din fig.83 - 86.

Din analiza acestor diagrame se poate observa că coeficientul λ_{Σ} crește odată cu mășorarea numărului lui Froude, mai pronunțat dacă particulele de material au o suprafață aspră. Pentru valori mici ale numărului lui Froude

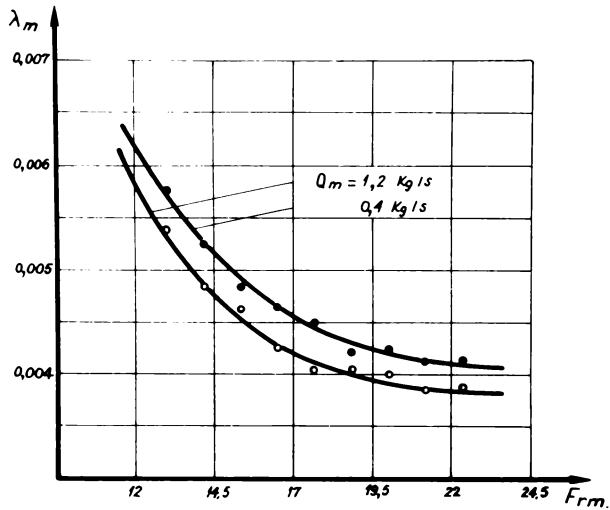


Fig. 83. Dependența coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D = 142 \text{ mm}$ a peretului măcinat

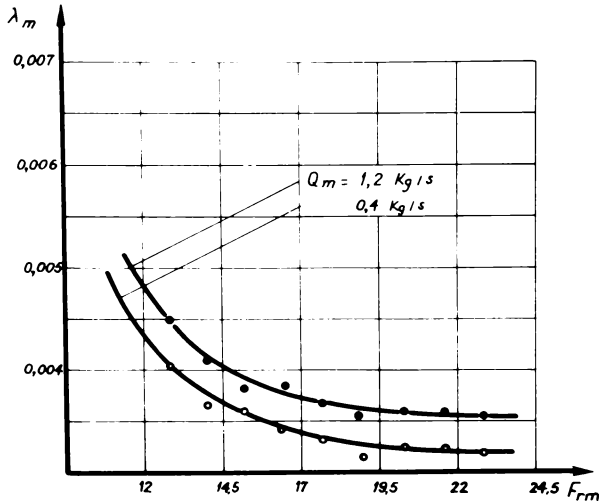


Fig. 84. Dependența coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D = 142 \text{ mm}$ a orzului măcinat

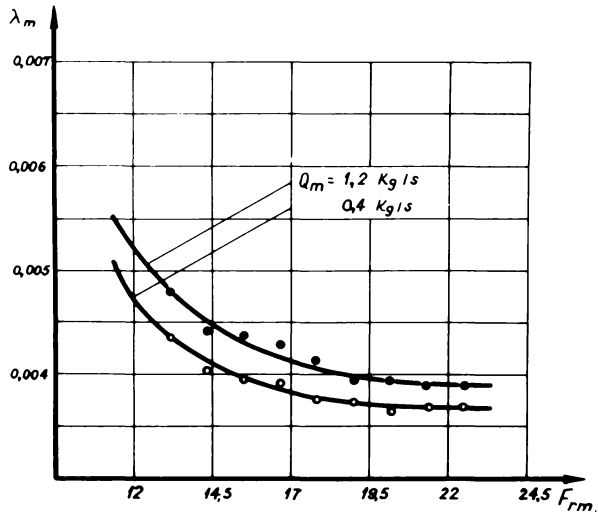


Fig. 85. Dependenta coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{Rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D=142 \text{ mm}$ a șrotului de in

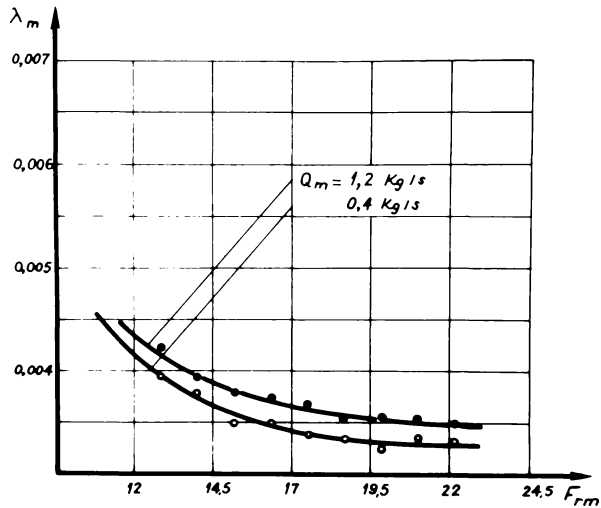


Fig. 86. Dependenta coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{Rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D=142 \text{ mm}$ a șrotului de soia

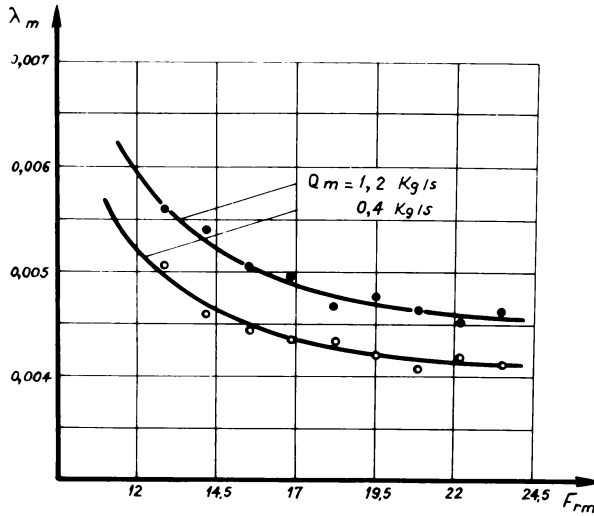


Fig.87. Dependenta coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D=142 \text{ mm}$ a grutului de floarea soarelui

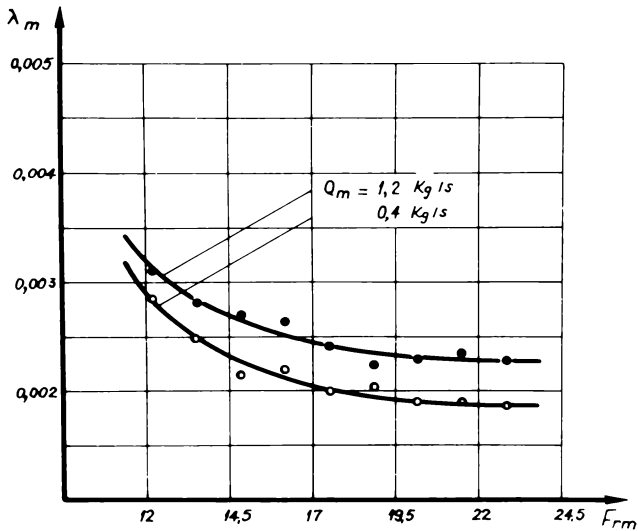


Fig.88. Dependenta coeficientului global de rezistență $\lambda_m = f(F_{rm})$ la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu $D=142 \text{ mm}$ a tărîșelor

cores, unaltore limitei de infundare, λ_m crește foarte mult. In funcție de dimensiunile conductei de transport, dacă se urmărește relația (103) se constată că, coeficientul λ_m crește cu creșterea diametrului conductei (3) și scade cu creșterea lungimii (1). De asemenea este evident că pe măsură ce debitul de alimentare crește, crește și valoarea coeficientului de rezistență λ_m .

Pentru $Fr_m < 15$ variația $\lambda_m = f(Fr_m)$ este pronunțată, pentru ca la valori ale numărului lui Froude $Fr_m > 15$ această variație să scadă considerabil.

Diagramele trasate de autor pentru fiecare din cele șase materiale utilizate în cadrul încercărilor, au o mare importanță practică. Astfel se menționează că în literatura de specialitate sînt prezentate un număr mare de relații stabilite analitic sau pe cale experimentală de diferiți cercetători, pentru determinarea coeficientului de rezistență în cazul transportului pneumatic. Dar domeniul lor de utilizare, nu se extinde și asupra unor materiale de tipul nutrețurilor concentrate măcinate care sînt transportate pneumatic într-o conductă orizontală, ori pentru aceste materiale pînă în prezent se foloseau date aproximative prin comparație cu cele ale altor cercetători (ex. runeguş de lemn, talag, semințe etc.)

In concluzie, diagramele din fig. 35 - 36 pot fi folosite în practică pentru determinarea coeficientului global de rezistență cauzat de prezența materialului în conducta de transport. Trasate pentru prima dată pentru nutrețurile concentrate măcinate, ele vin să completeze golul existent în literatură în acest domeniu.

Metoda folosită de autor pentru determinarea acestui parametru, nu este întâlnită în literatură. Erorile de măsurare situate sub 5% considerăm că precizia acestor determinări este satisfăcătoare.

2.9. Influența vitezei curențului de aer v_a , asupra gradului de utilizare a energiei η_n

În analiza relației (127) stabilită de autor pentru determinarea gradului de utilizare a energiei, reiese că acesta

este influențat în mod determinant de viteza curentului de aer v_a .

Pentru instalația experimentală folosită, s-a exprimat grafic dependența $\eta_u = f(v_a)$ pentru diferite debite de alime-tare, cu porumb măcinat (fig.89)

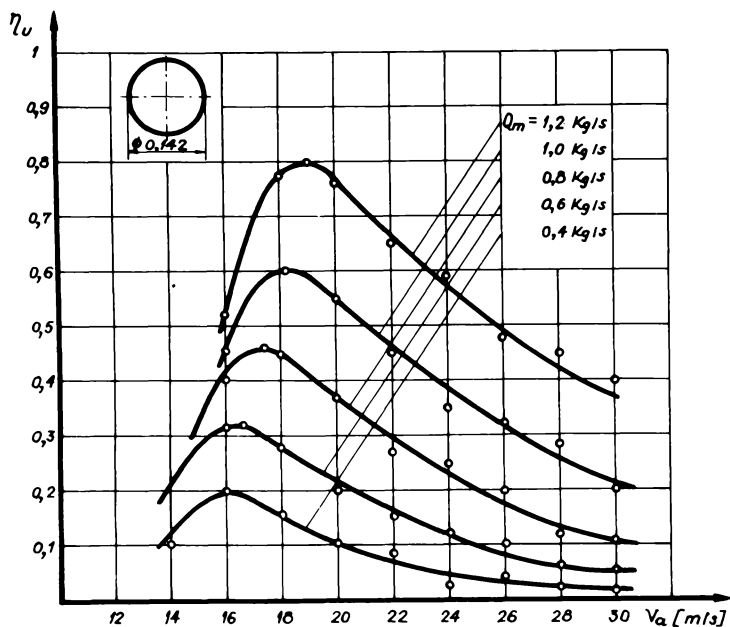


Fig.89. Dependența gradului de utilizare $\eta_u = f(v_a)$ într-o conductă orizontală cu $\phi 142$ mm pentru porumb măcinat

Din această diagramă reiese faptul că gradul de utilizare al energiei mediului de transport are valorile maxime pentru anumite debite de material, la viteze ale curentului de aer situate în apropierea limitei de infundare. De asemenea rezultă că η_u crește o dată cu creșterea debitului de material până la o anumită valoare. La încălcări foarte mari cu material, η_u se înrătățește și această situație trebuie evitată în exploatarea instalațiilor de transport pneumatic.

Desigur, avînd în vedere că η_u este influențat și de lungimea conductei, o apreciere reală asupra acestui parametru important, se poate face numai în cazuri concrete, la

instalații de transport pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinste, unde lungimea conductei este impusă prin tema de proiectare.

CONCLUZII GENERALE

Cercetările teoretice și experimentale ale autorului privind: stabilirea unei metode de calcul a pierderilor de presiune ce se produc la deplasarea nutrețurilor concentrate măcinate, în condițiile transportului pneumatic, într-o conductă orizontală cu secțiune circulară constantă; stabilirea dependenței vitezei particulelor de nutreț concentrat măcinat, în funcție de viteza curentului de aer; stabilirea gradului de utilizare a energiei pentru transportul pneumatic al acestor nutrețuri; determinarea mărimii unor caracteristici fizico-mecanice ale nutrețurilor concentrate măcinate și determinarea coeficientului global de rezistență la deplasarea acestor nutrețuri în conducte de transport, sînt în evidență următoarele:

1. În baza analizei fenomenelor ce se produc în timpul transportului pneumatic în conductele orizontale cu secțiune circulară, autorul a stabilit relația (69) pentru calculul pierderilor de presiune produse de frecarea aerului cu pereții conductelor lungi, întâlnite în cadrul fabricilor de nutrețuri concentrate combinate.

Apră deosebire de relațiile utilizate pînă în prezent în acest scop, relația (69) conține și variația gradientului de presiune a aerului de transport, exprimînd astfel mai exact fenomenul ce are loc în instalațiile de transport pneumatic, în conducte lungi;

2. În lucrare se fac completări originale asupra dinamicii particulelor de material, în conducte orizontală. Acest lucru a permis autorului să stabilească pe cale teoretică relația (95) pentru calculul pierderilor de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor de nutreț concentrat măcinat,

cu pereții conductei de transport, considerind că aceste pierderi sînt influențate de debitul de material existent în conductă, de numărul de ciocniri al particulelor de nutreț la parcurgerea unei anumite lungimi de conductă, de pierderile de viteză la fiecare ciocnire și de parametri constructivi ai conductei de transport.

3. Nutrețurile concentrate măcinate se prezintă în general sub forma unor particule cu dimensiuni ce variază în limitele 0,1 - 3 mm. În timpul transportului pneumatic, în conducta orizontală cu secțiune circulară, aceste particule de nutreț sînt antrenate în mișcare de curentul de aer, cu viteze de deplasare diferite. Din această cauză, particulele se ciocnesc între ele, producîndu-se o disipare a energiei lor cinetice.

Autorul considerînd acest fenomen ca o particularitate a transportului pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, care nu a fost studiată pînă în prezent, a stabilit pe cale teoretică relația (116) pentru calculul pierderilor de presiune datorate ciocnirii particulelor între ele.

Relațiile (95) și (116) conțin termenul $\rho_m/A \cdot v_m$, care reprezintă densitatea reală a particulelor de material în conducta de transport. Polecit pentru prima dată, acest termen mărește gradul de precizie a calculului pierderilor de presiune cauzate de prezența materialului în conducta de transport.

4. Autorul a stabilit în cadrul cercetărilor teoretice, relația (117) pentru calculul pierderilor totale de presiune datorate mișcării particulelor de nutreț concentrat măcinat, în sensul de deplasare al curentului de aer, în conducta de transport orizontală cu secțiune circulară. Această relație conține termeni care țin seama de influența principalilor factori (p_1 , v_a , v_m , σ_a , ρ_{mv} , L , D , λ_{ac} , λ_{mc} , λ_{ma}) asupra pierderilor totale de presiune.

5. Relația (122) stabilită de autor pentru determinarea vitezei particulelor de nutreț concentrat măcinat, ce se deplasează într-o conductă orizontală cu secțiune circulară, precizează că acest parametru depinde de viteza curentului de aer, de debitul de alimentare cu material, de para-

metrii constructivi ai conductei și de viteza de plutire a particulelor.

6. Autorul a definit sub o formă originală, gradul de utilizare a energiei în cadrul transportului pneumatic și apreciază că acesta este indicatorul principal în raport cu care se pot analiza sub aspect energetic diferite instalații de transport.

Relația (127) stabilită de autor pentru calculul gradului de utilizare a energiei, arată că pentru fiecare secțiune de conductă, există o valoare optimă a acestui parametru, atât pentru o anumită înălțime sau material a conductei cât și pentru o anumită putere a curentului de aer utilizat pentru transport.

7. Încercările experimentale asupra procesului de transport pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta orizontală cu secțiune circulară, au fost efectuate pe o instalație concepută, proiectată și realizată prin colaborare în cadrul laboratorului Catedrei de Mașini agricole de la Facultatea de Mecanică agricolă din Timișoara.

Instalația realizată este prevăzută cu dispozitive pentru reglarea vitezei curentului de aer și a debitului de alimentare cu nutreț concentrat măcinat. Pe conducta de transport sînt prize pentru tuburi Pitot și prize pentru măsurarea presiunii statice legate la un panou cu piezometre.

8. Metodica încercărilor stabilită de autor, a permis studiul influenței unui număr mare de factori asupra transportului pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta orizontală cu secțiune circulară.

9. Pentru determinarea granulozității nutrețurilor concentrate măcinate, autorul a conceput, proiectat și realizat un dispozitiv destinat sortării particulelor de nutreț, după dimensiuni. Datele obținute, atestă faptul că aceste materiale, se prezintă sub forma unor particule cu dimensiuni de 0,1 - 3 mm.

10. Măsurătorile privind determinarea densității nutrețurilor concentrate măcinate s-au făcut cu o precizie satisfăcătoare. Astfel datele obținute pot fi folosite în cadrul serviciilor de proiectare a instalațiilor de transport pneumatic, completându-se totodată golul existent în literatura de specialitate cu privire la această proprietate a nutrețurilor.

11. Autorul a conceput, proiectat și realizat un aparat original pentru determinarea coeficientului de frecare dinamic al materialelor utilizate în încercările experimentale. Metoda încercărilor a permis stabilirea mărimii coeficienților de frecare dinamici pentru nutrețurile concentrate măcinate, în raport cu viteza, valori care lipsesc din literatura de specialitate.

12. Pierderile specifice de presiune datorită frecării curentului de aer cu pereții conductei, au fost determinate în raport cu variația vitezei medii a curentului de aer. Se poate constata perfectă concordanță a valorilor măsurărilor experimentale cu valorile calculate.

Acest lucru atestă că ipoteza făcută de autor cu privire la influența variației gradientului de presiune are un suport real. Ca atare relația (69) permite stabilirea cu exactitate a pierderilor de presiune cauzate de frecarea aerului cu pereții conductei orizontale cu secțiune circulară și se impune pentru a fi utilizată în calculul instalațiilor de transport pneumatic.

13. Pierderile de presiune totale, la transportul nutrețurilor concentrate măcinate în conducta orizontală cu secțiune circulară, după determinările experimentale ale autorului, cresc o dată cu creșterea lungimii conductei de transport. Această creștere este mai accentuată pe primii metri după secțiunea de alimentare, pentru ca în zona micșării stabilizate să aibă tendința de a se uniformiza. În această zonă, variația lor este aproximativ liniară, cu creșterea lungimii conductei.

14. Autorul a stabilit în baza cercetărilor experimentale, că pierderile de presiune totale la transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta orizontală, cu secțiune circulară, cresc liniar cu creșterea debitului de material. Această dependență liniară este valabilă pentru domeniul în care au fost efectuate încercările.

15. Pierderile specifice de presiune la transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinate, în conducta orizontală cu secțiune circulară, după datele experimentale ale autorului, cresc o dată cu creșterea debitului de material.

Astfel, pentru valori reduse ale vitezei curentului de aer (în general pentru $v_a < 16$ m/s) în conducta de transport au loc depuneri de material.

În acest domeniu pierderile specifice de presiune, scad o dată cu creșterea vitezei curentului de aer, prezentînd un minim caracteristic fiecărui debit de alimentare, pentru fiecare material. Acest minim corespunde punctului de consum minim de energie pentru transportul pneumatic al materialului respectiv. La mărirea vitezei aerului peste punctul optim, pierderile specifice de presiune cresc din nou, consumul de putere necesar transportului pneumatic mărindu-se.

Rezultă că regimul rațional de funcționare, corespunde vitezei curentului de aer, pentru care pierderile de presiune prezintă un minim sau în domeniul învecinat la dreapta de acest minim.

16. Pentru debitele de alimentare $q_m = 0,4 - 1,2$ kg/s corespunzătoare productivității morilor cu ciocan MC-3 și MC-5 care echipază fabricile de nutrețuri combinate, vitezele optime ale curentului de aer pentru transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinat utilizate în cadrul încercărilor pe instalația experimentală, sînt cuprinse în limitele: $v_a = 16,8 - 21$ m/s pentru orș măcinat; $v_a = 16,2 - 20$ m/s pentru șrot de în; $v_a = 16,8 - 20,8$ m/s pentru șrot de soia; $v_a = 15,8 - 19$ m/s pentru șrot de floarea soarelui; $v_a = 15,4 - 18,4$ m/s pentru tărîțe.

Aceste valori ale vitezei curentului de aer, nu lipsit pînă în prezent în literatura tehnică de specialitate. Astfel se oferă serviciilor de proiectare noi date cu privire la transportul pneumatic al nutrețurilor concentrate măcinat prin conducta orizontală cu secțiune circulară.

17. Valorile numerice ale vitezei particulelor de material concentrat măcinat și ale coeficientului global de rezistență, calculate cu relațiile (122) și (163) stabilite pe cale teoretică de autor, s-au obținut prin utilizarea calculatorului Felix C-256. În acest scop autorul a întocmit programele de calcul în limbaj FORTRAN, organigramele acestor programe fiind prezentate în lucrare.

18. În baza soluțiilor numerice oferite de calculator a fost stabilită dependența $v_a = f(v_a)$ pentru diferite debite de

alimentare, corespunzătoare celor șase nutrețuri concentrate măcinare folosite pentru încercările experimentale. Se constată că o dată cu creșterea vitezei curentului de aer crește și viteza particulelor de material. Dependența liniară v_m of (v_a) stabilită de autor, este valabilă numai în domeniul transportului pneumatic pentru valori ale curentului de aer $v_a = 15,4-32$ m/s. În afara acestor valori este posibil ca această lege de variație să nu mai fie respectată și acest lucru mai ales pentru $v_a < 15$ m/s, cînd în conducta de transport apar depuneri de material. Diagramele trasate de autor pentru această dependență, au importanță practică, întrucît oferă posibilitatea de determinare a vitezei materialului în funcție de viteza curentului de aer în conducta de transport, în mod operativ și cu o precizie satisfăcătoare.

19. Valorile numerice oferite de calculator au permis autorului să stabilească dependența $\lambda_m = f(Fr_m)$.

Se poate constata că, coeficientul global de rezistență, crește cu micșorarea numărului lui Froude, mai pronunțat decît particulele de material au o suprafață aspră. Pentru valori mici ale numărului lui Froude, corespunzătoare limitei de infundare, coeficientul λ_m crește foarte mult.

Folosind o metodă originală, autorul a determinat mărimea coeficientului global de rezistență, pentru fiecare nutreț concentrat măcinat folosit în încercările experimentale, ceea ce reprezintă o contribuție însemnată în studiul transportului pneumatic al acestor materiale, avînd totodată în vedere că pînă în prezent aceste valori lipseau din literatura de specialitate.

Prin stabilirea acestui coeficient precum și a celorlalte caracteristici ale nutrețurilor concentrate măcinate (granulozitate, densitate, coeficient de frecare dinamică) se oferă serviciilor de proiectare date sigure pentru calculul instalațiilor de transport pneumatic al acestor materiale.

20. Cercetările autorului au arătat că, gradul de utilizare a energiei mediului de transport, are valori maxime pentru anumite debite de material, la viteze ale curentului de aer situate în apropierea limitei de infundare a conductei. La încălziri mari cu material η_m se înrutățește și această

situație trebuie evitată în exploatarea instalațiilor de transport pneumatic. Desigur, având în vedere că gradul de utilizare a energiei este influențat în mod hotărâtor de lungimea conductei, o apreciere reală asupra acestui parametru important se poate face numai în cazuri concrete la instalații de transport pneumatic unde lungimea conductei este impusă prin tema de proiectare.

Date parțiale din prezentul studiu teoretic și experimental, au fost utilizate la elaborarea lucrării „Cercetări privind stabilirea parametrilor principali ai transportoarelor pneumatice pentru cereale boabe și măcinături”, executată, în baza contractului de colaborare cu Institutul de Cercetări pentru mecanizarea agriculturii din București - nr. 8054/1972.

BIBLIOGRAFIE

1. Adam O. - Feststoffbeladene Luftströmung Geschwindigkeit. Chemie Ing.Technik nr.3/1957
2. Allen H.W. - Transportul pneumatic al făinii în vrac. Mădrit și panificație CS-I.D.T. nr.4/1965
3. Arrivo A. - Caratteristiche dei prodotti agricoli in relazione de trasporto pneumatico. Machine Motoci Agr. nr.4/1971
4. Barth W. - Neuere Untersuchungen über die Vorgänge bei der pneumatischen Förderung. Die Mühle Bd. 91/1954
5. Barth W. - Neues Verfahren zur Bestimmung der augenblicklich geförderten Gutmengen in Luftstrom bei pneumatischer Förderung. Chemie Ing.Technik nr.9/1957
6. Barth W. - Strömungsvorgänge beim Transport von Festteilchen und Flüssigkeitsteilchen in Gasen mit besonderer Berücksichtigung der Vorgänge bei pneumatischer Förderung. Chemie Ing.Technik nr.3/1958
7. Barth W. - Physikalische und wirtschaftliche Probleme des Transportes von Festteilchen in Flüssig und gasen. Chemie Ing.Technik nr.3/1960
8. Barth W. - Der Druckverlust bei der Durchströmung von Füllkörpersäulen mit und der Belastung. Chemie Ing.Technik nr.31/1960
9. Barth W. - Absetzung Transport und Wiederaufarbeitung von staubförmigen Gut im Luftstrom. Chemie Ing.Technik nr.3/1963
10. Băgălean A. - Incercarea mașinilor hidraulice și pneu-
Anten I., Anten V. matic. Editura Tehnică, București, 1959
Preda I.

11. Bild A. - Pneumatika doprava II. Studiji ped-
kladji Z.V.V.Z. Milvsko, 1962
12. Bode C.
Schultz W. - Untersuchungen über den Schwerkraft-
einfluss beim horizontalen pneumati-
schen Transport. Chemie Ing. Tech-
nie nr.1/1965
13. Bohmet M. - Experimentelle und theoretische
Untersuchungen über das Absetzen-
des Aufwähls und den Transport
feiner staubteilchen in pneumati-
schen Förderleitungen. V.D.I.Fer-
schungsheft 507/1965
14. Brounstein B.I. - Osnovi teorii pnevmaticheskogo tran-
sports I-II. Izviesia tehniceskii fi-
ziki nr.1/1953.
15. Buvici A. - Fluctuații ale cizăi cizăiț v plotnih
dispersnih sistemah. Injinerno-Fi-
ziki Jurnal nr.3/1963
16. Bührke H. - Elementare Bewegungsvorgänge bei
der pneumatischen Förderung in wa-
gerechten Leitungen. Chemie Ing.
Technic nr.11/1966
17. Bulat A. - Instalații de transport pneuma-
tic. Editura Tehnică, București,
1962
18. Chand P.
Ghosh D.P. - Critical Analysis of Pressure Drop
under Pneumatic Conveyance of so-
lid. Jurnal of Agric. Engng. Res. nr.
1/1960
19. Chand P.
Ghosh D.P. - Dynamics of Particles under Pneu-
matic Conveyance. Journal of Agric.
Engng. Res. nr.1/1963
20. Clark E.
Richardson I. - Pneumatic conveying I. Industr.
Engng. Chem. 3e/1952

21. Crans J.W.
Carleton W. - Predicting Pressure Drop in Pneumatic Conveying of Grains. Agricultural Engineering nr.3/1957
22. Descamps M.
Huglo B. - Instalații pneumatice de transport pentru produse în vrac. Biblioteca I.D.T. - D-66376
23. Dickinson S.B. - Instalații de transport pneumatic în mori. Morărit și panificație CS-IDF nr.1/1964
24. Dietrich P. - Silo für kunststoffpulver. Chemie Ing. Technik nr.2/1959
25. Smitrowski S. - Posibilitățile de fărâmițare a cerealelor într-un curent de aer de mare viteză. Morărit și panificație CS-IDF nr.2/1963
26. Dobber W. - Transportul pneumatic al prafului de carbune, betonitei și nisipului cuarțos. Biblioteca I.D.T. D-66025
27. Dobrescu P. - Realizări în transportul pneumatic. Biblioteca I.D.T. B-253767
28. Dogin M.K.
Lebedev I. - Dependence of resistance in pneumatic conveying pipeline on the fundamental parameter of two phase flow. Industr. Engng. Chem 2/1962
29. Doufman M.H. - Transportul pneumatic al cerealelor și al produselor de prelucrare a acestora. Biblioteca I.D.T. B- 51459
30. Dziadosz A.M. - K.voprosu o gidrodinamiko pnevmatiko-cesogo transporta. Izvestia VUZ „Pisocvaia Tehnologia” nr.4/1959
31. Dziadosz A.M.
Kemper A.S. - Pnevmaticeskii transport seranich produktov o gorizontainih trubah. Izvestia VUZ „Pisocvaia Tehnologia” nr.3/1960

32. Dainizio A.ă.
Kosner A.S.
33. Zarico T.
34. Faniberg S.
35. Farbar L.
36. Flatt J.
37. Ghosh D.P.
38. Gluth M.
39. Gollanu D.
40. Gollman E.ă.
Finkel A.I.
41. Gurviț A.A.
- Pneumaticeski transport na sernoperepabetivajușoih predpriatiach. Izdatelstvo „Kolos” Moskva, 1967
 - Transportul pneumatic. Transporti industriali nr.124/1969
 - Instalație pneumatică pentru transportul deșeurilor. Mărit și panificație CS-IDT nr.12/967
 - Flow characteristics of solid gas mixture in a horizontal and vertical conduit. Industr. Engng. Chem. nr.41/1949
 - Aerul ca element de transport. Mărit și panificație. CS-I.D.T. nr.5/1963
 - Presure drops due to solids. Around. Horizontal Elbow Bend during Pneumatic Conveyance. Journal Agric. Eng. Res. nr.2/1970
 - Untersuchungen zur wurrage blase Forderung. V.D.I. Forschungshft nr.544/1971
 - Material documentar privind calculul și proiectarea instalațiilor de transport pneumatic. Biblioteca Academiei-III- 518036/1966
 - Automatizarea transportului pneumatic. Mecanizare și automatizare- CS- I.D.T. nr.12/1961
 - K voprosu o dviženie tverdoj dinstiți v potoku gase. Izvestia VUZ „Energetika” nr.6/1963

42. Hlobustov N.K. - Opredelenie optimalnoi dlini trubosernopulta i skorosti tel v naklonom potoke. Traktori i selhozmashini nr.2/1959
43. Hudacov G.N. - O dvizhenii tverdykh ciastic v gazovoi. Izvestia AN. SSSR-OTN nr.7/1955
44. Ignatovski N.F. - Charakteristika aerodinamicheskikh besoborotnykh spertsy i a fainii do fin. Mashtab i panifikatsiia. OS - I.S.T. nr.3/1963
45. Juharev A.A. - Eksperimentalnoe issledovanie kharaktera dvizhenia ciastitsy o truboprovodakh transporta. Inzhinerno fizicheski jurnai nr.2/1959
46. Juharev A.A. - Izmerenie skorosti dvizhenia ciastic sipusnykh materialov v truboprovodakh pnevmaticheskogo transporta. Inzhinerno fizicheski jurnai nr.1/1959
47. Kalinaevskii M.P. - Pnevmaticheskii transport v stroitelstve. Gosstroizdat Moskva, 1961
48. Kampf B. - Theoretische und experimentelle Untersuchungen an wurfgeblassen. V.D.I. Forschungsheft, 466/1970
49. Karpov A.I. - Eksperimentalnoe issledovanie skorosti ciastitsy i soprotivlenii pri pnevmaticheskogo transporta. Izvestia VUZ „Energetika“ nr.3/1961
50. Kanner A.S.
Dziadnie M.A. - Diagramy dlia rasscheta truboprovodov gorizontalnogo pnevmaticheskogo transporta. Izvestia VUZ „Pisecvaia Tehnologii“ nr.3/1962
51. Kanner A.S.
Dziadnie M.A. - Analiza energosmoosti gorizontalnogo pnevmaticheskogo transporta. Izvestia VUZ „Pisecvaia Tehnologii“ nr.4/1962
52. Kanner A.S.
Dziadnie M.A. - Smocit skorosti vitania v srobdnykh i sternnykh usloviih. Izvestia VUZ „Pisecvaia Tehnologii“ nr.5/1962

53. Kemmer A.B. - Posibilitatea de reducere a consumului de energie în morile cu transport pneumatic. Morărit și pacificăție CS - I.D.T. nr.12/1965
54. Kikawa Sh. - Research on the pneumatic Conveyance of Densely Concentrated solid Particles in a Horizontal Pipe. Bulletin of J.S.M.E. nr.24/1963
55. Kikawa Sh.
Utsuki R.
Sakai K. - On the Pressure Drop and Logging Limit in the Horizontal Pneumatic Conveyance Pipe. Bulletin of J.S.M.E. nr.52/1965
56. Koshiba K. - Prispevak k praktike aerodinamice obilnih arna I-II. Znanostna Tehnika nr.4 și 5/1962
57. Krigger E. - Procedee de transport hidraulic al materialelor solide cu granule mici. Transport intern uninal CS-I.D.T. nr.8/1969
58. Kusnia B. - Povešenie proizvoditelności prevuz-transportera. Mehanizacija i elektrif. selh.hos. nr.5/1966
59. Lajcs H. - Transportoare pneumatice pentru boabe în agricultură. Mecanizarea agriculturii CS- I.D.T. nr.2/1966
60. Lehmann W. - Folosirea unei instalații pneumatice de aspirație în șelărie. Biblioteca I.D.T. D-95129
61. Leupp M. - Physikalische und wirtschaftliche Probleme der pneumatischen Förderung und Fördermittel nr.1/1961
62. Lupert A. - Die Staub-Luft-Förderung von Pulvern und Schüttgütern mit hohen Gutkonzentrationen in Gestrom-Sin neuer Fördervorgang. Experimentelle und theoretische Untersuchung. Dissertation Techn., Hochschule Karlsruhe, 1965

63. Iăpov I.
Fateev H. - Transportul pneumatic. Tractoare și mașini agricole nr.11/1961
64. Makuch F. - Restabilizarea transportului pneumatic al produselor intermediare de măcinare. Montaj și punificare. C.S- I.D.T. nr. 12/1963
65. Malakuskas M. - Transportare pneumatice. Tractoare și mașini agricole nr.9/1962
66. Mateescu G. - Hidraulica. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1963
67. Măneșcu B. - Instalații de transport pneumatic în industrie și agricultură. Biblioteca Academiei D-III-382720
68. Modiga M.
Dănilă I.
Ionescu H.
Fitero I. - Cercetări asupra transportului pneumatic al semințelor în conducte de lungime mică dispuse vertical. „Studii și cercetări de mecanică agricolă” nr.4/1970
69. Modiga M.
Dănilă I.
Ionescu H.
Fitero I. - Studii privind alimentarea pneumatică cu semințe a selectorului SU-4. Caiet selectiv cu lucrări de colaborare cu producția - I.P.T. - 1970
70. Montarov E. - Elaborarea unei teorii asupra transportului pneumatic. Transport intern și depozitare C.S- I.D.T. nr.10/1968
71. Morev H.E. - Calculul conductelor de fâină la instalațiile de transport pneumatic. Montaj și punificare C.S. - I.D.T. nr.3/1963
72. Müller H. - Untersuchungen über den pneumatischen Transport von Feinstaub in einer horizontalen Förderleitung. Dissertation Techn. Hochschule Karlsruhe, 1957
73. Muechelmanns E. - Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Druckverluste pneumatischer Förderleitungen. V.D.I. Forschungsheft, 476/1959

74. Muschelkants B. - Vereinfachte Berechnung horizontaler pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gabelendung mit feinkörnigen Produkten. Chemie Ing.Technik nr.2/1969.
75. Milles W. - Formule de calcul pour le transport pneumatique. Transport intera usinal CS- I.D.T. nr.8/1967
76. Nicolardi A. - Transportul hidraulic și transportul pneumatic. Biblioteca I.D.T.-D -95129
77. Papai L. - Examination of the starting section in pneumatic grain conveying. Acta Technica - Tom XIV/1966
78. Pabstnyus G.A. - Pneumatic Conveying. Acta-Technica, Tom VIII/1954
79. Pavlis M.
Fliska V. - Calculele de bază ale transportului pneumatic. Biblioteca I.D.T.- D - 78967
80. Paulowski J. - Diametrul cel mai economic al conductelor folosite la transportul pneumatic. Marșrit și perfecționare 12/1961.
81. Pensec Is. - Transportul produselor cu presiune de aer. Marșrit și perfecționare - CS- I.D.T. nr.7/1964
82. Pîlcințeanu I.T. - Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate. Editura Tehnică, București, 1958.
83. Prajak V. - Pneumatická doprava. Učební texty vysokých škol SNTL-Praga, 1961
84. Ramon H. - Statistica matematică cu aplicații în producție. Editura Academiei, București, 1963
85. Rausch W. - Untersuchung über die pneumatische Dichtstromförderung. Fördern u Heben nr.12/1966

86. Richardson S.F. - Pneumatic Conveying of Solid velocities and pressure gradient in one inch horizontal Pipe. Industr. Chem. Engng. vol. 38/1960
87. Risk Ferid - Pneumatische Förderung von Kunststoffgranulaten in horizontalen Rohrleitungen unter Berücksichtigung des Gewichtseinflusses in Zusammenhang mit Gut- und Rohrwerkstoffeigenschaften in besonderer in optimalen Förderbereich. Dissertation Tech. Hochschule Karlsruhe, 1973
88. Mih P. - Instalații pneumatice de ridicat și transport. Transport intern uzinal. CS - I.D.T. nr.2/1967
89. Saka S.E. - Hidraulicestkie aspektivnosti pri turbulentom dvizheni tonodispersnih aeromesei. Inzhenerno Fiziceskii Jurnal Tom XIV nr.4/1968
90. Saka S.E. - Opredelenie kriticeskoi scesti vsvetennoscego potoka. Inzhenerno Fiziceskii Jurnal Tom XVIII nr.3/1970
91. Schroter A. - Instalații moderne de transport pneumatice într-o uzină de îngrășăminte chimice. Transport intern uzinal CS-IME nr.6/1967
92. Schuchart P. - Widerstandsgesetze für den Feststofftransport in geraden Röhren und Hochrührern. Dissertation Tech. Universität Berlin, 1968
93. Schuchart P. - Widerstandsgesetze für den hydraulischen und pneumatischen Feststofftransport in waagerechten geraden Röhren. Chemie Ing. Tech. nr.23/1969
94. Seglar G. - Pneumaticestkie transporta serna. Selicestvo hosenistvo za rubejom nr.3/1954

95. Siegal W. - Experimentellen Untersuchungen zur pneumatischen Förderung körniger Stoffe in waagerechten Rohren und Überprüfung der Ähnlichkeitsgesetze. W.D.I. Forschungsheft 538/1970
96. Skrivova Z. - Transporter cu aspirare regulare pentru cereale. Lucrări de pacificatie CS - I.D.T. 11/1966
97. Smith Y.M.
Mahta H.C. - Pressure drop in Solid flow system. Industr.Engng.Chem. nr.49/1957
98. Smoldirev A.E. - O drizanii aerovodnoi v trubah. Izvestia AN - SSSR OBN nr.9/1957
99. Smoldirev A.E. - Truboprovodni transport. Gostekhnizdat - Moskva - 1961
100. Selevisv M.I. - Oshlajdenie zerna pri pnevmetransporte v gorizontალna truboprovode. Izvestia VUZ „Fizicovna Tehnologii“ nr.6/1963
101. Selevisv M.I. - K voprosu vyzhivania i transportirovaniia semistogo materiala v gorizontალna truboprovode. Inzhenerno Fiziceskii jurnal nr.10/1964
102. Stannard B. - Theoretical analysis of pneumatic Conveying. Industr.Engng.Chem.nr.59/1961
103. Stepanov N.V. - Ustroistvo dlia pnevmatičeskogo transportirovaniia sipučih materialov. Mehanizacija truda i viazelih robot nr.7/1957
104. Thorley B. - An analysis of Air and Solid Flow in a Spouted Wheat Bed. The Canadian Journal of Chemical Eng. nr.3/1959
105. Todes O.N. - Metodi i protsi hīmiceskoi tehnologii. sb.AN-SSSR-1965
106. Traia D.
Louis G.J. - Agglomeration of solids by Compaction. Industr.Chem.Eng. nr.40/1962

107. Traibalkmann G. - Transportul pneumatic in intreprinderile din industria de prelucrare a lemnului. Biblioteca Academiei - II - 328922/1988-III 37892a/1958
108. Turecek F. - Calculul transportului pneumatic al produselor intermediare in morile de gra. Morarit si panificatie CS- I.D.T. nr.9/1962
109. Umstad T. - Pressure Loss in the Pneumatic Conveyance of Granular Solids. Bulletin of JSME nr.7/1960
110. Umstad T.
Morikawa Y. - Druckverluste in Mähren einer waagerechten Förderung von körnigen Gütern. Bulletin of JSME nr.12/1960
111. Umstad T. - Die experimentelle Untersuchung über die Teilchenbewegung und über die Geschwindigkeitsverteilung des Förderluft in einer pneumatischen Förderleitung. Bulletin of JSME nr.15/1961
112. Umstad T. - Pneumatische Förderung in lotrechter Mehrleitung. Bulletin of JSME nr.36/1965
113. Urban I. - Pneumatická doprava. SVTL-SVTL-Fraha, 1964.
114. Uspenski V.A. - Pnevmaticheski transport. Metalurgičeskii Sverdlovsko, 1959
115. Vavra A. - Rychlost castic pri pneumaticke dopravě I. Teoretické rekord. Zensedelska Technika nr.10/1965
116. Vavra A. - Rychlost castic pri pneumaticke dopravě II - Experimentální vyzkum. Zensedelska Technika nr.5/1966.
117. Vavra A. - Costarstředutov sacovnítel pri pneumaticke dopravě. Zensedelska Technika nr. 5/1967

118. Yevva A. - A Contribution to the Theory of ripples-bladders - kinematics of the Conveying Process. *Zeitschrift für Technische Mechanik* nr.5/1968
119. Warthing I. - Preliminary data of experimental. Editura Tehnică, București, 1959
120. Weigmann D. - Onogenizarea pneumatică a substanțelor pulverulente. Biblioteca IDT - D - 98792
121. Weidner G. - Grundsätzliche Untersuchung über den pneumatischen Fördervorgang insbesondere über die Verhältnisse bei Beschleunigung und Umlenkung. *Forschung aus dem Gebiete Ing.* nr.5/1955
122. Welschhof G. - Pneumaticii transport na predpriatish piscovci proizvodnosti. *Pisecprinind dat MI-* 1960
123. Welschhof G. - Pneumatiche Förderung bei grossen Fördergutkonzentrationen. *VDI Forschungsheft* nr.492/1962
124. Zann F.A. - Conveyability of materials of mixed particle size. *Engng.Chem.Fund.* nr.3/1964
125. Zanz F.G. - Ialodovanie procesa pneumaticescogo transportirovaniia metodom pisecociastotnoi kinetiki. *Inventia VUZ „Pisecovnaia Tehnologii”* nr.4/1960
126. x ^{II} x - Transportoare pneumatice pentru cereale. Biblioteca IDT - B - 57519
127. x ^{II} x - Transportoare pneumatice. Calculul, constructia și funcționarea. Biblioteca IDT - B - 1376
128. x ^{II} x - Transportul pneumatic în morile agricole. Biblioteca IDT - B - 26842
129. x ^{II} x - Instalații pneumatice de transport în industrie și agricultură. Biblioteca IDT - C - 8299

130. x ^x x - Realizări în transportul pneumatic din industrie și agricultură. Biblioteca I.D.T. - B - 6197*
131. x ^x x - Procedee moderne de transport, depozitare și păstrare a făinii. Biblioteca I.D.T. - B - 52616
132. x ^x x - Transportul pneumatic al produselor de măcinare a cerealelor în mori. Biblioteca I.D.T. - B - 25452
133. x ^x x - Capacitatea și proporția de amestec într-o conductă de transport pneumatic la o întreprindere de furaje combinate. Mărit și penificație CS- I.D.T. nr.4/1968

CUPRINSUL

	pag.
NOTAȚII.	2
INTRODUCERE.	5
PARTEA I-a. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND TRANSPORTUL ENERGETIC ÎN CONDUCTE ORIZONTALE.	
CAPITOLUL 1. DINAMICA PARTICULELOR SOLIDE ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC.	9
1.1. Dinamica particulelor solide, în conducta de transport orizontală, în zona de accelerare.	12
1.2. Dinamica particulelor solide, în conducta de transport, în zona de regim stabilizat.	15
1.3. Concluzii	19
CAPITOLUL 2. STUDIUL PIERDERILOR DE PRESIUNE ÎN CON- DIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL PARTICULELOR SO- LIDE, ÎN CONDUCTE ORIZONTALE.	22
2.1. Pierderile de presiune datorită deplasării ae- rului în conducta de transport.	23
2.2. Pierderile de presiune datorită deplasării par- ticulelor de material în conduite de transport.	23
2.3. Pierderile de presiune în zona de accelerare a particulelor solide.	24
2.4. Pierderile de presiune în zona de regim stabili- zat determinate prin coeficientul k	25
2.4.1. Influența diametrului D al conduitei, asupra coeficientului k	29
2.4.2. Influența diametrului D al particulelor asu- pra coeficientului k	30
2.4.3. Influența vitezei aerului de transport v_g a- supra coeficientului k	31
2.5. Pierderile de presiune în zona de regim stabili- zat, determinate prin coeficientul λ_g	31
2.5.1. Influența concentrației gravimetrice μ , asu- pra coeficientului λ_g	32
2.5.2. Influența coeficientului de frecare f , asupra coeficientului λ_g	35

	Pag.
2.5.3. Influența diametrului conductei de transport D , asupra coeficientului λ_g	36
2.6. Ecuația generală a pierderilor de presiune, în conducta de transport orizontală	36
2.7. Concluzii.	37
PARTEA II-a. CONTRIBUTII TEORETICE PRIVIND PIERDERILE DE PRESIUNE LA TRANSPORTUL PNEUMATIC AL NUTRETURILOR CONCENTRATE MACINATE, ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ.	
40	
CAPITOLUL 1. DETERMINAREA PIERDERILOR DE PRESIUNE ÎN CONDUCTA DE TRANSPORT ORIZONTALĂ, CU SECȚIUNE CIRCULARĂ.	
41	
1.1. Determinarea pierderilor de presiune produse de frecarea aerului cu pereții conductei.	43
1.2. Determinarea pierderilor de presiune produse de frecarea și ciocnirea particulelor de nutreț concentrat măcinat, cu pereții conductei.	46
1.3. Determinarea pierderilor de presiune produse de ciocnirea între particulele de nutreț măcinat concentrat, în conducta de transport pneumatic.	54
CAPITOLUL 2. CONTRIBUTII TEORETICE PRIVIND DETERMINAREA VITEZII PARTICULELOR DE NUTREȚ CONCENTRAT MACINAT, ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC, ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ.	
60	
CAPITOLUL 3. CONTRIBUTII TEORETICE PRIVIND DETERMINAREA GRADULUI DE UTILIZARE A ENERGIEI, ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL NUTRETURILOR CONCENTRATE MACINATE, ÎNTR-O CONDUCTĂ ORIZONTALĂ CU SECȚIUNE CIRCULARĂ.	
64	
CONCLUZII.	
65	
PARTEA III-a. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL NUTRETURILOR CONCENTRATE MACINATE, ÎN CONDUCTE ORIZONTALE CU SECȚIUNE CIRCULARĂ.	

	PAG.
CAPITOLUL 1. INSTALATIA EXPERIMENTALA.	66
CAPITOLUL 2. METODICA INCERCARILOR.	74
2.1. Determinarea granulosității nutrețurilor. . .	74
2.2. Determinarea densității nutrețurilor concen- trate măcinate, utilizate pentru încercările experimentale.	77
2.3. Determinarea coeficientului de frecare al nu- trețurilor concentrate măcinate utilizate pen- tru încercările experimentale.	81
2.4. Determinarea debitului dosetorului de alimen- tare a conductei de transport	95
2.5. Determinarea profilului vitezei curentului de aer în conducta cu secțiune circulară	97
2.6. Determinarea pierderilor de presiune în con- ducta de transport pneumatic	99
2.6.1. Determinarea pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei. .	100
2.6.2. Influența diametrului conductei D , asupra pierderilor specifice de presiune datorită curentului de aer	102
2.6.3. Determinarea pierderilor totale de presiune, în conducta orizontală cu secțiune circula- ră	104
2.6.4. Influența lunginii conductei de transport, asupra pierderilor de presiune totale. . .	106
2.6.5. Influența debitului de material asupra pier- derilor totale de presiune.	122
2.6.6. Influența vitezei curentului de aer, asupra pierderilor specifice de presiune.	126
2.6.7. Influența diametrului conductei de transport asupra pierderilor specifice de presiune. .	130
2.7. Determinarea vitezei particulelor de nutreț concentrat măcinat, în conducta de transport orizontală cu secțiune circulară.	131
2.8. Determinarea coeficientului de rezistență λ_m pentru nutrețurile concentrate măcinate trans- portate pneumatic.	138

	pag.
2.9. Influența vitezei curentului de aer v_a , asupra gradului de utilizare a energiei η_m . . .	143
CONCLUZII GENERALE.	145
BIBLIOGRAFIA.	152
CUPRINSUL.	166