

**INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMIȘOARA**

**FACULTATEA DE MECANICA AGRICOLA**

**Ing. DANILA ION**

**CONTRIBUTII TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA  
REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SEMINTELOR**

**TEZA DE DOCTORAT**

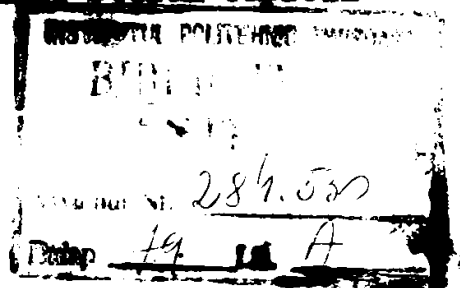
**in vederea obținerii titlului de doctor inginer**

**Conducător științific:**

**BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA**

**Prof.dr.ing. Stefan Căprofa**

**- 1973 -**



**BUPT**

## NOTATIILE SI SIMBOLURILE

- $A$  - aria secțiunii transversale a conductei ( $m^2$ );
- $Ar$  - coeficientul lui Arhimede:  $Ar = g d^3 \rho_m / \nu^2 \rho_a$ ;
- $a$  - aria secțiunii sferei echivalente ca volum cu volumul particulei solide ( $m^2$ );
- $a_1, a_m, B, B_v, b_m, C, C_1, C_2, C_v, c, E, E_v, f, K_p, m, n, O, P, P, R, s, U, \alpha, \beta, \varepsilon$  - coeficienți;
- $c_p, c_s$  - mulțimea relativă a particulelor solide care vin în contact cu pereții conductei respectiv în contact reciproc;
- $D$  - diametrul conductei (m);
- $d$  - diametrul particulei solide (m);
- $d_s$  - diametrul sferei echivalente (m);
- $F_s$  - rezistența aerului asupra particulei solide (N);
- $F_e$  - forța echivalentă de ciocnire (N);
- $F_{co}$  - forța echivalentă de ciocnire în conductă orizontală (N);
- $F_i$  - forța de inerție;
- $F_p$  - forța portantă (N);
- $Fr$  - numărul lui Froude corespunzător vitezei  $v_g$  a curentului de aer:  $Fr = v_g / \sqrt{gD}$ ;
- $Fr_p$  - numărul lui Froude corespunzător vitezei de plutire:
- $$Fr_p = v_p / \sqrt{gD}$$
- $f$  - coeficientul de frecare echivalent;
- $f_p$  - coeficientul de frecare între particule și conductă;
- $f_s$  - coeficientul de frecare între particulele solide;
- $G_m, G_1, G_2$  - greutatea probei de material (N);
- $g$  - accelerația gravitației ( $m/s^2$ );

- $H_t$  - pierderile totale de presiune ( $N/m^2$ );
- $H_{at}$  - pierderile globale de presiune datorită aerului ( $N/m^2$ );
- $H_{mt}$  - pierderile globale de presiune datorită particulelor solide ( $N/m^2$ );
- $H_a$  - pierderile de presiune datorită frecării aerului cu conducta ( $N/m^2$ );
- $H_{av}$  - pierderile de presiune datorită ridicării aerului ( $N/m^2$ );
- $H_{al}$  - pierderile de presiune locale cauzate de aer ( $N/m^2$ );
- $H_s$  - pierderile de presiune datorită particulelor solide în zona mișcării stabilizate ( $N/m^2$ );
- $H_{sc}$  - pierderile de presiune datorită particulelor solide în zona mișcării tranzitorie ( $N/m^2$ );
- $H_h$  - pierderile de presiune pentru ridicarea particulelor solide ( $N/m^2$ );
- $H_{ml}$  - pierderile de presiune locale datorită particulelor solide ( $N/m^2$ );
- $H_m$  - pierderile de presiune globale datorită particulelor solide în conducta orizontală ( $N/m^2$ );
- $H$  - pierderile de presiune totale în conducta orizontală, în zona mișcării stabilizate ( $N/m^2$ );
- $H_{hi}$  - pierderi de presiune în conducta înclinată ( $N/m^2$ );
- $H_c$  - pierderi de presiune totale în coturi ( $N/m^2$ );
- $i_p, i_s$  - coeficienți de restituire la ciocnire între particule și perete, respectiv între particule;
- $k$  - coeficientul Gasterstaedt;
- $k_f$  - coeficientul de formă a particulelor solide;
- $K_c$  - coeficientul Gasterstaedt pentru coturi;
- $k_o, k_v$  - coeficienții de rezistență a particulelor solide pentru conducta orizontală, respectiv conducta înclinată;
- $L$  - lungimea conductei (m);

$L_v, L_1$  - lungimea conductei verticale, respectiv înclinată (m);

$m$  - masa unei particule (kg);

$P, P_x, P_z$  - percuția (N.s);

$q_a$  - debitul de aer ( $m^3/s$ );

$q$  - debitul de particule solide (kg/s);

$q_s$  - greutatea semintelor (N)

$R$  - raza conductei (m);

$R_a$  - forța de rezistență a aerului asupra fazei disperse (N);

$r$  - raza particulei solide (m);

$r_h$  - raza hidraulică (m);

$Re$  - numărul lui Reynolds corespunzător vitezei  $v_a$  a curentului de aer:  $Re = v_a D/\nu$  ;

$Re_m$  - numărul lui Reynolds corespunzător vitezei  $v_m$  a particulelor solide:  $Re_m = v_m D/\nu$  ;

$Re_r$  - numărul lui Reynolds corespunzător vitezei relative:

$$Re_r = (v_a - v_m)d/\nu ;$$

$t$  - timpul (s);

$v_x$  - viteza locală a curentului de aer (m/s);

$v_a$  - viteza medie a curentului de aer (m/s);

$v_m$  - viteza medie a particulelor solide (m/s);

$v_{m0}$  - viteza medie inițială a particulelor solide (m/s);

$v_{max}$  - viteza maximă a curentului de aer (m/s);

$v_r$  - viteza relativă medie  $v_r = v_a - v_m$  (m/s);

$v_p$  - viteza de plutire (m/s);

$v_{cr}$  - viteza critică (m/s);

$X, Y, Z, x, y, z$  - coordonate curente (m);

$\mu$  - coeficientul concentrației gravimetrice;

$\rho_a, \rho_m$  - masă specifică a aerului, respectiv a particulelor solide ( $kg/m^3$ );

$\nu$  - vîscozitatea cinematică a aerului ( $m^2/s$ );

$\omega, \omega_0, \omega_1$  - viteza de rotație a particulelor solide (1/s);

$\varepsilon$  - porozitatea materialelor granulate;

$\lambda_0, \lambda_v, \lambda_i$  - coeficienții de rezistență ai particulelor solide  
la transportul pneumatic în conducte orizontale,  
verticale și înclinate;

$\lambda$  - coeficientul de rezistență datorită ciocnirii particulelor  
solide cu pereții conductei;

$\lambda_e$  - coeficientul pierderilor de presiune datorită frecării aerului cu conducta;

$\lambda_m$  - coeficientul pierderilor de presiune datorită frecării  
particulelor solide cu conducta;

$\lambda_{am}$  - coeficientul global al pierderilor de presiune la transportul pneumatic;

$\psi, \psi_0$  - coeficientul de rezistență aerodinamică a particulelor  
solide oarecare, respectiv a particulelor sferice;

$\psi_p$  - coeficientul de rezistență aerodinamică corespunzător vitezei de plutire;

$\xi_{al}, \xi_{ml}, \xi_c, \xi_m$  - coeficienți de rezistență locală;

$\Delta E, \Delta E_m, \Delta E_a$  - consumul specific de energie (J/kg.m);

$\alpha, \theta$  - unghiuri (grad)

## INTRODUCERE

Făurirea societății socialiste multilateral dezvoltate, obiectiv fundamental al vastului program de dezvoltare economică și socială a țării, program instituit la cel de al X-lea Congres al P.C.R., necesită creșterea intensă a forțelor de producție, creșterea unei economii avansate, a unei industrii și agriculturi moderne în stare să satisfacă cerințele mereu sporite ale societății, dezvoltarea învățământului și culturii, ridicarea continuă a bunăstării materiale și spirituale a tuturor oamenilor muncii, înfăptuirea repartiției bunurilor produse de societate în spiritul dreptății și echității socialiste, perfecționarea continuă a relațiilor de producție ș.a.

În cadrul acestui program, fiecărui sector economic îi revin sarcini mereu sporite, sarcini care în contextul actualei etape de dezvoltare economică și socială a țării sub îndrumul măreței acțiuni „Cincinalul în patru ani și jumătate” devin realizări concrete.

Pentru sectorul agricol, la Congresul al X-lea al P.C.R. s-au stabilit următoarele sarcini: producția globală să crească în cincinalul 1971-1975 cu 28-31%; producția de cereale să ajungă în anul 1975 la 17,5 - 18,5 milioane tone; producția de legume să depășească 4 milioane tone în anul 1975; producția globală animală să crească cu 25-28,3 în 1975 față de 1970.

Realizarea acestor sarcini de importanță majoră pentru economia națională, este legată de înfăptuirea cu consec-

vențu a obiectivelor fixate în domeniul irigațiilor, de mecanizarea complexă a muncilor agricole mai ales la cereale, plante tehnice, în legumicultură, pomicultură, viticultură și zootehnie, de producerea și folosirea semințelor de soiuri cu calitate superioară, soiuri noi de pomi și viță de vie de înaltă productivitate și de calitate superioară, îmbunătățirea raselor de animale, de extinderea folosirii îngrășmintelor chimice, aplicarea rațională și cu randament maxim a acestora, extinderea combaterii dăunătorilor și buruienilor pe cale chimică, apărarea și conservarea pământului prin ample lucrări anterozionale, aplicarea unor sisteme de acoperire și eliminarea scoaterilor de teren din agricultură în vederea altor utilizări, de perfecționarea conducerii, planificării și organizării muncii în unitățile agricole.

Creșterea producției agricole trebuie să fie coroborată cu creșterea calității produselor obținute, cu diversificarea acestora și mai cu seamă cu reducerea continuu a prețului de cost. Aceasta presupune în primul rând modernizarea și mecanizarea continuu a tuturor proceselor de producție și folosirea celor mai noi cuceriri ale științei și tehnicii în domeniul producției agricole și în al doilea rând creșterea continuu a productivității muncii prin organizarea științifică a activității productive prin ridicarea calificării și instruirii forței de muncă.

În lumina acestor principii fundamentale care stau la baza programului partidului nostru cu privire la dezvoltarea economică și socială a țării cu rezultat orientări noi în domeniul mecanicii agricole în legătură cu modul de dezvoltare și folosire a bazei materiale și de organizare a proceselor de producție în concordanță cu cerințele concrete ale etapei ac-

tuale.

În primul rând este necesar să se dezvolte parcul de mașini agricole și tractoare, astfel ca să se asigure mecanizarea completă a principalelor lucrări agricole a tuturor culturilor cu pondere însemnată în economia națională.

În al doilea rând este necesar să se realizeze o diversificare a mașinilor agricole și tractoarelor în scopul satisfacerii cât mai depline a condițiilor optime de lucru sub aspect calitativ și cantitativ pentru toate zonele pedoclimatice din țara noastră.

În al treilea rând este necesar să se asigure mecanizarea și automatizarea la un nivel cât mai înalt a lucrărilor din fermele zootehnice și din întreprinderile pentru fabricarea nutrețurilor combinate.

În al patrulea rând este necesar să se extindă mecanizarea și automatizarea lucrărilor destinate condiționării, păstrării produselor agricole atât în scopul îmbunătățirii continue a calității acestor produse pentru satisfacerea tot mai deplină a nevoilor mereu crescînde ale populației și industriei cât și în scopul reducerii continue a prețului de cost a acestor produse.

În al cincilea rând este necesar să se extindă și să se îmbunătățească transportul produselor agricole prin dezvoltarea și diversificarea parcului de mijloace de transport și îndeosebi, așa cum a arătat tov.Nicolae Ceaușescu în „Raport la Conferința Națională a Partidului comunist Român” din 19 - 21 iulie 1972: „. . . să fie intensificată acțiunea de mecanizare a operațiilor de încărcare-descărcare. . .”

Pentru cuprinderea acestui vast program de dezvoltare și perfecționare a mecanizării agriculturii în țara noastră



sînt necesare:

- activarea întregului potențial științific și tehnic de specialitate aflat în institutele de cercetări, în institutele de proiectări, în institutele de învățămînt superior, în unitățile de producție din agricultură cît și în uzinele constructoare de mașini agricole și tractoare;

- coordonarea activității de cercetare a tuturor specialiștilor în vederea lărgirii tematicii de cercetare corespunzător satisfacerii pe deplin a acestui program, evitării suprapunerilor și rezolvării cît mai rapide a tuturor sarcinilor.

În contextul acestor sarcini se înscriu și preocupările autorului în domeniul cercetării transportului pneumatic al semințelor cu privire la stabilirea regimului optim de transport în scopul îmbunătățirii procesului de condiționare a semințelor și reducerii cheltuielilor datorate încărcării și descărcării mijloacelor de transport destinate transportului semințelor și a celor datorate transportului intern în cadrul întreprinderilor pentru condiționarea și păstrarea semințelor.

Pentru ajutorul prețios acordat la orientarea științifică și la realizarea cercetărilor teoretice și experimentale, la redactarea tezei, pentru sprijinul dat pe întreaga perioadă de activitate științifică și didactică desfășurate în cadrul Catedrei de mașini agricole, autorul aduce cele mai sincere mulțumiri conducătorului științific Profesor universitar Dr.ing. CAPROIU STEFAN.

OPORTUNITATEA ADOPTĂRII CERCETĂRIILOR CU PRIVIRE LA  
STABILIREA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC

Dezvoltarea rapidă a agriculturii și creșterea continuă a producției agricole sînt însoțite de dezvoltarea corespunzătoare a unităților și capacităților de prelucrare, condiționare și păstrare a acestor produse. Îndeosebi în cadrul culturilor de cereale la care producția marfă e constituită din semințele, în urma procesului de recoltare sînt necesare o suită de operații de curățire, sortare și condiționare, atît în vederea îmbunătățirii calităților acestora cit și în vederea asigurării condițiilor optime de păstrare. Aceste operații trebuie să se execute după tehnologii bine stabilite și să aibă în vedere în primul rînd faptul că semințele sînt organisme vii a căror activitate biologică trebuie dirijată diferențiat după natura și destinația semințelor, starea lor inițială, perioada de păstrare ș.a. În tot timpul semințele respiră și degajă bioxid de carbon, apă și căldură. Vaporii de apă rezultați din procesul de respirație măresc umiditatea semințelor, iar căldura degajată, datorită faptului că semințele sînt rău conducătoare de căldură, provoacă ridicarea temperaturii în vracul de semințe. Acestea duc la intensificarea respirației și la accelerarea autoîncălzirii acestora. În timpul creșterii temperaturii semințelor în vrac au loc numeroase procese biologice care duc la degradarea calităților germinative și nutritive a semințelor. De exemplu: la temperatura de  $297-303^{\circ}\text{K}$  ( $24 + 30^{\circ}\text{C}$ ) începe fermentarea semințelor; la temperatura de  $308 + 311^{\circ}\text{K}$  ( $35 + 38^{\circ}\text{C}$ ) are loc dezvoltarea puternică a bacte-

riilor și a mușgaiurilor cu miros caracteristic produselor în fermentare; la temperatura de 323<sup>o</sup>K (50<sup>o</sup>C) se dezvoltă bacteriile rezistente la temperaturi, apare mirosul de spirt și putregai, iar culcarea semințelor se încheie.

Această stare de lucruri impune măsuri riguroase în cadrul tehnologiilor de păstrare a semințelor, privind aplicarea în mod sistematic a unor lucrări prin care să se reducă temperatura și umiditatea semințelor la valori corespunzătoare conservării și îmbunătățirii calităților biologice și industriale a acestora. În mod concret aceste lucrări constau: fie în suflarea unui curent de aer rece în stratul de semințe, fie în schimbarea locului de depozitare și „aerarea” semințelor în timpul transportului de la un loc la altul, în cazul când umiditatea aerului permite acest lucru, fie prin trecerea semințelor într-o instalație specială de uscat. În majoritatea situațiilor se folosește cea de a doua metodă. Această metodă implică însă un volum foarte mare de lucrări de transport interior în cadrul unităților pentru păstrarea semințelor.

Pentru a aprecia volumul acestor lucrări, la nivel național, este bine de amintit următoarele:

- În cadrul procesului de depozitare și păstrare a semințelor este necesar să se execute în mod repetat, la interval de 8 + 15 zile, aerarea și schimbarea locului de depozitare a semințelor în vederea eliminării surplusului de umiditate și căldură rezultate în urma activității biologice normale a acestora. În timpul păstrării, până la folosire, semințele sînt supuse acestor operațiuni de un număr mare de ori, funcție de mărimea perioadei de păstrare și condițiile de mediu;

- Cu fiecare schimbare a locului de depozitare și aerare a semințelor, acestea sînt transportate în plan orizon-

tal (pentru cazul silozurilor existente în R.S.R.) pe o distanță de 30 + 200 m și în plan vertical pe o distanță de 50 + 70m. Volumul lucrărilor de transport intern, cu ocazia acestor operații, este impresionant de mare dacă se are în vedere că, numai în anul 1972 producția globală de cereale a fost de 16.657 mii tone iar producția de ficarea-scarelei a fost de 848 mii tone. În următorii ani volumul producției agricole va înregistra creșteri însemnate la fiecare sortiment, în consecință va crește și volumul lucrărilor destinate condiționării și păstrării semințelor.

Cheltuielile de producție aferente lucrărilor de condiționare și depozitare a semințelor reprezintă 13,2% din prețul de cost al acestora. Sub aspect valoric ponderea acestor cheltuieli se situează la nivelul cheltuielilor principalelor lucrări agricole (arec, semănat, întreținerea culturilor, recoltat etc.) care se dau acestor culturi și nu sînt de neglijat în cadrul măsurilor de reducere a prețului de cost.

Raționalizarea și optimizarea condițiilor de executare a lucrărilor de transport interior în cadrul întreprinderilor pentru păstrarea semințelor au implicații economice importante și constituie o problemă care necesită rezolvări eventuale atât sub aspect tehnologic cît și economic.

Este inadmisibilă degradarea calității semințelor datorită proastei depozitări și neexecutării la timp și în condiții optime a lucrărilor de condiționare, așa cum se mai întîmplă încă în unele unități agricole. Tehnica actuală și nivelul de dotare al agriculturii din țara noastră dispun de posibilități reale de eliminare a acestui neajuns.

Anacronic este și modul de condiționare a semințelor prin lopătarea repetată a acestora, așa cum se execută în-

că în unele unități agricole din țara noastră. Acest mod de condiționare a semințelor este dezavantajos atât sub aspect tehnologic, nu se poate realiza condiționarea uniformă a tuturor semințelor, cât și sub aspect economico-social, necesită un volum imens de muncă manuală care costă foarte mult și se execută în condiții igienice dintre cele mai grele.

Este perimat sistemul de transport a semințelor cu ajutorul transportoarelor și elevatoarelor mecanice tradiționale așa cum se folosește la majoritatea silozurilor din țara noastră. Caracteristic acestor transportoare și elevatoare sînt întreținere pretentioasă, reglare repetată și greoaie îndeosebi uzurile normale accentuate ale organelor active care duc la ruperea acestora. Înlocuirea unei benzi rupte la un elevator cu cupe în condițiile și cu mijloacele de care dispun silozurile poate să dureze uneori 2 sau 3 zile, ceea ce produce perturbații însemnate atât în activitatea întreprinderii cât și în activitatea I.A.S.-urilor și C.A.P.-urilor pe care le deservește.

Soluția care rezolvă în mod favorabil, sub aspect calitativ condiționarea și transportul semințelor în interiorul întreprinderilor pentru depozitarea semințelor este transportul pneumatic. Folosirea transportului pneumatic în cadrul acestor întreprinderi prezintă următoarele avantaje:

- asigură reducerea umidității și temperaturii semințelor la valorile corespunzătoare unei bune păstrări;
- asigură curățirea periodică a semințelor de impuritățile ușoare;
- spațiul util ocupat de instalațiile de transport pneumatic este mult mai redus față de alte sisteme de transport;

- procesul de transport poate fi dirijat de la o centrală automată;

- se poate alimenta simultan din mai multe puncte și se pot amesteca perfect semințele transportate;

- nu necesită supraveghere în exploatare;

- nu cuprinde organe în mișcare care să se defecteze în timpul funcționării;

- necesită cheltuieli de investiții reduse;

- nu vatămă semințele;

- elimină împrăștierea prafului și a altor impurități ușoare;

- nu necesită întreținere specială.

De asemenea, sistemul de transport pneumatic are calitatea deosebită de a realiza ridicarea semințelor direct din vrac. Cu ajutorul transportoarelor pneumatice se poate realiza descărcarea semințelor direct din vagoane C.F.R., din autovehicule, din vase navale, reducându-se în măsură însemnată timpul de staționare a acestor mijloace de transport.

Ridicarea continuă a gradului de folosire a mijloacelor de transport feroviar, naval sau auto, în consecință optimizarea transporturilor în cazul transportului semințelor și a altor materiale granulante sau pulverulente, nu pot fi realizate fără utilizarea transportului pneumatic. Transportoarele pneumatice pot asigura debite foarte mari, până la 150-200 t/h. În R.F.G. [71] încărcarea și descărcarea semințelor se face în proporție de 80% cu ajutorul instalațiilor de transport pneumatic. În multe țări ale lumii transportul pneumatic și-a găsit multiple utilizări în diverse sectoare economice și cunoașterea continuă o extindere tot mai largă.

Nejunsul esențial al transportului pneumatic îl con-

stituie consumul ridicat de energie, comparativ cu alte sisteme de transport. În general acest neajuns este determinat de alegerea necorespunzătoare a regimului de funcționare, datorită necunoașterii condițiilor optime de lucru și a lipsei datelor necesare în literatură de specialitate. În acest sens sînt necesare noi cercetări prin care să se stabilească condițiile optime de funcționare a transportoarelor pneumatice la care consumul specific de energie să fie minim. În cadrul acestei tenației se înscriu și cercetările autorului referitor la regimul optim de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale, prezentate în teza de doctorat.

## PARTEA I-a

### STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ASUPRA TRANSPORTULUI

#### PNEUMATIC

#### CAPITOLUL I

##### CONSIDERAȚIUNI GENERALE

Curenții dispersi de tipul „aer-particule solide” din cadrul sistemelor eterogene, primesc [64, 67, 69], în contemporaneitate, o utilizare tot mai largă în diferite domenii ale industriei, agriculturii, transport ș.a.

Particularitățile caracteristice sistemelor eterogene disperse, respectiv a curenților dispersi, sînt existența a cel puțin două faze și acțiunea reciprocă dintre ele. Cele două faze sînt:

- Faza dispersantă, (după alți autori denumită faza continuă ori faza externă sau mediul de dispersie);

- Faza dispersă (ori faza discontinuă sau faza internă) sub formă de particule mărginite pe întreg conturul lor de faza dispersantă.

Acțiunea hidromecanică dintre cele două faze ale curențului dispers, excluzînd procesele în masă care pot avea loc între faze, pot duce la modificări calitative ale mediului dispers „aer-particule solide”. Aceste modificări calitative devin esențiale numai la modificarea calității sistemului dispers, adică la modificarea concentrației amestecului.

Barth [14], Dziadzio [68] și alții, analizînd sub aspect hidrodinamic curenții dispersi deosebes trei tipuri principale de sisteme disperse și anume:



- sistem dispers<sup>fix</sup> sau strat penetrat;
- sistem dispers pseudo-fluid, sau strat în suspensie ori strat fierbător;
- sistem dispers direct (transport pneumatic, transport hidraulic).

### §1. Sistemul dispers fix

Sistemul dispers fix (fig.I.1a) sau penetrant se caracterizează prin trecerea (filtrarea) fazei dispersante printre particulele solide ale fazei disperse și menținerea acestora în repaus. Parametrii de bază ai stratului penetrat sînt:

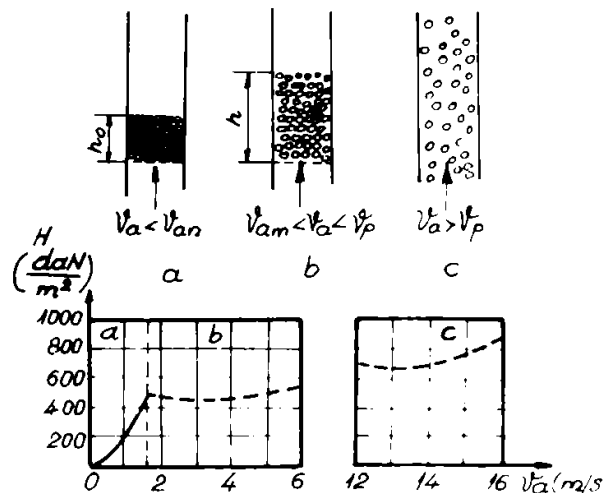


Fig.I.1. Sisteme disperse funcție de viteze curentului de aer

porozitatea  $\epsilon$  și înălțimea stratului  $h$ . În fig.I.1 sînt reprezentate cele trei sisteme disperse și pierderile de presiune corespunzătoare, funcție de viteza  $v_a$  a curentului de aer raportată la întreaga suprafață a secțiunii conductei, în cazul unor particule identice cu diametrul  $d = 5 \text{ mm}$ , masa specifică  $\rho_m = 2000 \text{ kg/m}^3$ , masa specifică a aerului  $\rho_a = 1,22 \text{ kg/m}^3$  și porozitatea  $\epsilon = 0,4$ .

Existența acestui sistem dispers se extinde în domeniul de variație a vitezei curentului de aer  $v_a$  de la zero la  $v_{an}$  ( $v_{an}$  - este viteză de antrenare). În cadrul acestui tip de sistem dispers, înălțimea  $h_0$  rămâne constantă.

### §2. Sistemul dispers pseudo-fluid

Al doilea sistem dispers (fig.I.1.b) apare în momentul trecerii particulelor din stare de repaus în stare de mișcare când, întregul strat pare că „fierbe” că se lichefiază, când viteza fluidului atinge valoarea  $v_{an}$  (caracteristică stratului dat), iar înălțimea stratului crește de la  $h_0$  la  $h$ . Limita superioară a acestui sistem o reprezintă viteza de plutire a particulelor  $v_p$  la care particulele separate sînt antrenate de curentul de fluid, iar la mărirea ușoară a vitezei fluidului sînt scoase din limitele conductei. Stratul dispers pseudo-fluid are loc pentru cazul când  $v_{an} < v_a < v_p$ . Înălțimea stratului  $h$  și porozitatea lui  $\varepsilon$  se modifică o dată cu modificarea vitezei  $v_a$  a curentului de aer.

### §3. Sistemul dispers direct

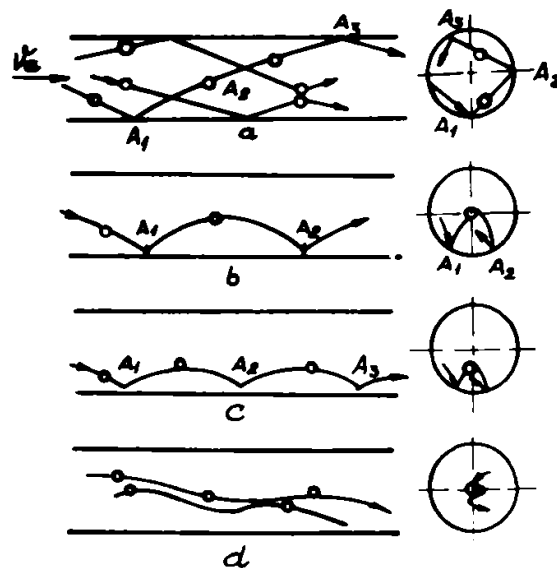
Al treilea sistem dispers are caracteristic faptul că ambele faze se deplasează. Un caz particular al acestui sistem dispers îl reprezintă transportul pneumatic și transportul hidraulic în cadrul cărora cele două componente sînt total dispersate, deplasarea lor se face <sup>în</sup>schicurent, iar viteza fluidului depășește viteza particulelor solide. În cazul curentului ascendent (fig.I.1c) acest regim începe în momentul când viteza fluidului depășește viteza de plutire a particulelor  $v_a > v_p$ .

În fiecare din cele trei sisteme curenții dispersi

primesc calități noi, proprii fiecărui tip de sistem. Astfel, stratul fix penetrat față de cel nepenetrat este mai friabil. Stratul pseudo-fluid capătă proprietăți caracteristice lichidelor, mobilitate mare, curgere. În cadrul transportului pneumatic particulele solide se deplasează atât în lungul conductei cât și în secțiunea transversală. Transportul pneumatic poate exista de la cea mai scăzută concentrație când porozitatea  $\varepsilon \rightarrow 1$  (o singură particulă) până la concentrații ridicate când particulele solide se deplasează în curent (șuvoi) continuu. Particularitățile specifice ale fiecărui sistem decurg și din condițiile în care se realizează. Astfel, transportul pneumatic a particulelor solide în conducte rectilinii diferă de transportul pneumatic în conducte curbe, transportul pneumatic în conducte verticale, are particularități specifice față de transportul pneumatic în conducte orizontale. Transportul pneumatic al particulelor solide la concentrații obișnuite se realizează dacă  $v_a > v_p$ , pe când transportul pneumatic la concentrații ridicate când particulele solide curg în șuvoi continuu, se poate realiza și când  $v_a < v_p$  și chiar la valori foarte mici ale vitezei curentului de aer  $v_a \ll v_p$ .

În particular în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale se deosebesc diferite situații caracteristice [63, 168, 178], funcție de viteza curentului de aer și de concentrația particulelor solide, astfel:

- Transportul pneumatic cu deplasarea particulelor solide în suspensie;
- Transport pneumatic cu deplasarea particulelor solide în salturi;
- Transport pneumatic prin migrație de dune.

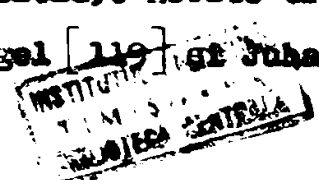


### 1.1.2. Mișcarea particulelor solide în conducte de transport pneumatic dispusă orizontal

3.1. Transportul pneumatic cu deplasarea particulelor solide în suspensie, se realizează la viteze mari ale curentului de aer și concentrații mici. Particulele solide se repartizează aproape uniform în interiorul conductei și se deplasează neregulat în diferite direcții (fig. I.2a) după traiectorii convenționale rectilinii [178].

3.2. Transportul pneumatic cu deplasarea particulelor în salturi se realizează la viteze ale curentului de aer mai mici decât în primul caz și concentrații mai mari. Particulele solide se deplasează mai ales în partea inferioară a conductei. Traiectoriile diferitelor particule (fig. I.2b) spre deosebire de cele anterioare sînt mult mai curbate.

În cadrul transportului pneumatic și hidraulic a particulelor mici, la valori ridicate ale vitezei fluidului se deosebesc și traiectorii ondulate (fig. I.2d). Aceste traiectorii au fost puse în evidență de Krieger [119] și Juha-



sev [95] .

3.3. Transportul pneumatic prin migrație de dune se realizează la valori reduse ale vitezei curentului de aer, valori mai mici sau egale cu viteze critică. În cazul acesta particulele se deplasează mai des în partea inferioară a conductei alunecând sau rostogolindu-se pe pereții acesteia. În această situație are loc formarea unui strat mișcător de particule pe pereții inferior ai conductei, strat care se deplasează asemenea unor dune în sensul de curgere al curentului de aer. Acest strat opturează parțial secțiunea conductei, ceea ce duce la creșterea vitezei curentului de aer în partea liberă din conductă. Muechelsaentz [138] a studiat în detaliu acest sistem de transport pneumatic și a pus la punct o metodă de calcul a pierderilor de presiune pentru aceste condiții.

În cadrul tezei de doctorat se analizează numai aspecte legate de transportul pneumatic cu deplasarea particulelor solide în suspensie și prin salturi la viteze ale curentului de aer superioare vitezei critice, întrucât aceste condiții sînt specifice transportului pneumatic al semențelor.

## CAPITOLUL II

### STUDIUL MISCĂRII PARTICULELOR SOLIDE ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC

#### §1. Importanța mișcării particulelor solide în condițiile transportului pneumatic

Mișcarea particulelor solide în condițiile transportului pneumatic constituie obiectul multor cercetări, iar viteza lor este apreciată [1, 10, 17, 28, 33, 36, 37, 50, 63, 68, 82, 89, 94, 98, 107, 124, 137, 145, 170, 194, 197, 200] ca unul dintre cei mai importanți parametri ai procesului de transport pneumatic. Mișcarea particulelor solide are importanță însemnată asupra următorilor factori:

1.1. Calitatea procesului de transport pneumatic [1, 10, 14, 36, 37, 54, 63, 124, 137, 197, 200] care apreciază modul în care sînt păstrate caracteristicile și proprietățile fizico-mecanice ale particulelor solide. La valori ridicate ale vitezei particulelor solide, acestea au o energie cinetică mare și la ciocnirea lor cu pereții conductelor, în-deosebi la schimbarea direcției de deplasare, este posibilă fisurarea sau spargerea lor. Pentru semințe acest fenomen este deosebit de important deoarece vătămarea embrionului, datorită ciocnirii, face ca ele să nu mai fie apte pentru producție.

1.2. Uzura conductelor instalației de transport pneumatic [1, 17, 169, 197, 200]. În timpul transportului pneumatic particulele solide vin de repetate ori în contact cu pereții conductei, ciocnindu-se sau rostogolindu-se pe su-

prafața acestora. Acest proces duce la uzura conductelor. In cazul materialelor abrazive (nisip, zgură, cenușă etc.) uzura este deosebit de pronunțată și este cu atât mai mare cu cât viteza particulelor solide este mai mare.

1.3. Economicitatea procesului de transport pneumatic [1, 18, 36, 67, 68, 105, 119, 134, 137, 203]. Consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic este funcție de viteza particulelor solide. Atît la alimentare cît și după fiecare ciocnire a particulelor cu pereții conductei de transport, particulele solide sînt accelerate treptat pînă la viteza de regim. Cu cît viteza de regim este mai mare cu atît consumul de energie pentru modificarea stării de mișcare a particulelor este mai mare.

1.4. Siguranța procesului de transport [17, 36, 68, 124, 137, 203]. La viteze mici de deplasare a particulelor solide concentrația gravimetrică crește, apar aglomerări de particule, se formează depuneri, iar transportul pneumatic nu mai are loc.

1.5. Eficacitatea proceselor tehnologice [1, 91, 92] realizate paralel cu procesul de transport pneumatic. In cazul cînd între faza dispersantă și faza dispersă au loc, pe lîngă acțiunea hidromecanică reciprocă și schimburi de masă, energie calorică, chimică, acustică ș.a. impuse de diferite operații tehnologice (reacții chimice, uscare, aerarea semințelor), realizarea acestora necesită o anumită perioadă de timp de contact a celor două faze, care pentru o anumită rețea de transport se realizează la o anumită viteză a particulelor solide.

## §2. Dinamica particulelor solide în condițiile transportului pneumatic

Pentru calculul vitezei particulelor solide în condițiile transportului pneumatic diverși autori indică diferite relații obținute fie pe cale teoretică, fie pe cale experimentală, fie în urma generalizării rezultatelor experimentale folosind criterii de similitudine corespunzătoare. Astfel pentru transportul pneumatic în conducte orizontale în cadrul zonei cu mișcare stabilizată se indică:

- După Karpov [101], Smoldirev [172], Uspenski [195]

și alții:

$$\frac{v_m}{v_a} = a_m < 1 \quad (I.1)$$

- După Gasterstaedt [200]:

$$\frac{v_m}{v_a} = a_m - \frac{b_m}{v_a} \quad (I.2)$$

- După Richardson și Lemar [160]:

$$v_m = v_a - \frac{v_D}{0,468 + 2,3 \sqrt{v_D / \rho_m}} \quad (I.3)$$

Pentru transportul pneumatic în conducte verticale în cadrul zonei cu mișcare stabilizată se indică:

- După Dziadzio [68], Chancellor [49], Hudakov [91], Smoldirev [172], Tharley [184], Urban [194], Uspenski [195]

și alții:

$$\frac{v_m}{v_a} = 1 - \frac{v_D}{v_a} \quad (I.4)$$

- După Prajak [157]:

$$\frac{v_m}{v_a} = 1 - \left(\frac{v_D}{v_a}\right)^2 \quad (I.5)$$



Maxiniuc [68] prelucrând datele experimentale pentru cazul transportului pneumatic în conducte cu diametrul de 52,5 și 100 mm, pentru concentrații gravimetrice  $\mu \in [0; 9,4]$  și viteze ale curentului de aer  $v_g \in [15; 35]$  m/s, folosind pentru generalizare criteriul Froude indică relația:

$$\frac{v_M}{v_g} = 0,19 \left( \frac{\mu}{F_F} \right)^{0,067} \cdot \left( \frac{L}{D} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{v_g}{v_p} \right)^{0,2} \quad (1.6)$$

Aceste relații obținute pe cale experimentală nu exprimă sensul fizic al procesului de transport pneumatic, valabilitatea lor este legată de condițiile particulare în care s-au făcut determinările experimentale.

În scopul stabilirii pe cale teoretică a relației de calcul a vitezei  $v_M$ , în lucrările [17, 36, 124, 137, 157, 194, 212] se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

- distribuția particulelor solide este uniformă atât de-a lungul conductei de transport pneumatic cât și în secțiunea transversală;

- frecarea particulelor solide între ele și cu pereții conductei este foarte mică și se poate neglija;

- deplasarea particulelor solide în conducta de transport pneumatic este frînată numai datorită ciocnirii cu pereții conductei. Forța de frînare echivalentă este dată de relația:

$$F_{oo} = \frac{q_*}{\rho \cdot D} \cdot \frac{v_M^2}{2} \lambda_o \quad (1.7)$$

În aceste condiții rezultă următoarele relații pentru viteza  $v_M$  a particulelor solide:

$$v_M = v_g (1 + F_{fp} \sqrt{\lambda_o / 2})^{-1} \quad (1.8)$$

Dacă particulele nu sînt uniform distribuite, tre-

buie să se țină seama și de frecarea lor cu pereții conductei [17, 36, 137], iar relația vitezei  $v_m$  devine:

$$\frac{v_m}{v_a} = \frac{1 - \sqrt{F_{rp}^2 \lambda_0 \left[ \frac{1 - \beta (F_{rp}/F_r)^2}{2} + \beta (F_{rp}/F_r)^2 \right]}}{1 - F_{rp}^2 \lambda_0 / 2} \quad (I.9)$$

La stabilirea relației (I.9) s-a considerat forța de frecare proporțională cu forța gravitațională.

$$F_f = \beta \cdot G \quad (I.10)$$

Coeficientul de proporționalitate  $\beta$ , după Gfinter [36] și Kikkawa [107] este egal cu coeficientul de frecare. Barth [17] și Muschelkants [137] consideră pentru transportul pneumatic orizontal  $\beta = v_p/v_a$  fără a depăși însă valoarea coeficientului de frecare. Pentru transportul pneumatic în conducte înclinate, Barth [17] indică:

$$\beta = \sin \alpha + v_p \cos \alpha / v_a \quad (I.11)$$

Relațiile (I.8) și (I.9) sînt valabile, așa cum arată Bulst [36], pentru cazul cînd valoarea coeficientului de rezistență  $\psi_p$  corespunzător vitezei de plutire este egal cu valoarea coeficientului  $\psi$  corespunzător vitezei relative ( $v_r = v_a - v_m$ ). Dacă  $\psi_p \neq \psi$  atunci relația (I.9) devine:

$$\frac{v_m}{v_a} = \frac{\frac{\psi}{\psi_p} - \sqrt{F_{rp}^2 \frac{\lambda_0}{2} \left[ \frac{\psi}{\psi_p} - \left(\frac{F_{rp}}{F_r}\right)^2 \beta \right] + \beta \frac{\psi}{\psi_p} \left(\frac{F_{rp}}{F_r}\right)^2}}{\frac{\psi}{\psi_p} - \frac{\lambda_0 F_{rp}^2}{2}} \quad (I.12)$$

Pápai [146] stabilește ecuația vitezei particulelor solide în cadrul mișcării tranzitorie la transportul pneumatic în conducte orizontale, sub forma:

$$v_m = \frac{v_a}{1 + C} \cdot \frac{1 - e^{-tB}}{1 - E \cdot e^{-tB}} \quad (I.13)$$

în care:

$$B = v_a (k_o \delta_a \cdot a \psi / mg)^{1/2} \quad (I.14)$$

$$C = (k_o mg / \delta_a \cdot a \cdot \psi)^{1/2} \quad (I.15)$$

$$E = (1-C)/(1+C) \quad (I.16)$$

unde:

$k_o$  este coeficientul de rezistență datorită ciocnirii particulelor solide cu pereții conductei.

Pentru mișcarea stabilizată  $t \rightarrow \infty$  se obține:

$$v_m = v_a [1 + (k_o mg / \delta_a \cdot a \cdot \psi)^{1/2}]^{-1} \quad (I.17)$$

În cazul transportului pneumatic în conducte dispuse vertical în cadrul mișcării stabilizate se consideră [17, 19, 21] că particulele solide sînt frînate de ciocnirea lor cu pereții conductei și de forța gravitațională și se obține:

$$\frac{v_m}{v_a} = \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - Fr_p^2 \lambda_v / 2)(1 - Fr_p^2 / Fr^2)}}{1 - Fr_p^2 \lambda_v / 2} \quad (I.18)$$

unde coeficientul  $\lambda_v$  este diferit de coeficientul  $\lambda_o$  caracteristic conductelor orizontale.

Păpai [146] a stabilit pentru transportul pneumatic în conducte verticale relația:

$$v_m = v_a C_v \frac{1 - e^{-tB_v}}{1 - E_v e^{-tB_v}} \quad (I.19)$$

unde:

$$B_v = v_a (k_v \delta_a \cdot a \psi / mg)^{1/2} \quad (I.20)$$

$$C_v = [1 - (v_p / v_a)^2] \cdot [1 - (k_v \cdot mg / \delta_a \cdot a \cdot \psi)^{1/2}]^{-1} \quad (I.21)$$

$$E_v = [1 - (mg \cdot k_v / \delta_a \cdot a \cdot \psi)^{1/2}] \cdot [1 + (mg k_v / \delta_a \cdot a \cdot \psi)^{1/2}]^{-1} \quad (I.22)$$

Pentru mișcarea stabilizată  $t \rightarrow \infty$  se obține:

$$v_m = v_g \left[ 1 - (v_p/v_g)^2 \right] \cdot \left[ 1 - (nck/\delta_g a \cdot \psi)^{1/2} \right]^{-1} \quad (I.23)$$

Urban [194] deduce următoarea relație pentru calculul vitezei  $v_m$  a particulelor solide în cadrul transportului pneumatic în conducte înclinate:

$$\frac{v_m}{v_g} = \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - F_{fp}^2 \lambda_f/2) [1 - (F_{fp}/F_s)^2 \sin \alpha]}}{1 - F_{fp}^2 \lambda_f/2} \quad (I.24)$$

în care:

$$\lambda_f = \lambda_p(1 - \cos \alpha) + \lambda_0 \quad (I.25)$$

Văvra [202] deduce pe cale teoretică următoarea relație pentru calculul vitezei  $v_m$  în cadrul mișcării stabilizate pentru conducte orizontale, înclinate sau verticale:

$$\frac{v_m}{v_g} = \frac{1 + \frac{b}{2a\psi} - \sqrt{\left(1 + \frac{b}{2a\psi}\right)^2 - \left(1 - \lambda_0 \frac{d}{D} \frac{1}{3a\psi} \frac{\rho_m}{\rho_g}\right) M}}{1 - \lambda_0 \frac{d}{D} \frac{1}{3a\psi} \frac{\rho_m}{\rho_g}} \quad (I.26)$$

în care:

$$M = 1 + \frac{b}{aBs} - \frac{2}{3a\psi} \cdot \frac{Ar}{R^2 s} \left( \sin \alpha + \frac{v_p \cos \alpha}{v_g} \right) \quad (I.27)$$

$$Ar = g d^3 \rho_m (\nu^3 \rho_g)^{-1} \quad (I.28)$$

Kikkawa [107, 108] în lucrările sale, consideră că particulele solide sînt frînate numai de frecarea cu pereții conductei și stabilește următoarea relație pentru calculul vitezei  $v_m$  valabilă pentru conducte orizontale, înclinate și verticale, atât pentru mișcarea transitorie cit și pentru mișcarea stabilizată.

$$v_m = v_g - v_g (e^{tc} c_1 + c_2) (e^{tc} c_1 - c_2)^{-1} \quad (I.29)$$

unde:

$$v_g = (f_p g/k_p)^{1/2} \quad (I.30)$$

$$c_1 = 2k_p \cdot v_g \quad (I.31)$$

$$C_2 = (v_a - v_p - v_s)(v_a - v_p + v_s)^{-1} \quad (I.32)$$

$$k_p = 3 \psi \delta_a (4d \cdot \delta_m)^{-1} \quad (I.33)$$

Un studiu mai complet asupra dinamicii particulelor solide în condițiile transportului pneumatic este făcut în lucrarea [51] în care se indică următoarea relație pentru calculul vitezei  $v_m$ :

$$v_m = \frac{U-R}{\psi} \cdot \frac{1 - \frac{R+U}{R-U} e^{-2U(t+C_1)}}{1 + e^{-2U(t+C_1)}} \quad (I.34)$$

unde:

$$U = \sqrt{PQ + R^2} \quad (I.35)$$

$$C_1 = \frac{1}{2U} \lg \frac{U + R}{U - R} \quad (I.36)$$

$$r = \left[ \rho_a \cdot \psi \cdot a \cdot v_a^2 (2m)^{-1} \right]^{-0.5} \quad (I.37)$$

$$\psi = k_x \cdot D^{-1} \cdot \rho_a \cdot \psi \cdot a (2m)^{-1} \quad (I.38)$$

$$R = v_a \cdot \rho_a \cdot \psi \cdot a / 2m \quad (I.39)$$

$$f = \sin \alpha + f_p c_p \cos \alpha + f_s c_s \cos \alpha \quad (I.40)$$

$$k_x = (c_p i_p + c_s i_s) mV/D \quad (I.41)$$

Pentru cazul mișcării stabilizate se obține:

$$v_a = \sqrt{\frac{4}{3} f \frac{\rho_m}{\rho_a} \frac{d}{\psi} g} + v_m \left( 1 + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{k_x}{\psi} \frac{d}{D} \frac{\rho_m}{\rho_a}} \right) \quad (I.42)$$

Chaud [51] a verificat experimental relație (I.42) scoțind în evidență caracterul variației liniare a vitezei  $v_m$  funcție de viteză  $v_a$  în domeniul de variație a vitezei  $v_a$  la care s-au făcut determinări experimentale.

Relațiile (I.1) și (I.2) au un caracter informativ, arată că  $v_m < v_a$ . Coeficienții  $a_m$  și  $b_m$  depind de parametrii

procesului de transport pneumatic, dependență care nu este exprimată analitic.

Relația (I.3) este valabilă pentru materiale pulverulente și numai pentru conducta cu diametrul  $D = 25,4$  mm. Pentru alte valori ale diametrului conductei este indicată [160] o diagramă pentru stabilirea coeficienților acestei relații, diagramă care s-a verificat numai pentru grfu.

Relațiile (I.4) și (I.5) reprezintă particularizări ale relației (I.2), dar din relația (I.5) rezultă valori mai mari pentru  $v_m$ , față de valorile rezultate din relația (I.4). Relația (I.4) este satisfăcătoare pentru valori ridicate ale vitezei  $v_a$  iar relația (I.5) dă rezultate mulțumitoare pentru valori medii ale vitezei  $v_a$  și pentru particulele cu  $d > 2$  mm.

Relația (I.6) este valabilă pentru condițiile indicate de autor și pentru lungimea conductei de pînă la 20 m.

Relațiile stabilite pe cale teoretică sînt în general asemănătoare, dar problema dificilă este definirea naturii și valorilor coeficienților de rezistență pe care îi cuprind. A-supra coeficienților de rezistență datorită ciocnirii particulelor solide cu pereții conductei multe din rezultatele diversilor cercetători sînt în concordanță. În legătură cu coeficientul  $\beta$  sînt puține indicații în literatura de specialitate. Majoritatea cercetătorilor neglijează frecarea între particule și conductă. Acest lucru nu are importanță evidentă în cazul transportului pneumatic la valori ridicate ale vitezei  $v_a$  și valori reduse ale concentrației gravimetrice. În cazul transportului pneumatic la valori reduse ale vitezei  $v_a$  și la concentrații ridicate, neglijarea frecării particulelor solide cu pereții conductei nu poate fi admisă. În general aceste relații pentru calculul vitezei particulelor solide sînt nesatisfăcă-

toare pentru proiectant sau pentru cel ce cercetează procesul de transport pneumatic. Relațiile (I.9) și (I.12) cuprind principalele elemente care caracterizează rezistențele opuse la mișcarea particulelor solide dar coeficientul  $\beta$  este nesatisfăcător definit, el depinde atât de caracteristicile particulelor solide ( $d, f, \rho_m, k_f$ ) cât și de condițiile de transport ( $D, v_a, \rho_a$  ș.a.). Aceste relații dau valoarea vitezei  $v_m$  a particulelor solide numai pentru mișcarea stabilizată ceea ce este insuficient pentru proiectarea unei instalații de transport pneumatic care în mod inevitabil cuprinde și zone cu mișcare tranzitorie.

Relațiile (I.13) și (I.19) stabilite de Păpai [146] dau variația vitezei  $v_m$  a particulelor solide funcție de timpul de mișcare în conducta de transport pneumatic, sînt relativ simple însă cuprind un coeficient de rezistență global  $k$  asupra căruia autorul nu dă nici o indicație.

Studiul făcut în lucrarea [51] și relațiile indicate au numai o importanță teoretică, cuprind un număr mare de coeficienți care țin seama de toate elementele procesului de transport pneumatic dar valorile acestor coeficienți și modul de determinare a lor nu sînt indicate.

## CAPITOLUL III

### STUDIUL PIERDERILOR DE PRESIUNE IN CONDITIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC

Pierderile de presiune reprezintă unul din parametrii principali care caracterizează sub aspect cantitativ procesul de transport pneumatic și împreună cu debitul de aer definesc caracteristicile necesare pentru sursele pneumatice. Totodată pentru o anumită rețea de transport dată, condițiile în care se realizează procesul de transport a unui anumit debit de semințe impus, se pot alege în raport cu pierderile minime de presiune. Aceste condiții corespund [68, 202] regimului optim de transport pentru situația dată.

Pierderile de presiune  $H_t$  în condițiile transportului pneumatic se împart [17, 21, 36, 44, 52, 56, 58, 63, 65, 67, 68, 107, 124, 137, 188, 194, 211] în două grupe și anume:

- Pierderile de presiune  $H_{at}$  cauzate de curgerea aerului;
- Pierderile de presiune  $H_{mt}$  - datorită particulelor solide.

$$H_t = H_{at} + H_{mt} \quad (I.43)$$

#### Sl. Pierderile de presiune cauzate de curgerea aerului

Aceste pierderi de presiune cuprind [194] trei componente:

- Pierderile de presiune  $H_a$  - datorită frecării aerului cu conducta;
- Pierderile de presiune  $H_{av}$  - datorită ridicării aerului;
- Pierderile de presiune  $H_{al}$  - datorită rezistențelor



locale

$$H_{at} = H_a + H_{av} + H_{al} \quad (I.44)$$

1.1. Pierderile de presiune datorită frecării aerului cu conducta. Pentru calculul pierderilor de presiune  $H_a$  se utilizează [131, 194] relația lui Darcy-Weisbach:

$$H_a = \frac{\lambda_a \rho_a v_a^2 L}{2D} \quad (I.45)$$

Coefficientul de rezistență  $\lambda_a$  depinde [131] de numărul lui Reynolds, rugozitatea și diametrul conductei. Pentru valori mici ale lui Re dependența coeficientului de rezistență  $\lambda_a$  față de Re este deosebit de importantă, iar pentru valori mari ale lui Re coeficientul  $\lambda_a$  depinde în mai mare măsură de rugozitatea relativă a conductei.

În general rugozitatea conductei nu se cunoaște de aceea mulți cercetători exprimă pe  $\lambda_a$  funcție de diametrul conductei și viteza medie  $v_a$  a aerului.

Relațiile de calcul ale coeficientului  $\lambda_a$  și domeniile lor de valabilitate sînt indicate în anexa I.1.

1.2. Pierderile de presiune datorită ridicării aerului. În cazul conductelor verticale sau înclinate apar pierderi de presiune datorită modificării energiei potențiale a masei de aer. Aceste pierderi de presiune se calculează cu relația:

$$H_{av} = \rho_a g \cdot L_v \quad (I.46)$$

1.3. Pierderile de presiune datorită rezistențelor locale. În cadrul curgerii curențului de aer de-a lungul instalației de transport pneumatic apar pierderi locale de presiune cauzate de: accelerarea aerului la intrarea în conductă, modificarea secțiunii conductei, curgerea prin secțiunea de alimentare cu semințe, curgerea prin coturi ș.a. Calculul acestor

pierderi de presiune se face [63, 67, 68, 131] folosind relația:

$$H_{al} = \xi_{al} \cdot \rho_a \cdot v_a^2 / 2 \quad (I.47)$$

## §2. Pierderi de presiune datorită particulelor solide

În cadrul transportului pneumatic particulele solide produc pierderi suplimentare de presiune. Aceste pierderi se împart [67, 68, 197] în:

- pierderi de presiune  $H_g$  în zone mișcării stabilizate;
- pierderi de presiune  $H_{ac}$  în zone mișcării tranzitorie;
- pierderi de presiune  $H_h$  pentru ridicarea particulelor;
- pierderi de presiune  $H_{ml}$  locale

$$H_{nt} = H_g + H_{ac} + H_h + \sum H_{ml} = H_m + H_b + \sum H_{ml} \quad (I.48)$$

Calculul pierderilor de presiune datorită particulelor solide se poate face separat pentru fiecare categorie de rezistență sau cumulat prin metoda însumării globale.

2.1. Pierderile de presiune în zone mișcării stabilizate. Pierderile de presiune  $H_g$  se pot calcula [67, 68, 201] prin două metode și anume:

- Metoda coeficientului  $k$  (Gasterstaedt);
- Metoda coeficientului  $\lambda$

2.1.1. Calculul pierderilor de presiune  $H_g$  prin metoda coeficientului  $k$ . Pierderile de presiune  $H$  care apar la transportul pneumatic în conducte rectilinii în cadrul zonei cu mișcare stabilizată cuprind: pierderile de presiune  $H_g$  datorită aerului și pierderile de presiune  $H_g$  datorită particule-

lor solide. Pentru calculul pierderilor de presiune  $H$  mulți cercetători [10, 36, 63, 67, 68, 90, 102, 103, 157, 194, 197, 202] indică relația:

$$H = H_g(1 + k\mu) = \lambda_g \rho_g v_g^2 L(1 + k\mu)/2D \quad (I.49)$$

Împărțind această relație la  $H_g$  se obține:

$$H/H_g = \psi = 1 + k\mu \quad (I.50)$$

Relația (I.49) a fost dedusă [202] încă din anul 1924 de către Gasterstaedt, folosind teoria similitudinii la prelucrarea datelor experimentale și conține, așa cum arată Urban [194] numai pierderile de presiune datorită frecării cu conducta a mediului dispers bicomponent. În lucrările [157, 194, 195, 202] se arată că relația (I.49) reprezintă numai o parte a unei formule generale complete pentru calculul pierderilor de presiune în cadrul transportului pneumatic.

Expresia (I.50) exprimă însă un aspect important privind variația liniară a raportului pierderilor de presiune a sistemului bicomponent și pierderile de presiune numai datorită aerului, variație confirmată de mai mulți cercetători [36, 52, 67, 68, 194].

Calculul pierderilor de presiune cu ajutorul relației (I.49) este foarte simplu dacă se cunoaște valoarea coeficientului  $k$ . Mulți cercetători [63, 68, 197, 202] arată că valoarea coeficientului  $k$  depinde de o serie întreagă de factori. Sintetizând <sup>rezultatele</sup> cercetările din aceste lucrări, factorii de care depinde coeficientul  $k$  se pot împărți în trei grupe și anume:

- proprietățile fizico-mecanice ale particulelor solide (dimensiuni, masă specifică, starea și forma suprafeței, viteza de plutire, elasticitate ș.a.)

- starea și regimul de curgere a aerului (viteza, viscozitatea, masa specifică, concentrația amestecului ș.a.);

- Caracteristicile instalației de transport pneumatic (forma și dimensiunile secțiunii conductei, poziția conductelor, natura și caracteristicile materialului conductelor, starea suprafeței conductelor ș.a.)

În literatura de specialitate sînt date multe indicații asupra coeficientului  $k$ . Parte din aceste indicații și condițiile de volabilitate sînt prezentate în anexa I.2.

Analizînd aceste indicații se desprinde cu ușurință complexitatea naturii coeficientului  $k$  și îndeosebi dependența lui de elementele care caracterizează procesul de transport pneumatic. Rezultă contradicții între rezultatele diverșilor cercetători, dar autorul nu-și propune punerea în evidență a acestora decît sintetizarea părerilor comune asupra sensului fizic al acestui coeficient. Astfel, coeficientul  $k$  crește în cazul:

- Creșterii diametrului conductei [67, 68, 157, 194, 197, 202]. Acest aspect se evidențiază ușor în lucrările lui Dziadzio [67, 68] din care s-a reprodus fig.1.3

- Transportului pneumatic în conducte orizontale în comparație cu transportul în conducte verticale [28, 63, 66, 67, 68, 93, 103, 157, 194, 197, 202];

- Creșterii diametrului particulelor [202];

- Creșterii concentrației gravimetrice [68, 195, 202];

- Creșterii masei specifice a particulelor [68, 195];

- Descreșterii masei specifice a fluidului [67, 68].

2.1.2. Calculul pierderilor de presiune  $H$  prin metoda coeficientului  $\lambda$ . Pierderile de presiune  $H$  în cadrul zonei cu mișcare stabilizată se pot calcula [1, 14, 16, 17, 21, 28, 36, 52, 67, 68, 108, 124, 137, 146, 157, 173, 176, 188, 191, 202] cu ajutorul relației:

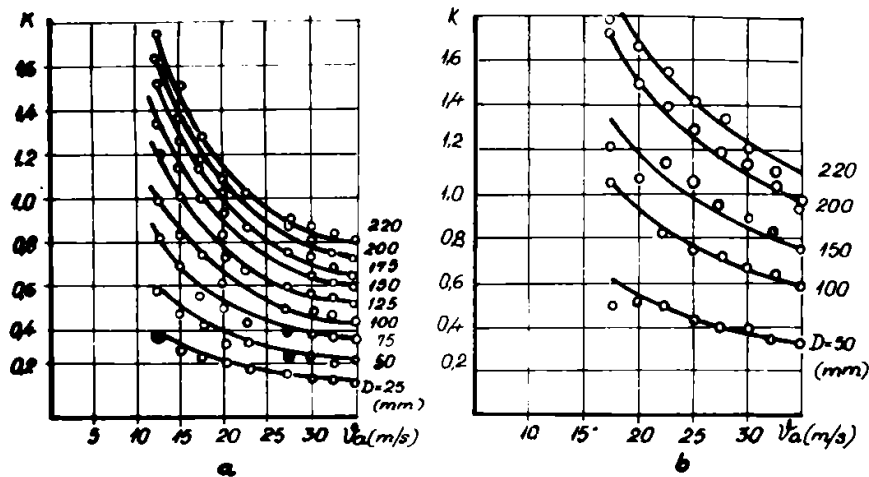


Fig. 1.3. Dependența coeficientului  $k$  funcție de diametrul  $D$ : a. semințe de grâu; b. semințe de soia

$$H = (\lambda_s + \mu \lambda_m) \rho_a \cdot v_a^2 \cdot L/2D \quad (I.51)$$

Coeficientul de rezistență  $\lambda_m$  înglobează rezistențele produse de ciocnirea și frecarea particulelor în conductă.

O altă metodă de calcul a pierderilor de presiune  $H$  indicată în lucrările [67, 68] se bazează pe ecuația hidrodinamică a curentului cu o singură componentă:

$$H = \lambda_{am} \rho_a \cdot v_a^2 \cdot L/2D \quad (I.52)$$

Coeficientul  $\lambda_{am}$  caracterizează rezistența hidrodinamică a amestecului bicomponent.

Din relațiile (I.49), (I.51) și (I.52) rezultă:

$$\lambda_{am} = \lambda_s + \mu \lambda_m = \lambda_s k \mu + \lambda_a \quad (I.53)$$

În literatură de specialitate sînt numeroase indicații asupra coeficienților  $\lambda_m$  și  $\lambda_{am}$ , dintre acestea o parte sînt prezentate în anexa I.3.

Parametrii de care depind coeficienții  $\lambda_m$  și  $\lambda_{am}$  sînt în general cei care caracterizează proprietățile de antrenare

a particulelor solide de către curentul de aer. Sintetizând concluziile din lucrările studiate rezultă următoarele:

- Coeficienții  $\lambda_m$  și  $\lambda_{am}$  descresc cu creșterea numărului lui Froude [1, 17, 108, 137, 198, 192, 194]. În fig.I.4 s-a reprezentat variația coeficientului  $\lambda_m$  funcție de Fr după datele experimentale din lucrarea [17].

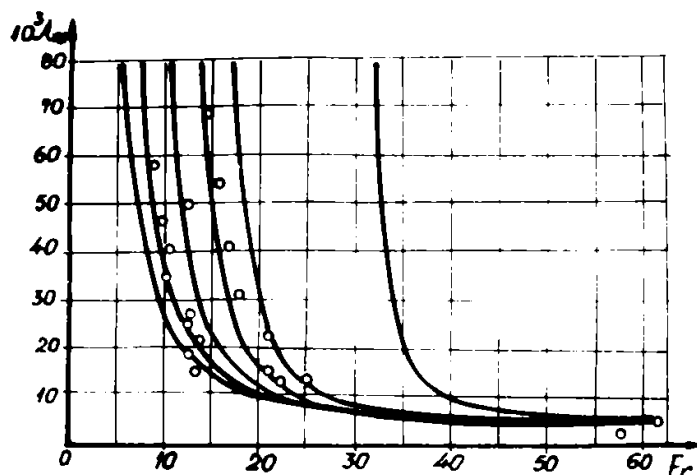


Fig.I.4. Dependența coeficientului  $\lambda_m$  funcție de Fr

Coeficientul  $\lambda_m$  descreește brusc cu creșterea lui Fr la valori mici ale lui Fr și treptat descreeșterea lui  $\lambda_m$  este tot mai lentă. După aprecierea autorului descreeșterea coeficientului  $\lambda_m$  cu creșterea lui Fr are loc datorită îmbunătățirii distribuției particulelor solide în conducta de transport pneumatic. La o valoare ridicată a lui Fr, ceea ce corespunde pentru  $v_g$  mare și D mic, particulele solide sînt antrenate mai ușor [197], viteza lor crește iar concentrația locală scade;

- Coeficientul  $\lambda_m$  crește cu creșterea concentrației gravimetrice [68, 175, 189, 192] și cu micșorarea numărului lui Fr;

- Coeficientul  $\lambda_m$  crește o dată cu creșterea diametrului  $D$  al conductei de transport [108] ;

- Coeficientul  $\lambda_m$  se micșorează o dată cu creșterea vitezei de plutire a particulelor solide [1, 108, 109] ;

- Coeficientul  $\lambda_m$  crește o dată cu creșterea coeficientului de frecare [108, 109] mai ales la valori mici ale numărului lui Froude în apropierea limitei de înrundare.

2.2. Pierderile de presiune în zona mișcării tranzitorie. Particulele solide introduse în conducta de transport pneumatic <sup>sau</sup> aflate după o curbă sînt supuse accelerării pînă cînd viteza lor ajunge la viteza de regim. Acest proces de accelerare implică un consum suplimentar de energie, căruiia îi corespunde o pierdere de presiune din partea aerului care se calculează cu relația:

$$H_{ac} = \mu \rho_a \cdot v_a (v_m - v_{mi}) \quad (I.54)$$

Această relație se mai scrie [36] :

$$H_{ac} = q(v_m - v_{mi})/A \quad (I.55)$$

în care  $v_m$  și  $v_{mi}$  reprezintă viteza de regim respectiv viteza inițială a particulelor solide.

Păpai [146] indică pentru calculul pierderilor de presiune în zona de accelerare, următoarea relație:

$$H_{ac} = q \cdot v_m^2 / 2A \quad (I.56)$$

Dziadzio [68] consideră că pierderea de presiune în zona de accelerare se datorează numai modificării cantității de mișcare a particulelor solide și indică relația:

$$H_{ac} = \beta \mu \rho_a \cdot v_a^2 / 2 \quad (I.57)$$

În care  $\beta$  este un coeficient:

$$\beta = f(v_m/v_a ; \text{Re}_p) \quad (I.58)$$

Pentru calculele practice Dziadzio [68], pe baza determinărilor sale experimentale, indică, în cazul transportu-

lui pneumatic în conducte verticale, următoarea relație:

$$\beta = 2,3 - 0,03 v_p \quad (I.59)$$

Pentru transportul pneumatic în conducte orizontale în aceeași lucrare se indică relația:

$$\beta = 7,85 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Re}_p^{0,32} \cdot \text{Fr}^{0,5} \cdot \text{Dd}^{-1} \quad (I.60)$$

Relațiile (I.59) și (I.60) au rezultat, considerându-se pierderea de presiune aferentă accelerării particulelor solide ca diferența între pierderile de presiune totale și pierderile de presiune corespunzătoare zonei cu mișcare stabilizată. Inexactitatea care s-a admis constă în faptul că s-a considerat pierderile de presiune datorită frecării și ciocnirii particulelor solide cu conducta în zone de accelerare egale cu cele corespunzătoare zonei cu mișcare stabilizată.

2.3. Pierderile de presiune pentru ridicarea particulelor solide. La transportul pneumatic în conducte verticale sau înclinate apar pierderi de presiune produse prin modificarea stării potențiale a particulelor solide [36, 67, 68, 124, 157, 194, 211]. Pentru calculul acestor pierderi de presiune în lucrarea [194] se indică relația:

$$H_D = \rho_s \cdot \mu \cdot L_v \quad (I.61)$$

În realitate concentrația gravimetrică se modifică de-a lungul conductei de transport funcție de viteza  $v_g$  și viteza  $v_m$ . Dacă se ține seama de acest lucru pierderile de presiune  $H_D$  se pot scrie [36, 68, 124, 194] ca presiune statică dezvoltată de particulele aflate în porțiunea  $L_v$  de conductă verticală astfel:

$$H_D = \rho_s \cdot \mu \cdot L_v \cdot v_g / v_m \quad (I.62)$$

În cazul conductelor înclinate se scrie [194] :



$$H_{hf} = \rho_a \cdot \mu \cdot L_T \cdot v_a \cdot v_m^{-1} \sin \alpha \quad (I.63)$$

Relațiile (I.61), (I.62) și (I.63) sînt valabile pentru zona mișcării stabilizate cînd  $v_m = \text{const.}$  Pentru zona mișcării tranzitorie [194] se ține seama și de variația vitezei  $v_m$  de-a lungul conductei, iar relația (I.62) devine:

$$H_h = \mu \cdot \rho_a \cdot v_a \int_0^{L_T} \frac{dL_T}{v_m} \quad (I.64)$$

2.4. Pierderile de presiune locale. Pierderile de presiune locale cauzate de particulele solide sînt studiate mai puțin și sînt apreciate diferit de către diverși cercetători.

Urban [194] consideră că pierderile de presiune locale  $H_{ml}$  se manifestă ca pierderi de presiune pentru accelerația particulelor solide după obstacolele hidraulice respective.

Uematu [133, 191] arată că există pierderi de presiune suplimentare cauzate de trecerea efectivă a particulelor solide prin obstacole locale în afara celor necesare pentru accelerarea acestora.

Bulet [36] indică pentru calculul pierderilor de presiune totale locale relația:

$$H_o = H_{al}(1 + k_o \mu_o) \quad (I.65)$$

în care coeficienții  $k_o$  și  $\mu_o$  se calculează pentru valoarea medie a vitezei particulelor solide la trecerea prin cotul conductei de transport pneumatic.

2.5. Pierderile de presiune globale cauzate de deplasarea particulelor solide în conducte rectilinii. Calculul pierderilor de presiune  $H_m$  prin metodele prezentate au unele neajunsuri semnalate în lucrările [52, 67, 68, 103, 194, 211] cauzate îndeosebi de valabilitatea limitată a coeficienților  $k$  și  $\lambda_m$  și de necunoașterea vitezei  $v_m$ . Palțev [144] arată detaliat erorile care s-au făcut de cercetători la determinarea

acestor coeficienți și justifică necesitatea stabilirii unei relații care să însumeze pierderile de presiune provocate de rezistențele care apar în procesul de transport pneumatic de-a lungul conductei.

Chaud și Ghosch [52] abordează această problemă pornind de la ecuațiile lui Navier-Stokes, considerind forța exterioară care acționează asupra unității de masă de fluid egală cu forța globală de rezistență a particulelor solide aflate în această masă de fluid. În urma calculelor teoretice obțin relația:

$$H_m = \frac{2Na \cdot \int_a \cdot \psi}{\pi D^2 v_m} \left\{ (v_a \cdot \xi - R + U)^2 t + U + R \left[ 1 - \frac{2U}{(U+R) + (U+R)e^{-2tU}} \right] + \right. \\ \left. + (v_a \cdot \xi - R + 3U) \lg \frac{2U}{(U+R) + (U-R)e^{-2tU}} \right\} \quad (I.66)$$

în care coeficienții folosiți au semnificațiile date de relațiile de la (I.35) la (I.41).

Înălțimea conductei  $L$  pe care au loc pierderile de presiune  $H_m$  este cea corespunzătoare timpului  $t$  și se calculează [52] cu relația:

$$L = \left( \frac{U-R}{\xi} \right) t + \frac{1}{\xi} \lg \frac{1 + e^{-2U(t+C_1)}}{2U} \quad (I.67)$$

Relația (I.66) este valabilă în cazul transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal, înclinat sau vertical atât pe zona mișcării tranzitorie cât și pentru zona mișcării stabilizate. Folosirea acestei relații nu se poate face întrucât nu sînt determinați toți coeficienții pe care îi cuprinde.

## CAPITOLUL IV

### STUDIUL VITEZEI OPTIME DE TRANSPORT PNEUMATIC

Unul din neajunsurile esențiale ale transportului pneumatic [103] este consumul ridicat de energie comparativ cu alte sisteme de transport. Pentru utilizarea în mod economic a transportului pneumatic atât în unitățile de producție din agricultură cât și în unitățile altor sectoare de activitate, din industria chimică, industria ușoară, se arată [68] că este necesar să se studieze încă din faza de proiectare posibilitățile de reducere a consumului specific de energie.

Literatura tehnică de specialitate este săracă în date privind valorile parametrilor procesului de transport pneumatic la care se asigură un consum specific de energie redus. O sumară analiză a acestor parametri este făcută în lucrarea [102] unde se remarcă că, consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale depinde în primul rând de randamentul ventilatorului și în al doilea rând de viteza curentului de aer. Se recomandă [102] să se aleagă astfel parametrii procesului de transport pneumatic ca ventilatorul să fie folosit la parametrii nominali. De asemenea, se recomandă ca viteza  $v_g$  a curentului de aer să se aleagă la valoarea minimă la care e posibil transportul pneumatic stabil cu deplasarea particulelor în suspensie.

În legătură cu prima indicație, aceasta poate fi satisfăcută încă din faza de proiectare prin alegerea sau proiectarea unui ventilator care să corespundă pentru condițiile date la instalația de transport pneumatic respectivă.

Referitor la cea de-a doua indicație, sînt unele date

în literatura de specialitate. Astfel în lucrările [66, 103] se recomandă ca viteza minimă la care transportul pneumatic este stabil este de:  $v_g = 22$  m/s, pentru mazăre, soia, mei, porumb, mazărice;  $v_g = 20$  m/s pentru grâu, orz, ovăz, hrișcă;  $v_g = (18 - 19)$  m/s pentru coji de semințe, linte. Aceste viteze asigură un transport uniform al produselor pentru concentrații gravimetrice  $\mu < 10$  și diametrul conductei  $D < 200$  mm.

În lucrarea [128] se recomandă ca viteza  $v_g$  să se aleagă conform relației  $v_g = 1,38 v_p$ . Este ușor să se observe că aplicarea acestei relații nu poate fi generalizată întrucât valorile obținute pentru  $v_g$  nu satisfac procesul de transport pneumatic în toate condițiile. De exemplu pentru făină grisată cu  $v_p = 2,0$  m/s și semințe de grâu cu  $v_p = 9,0$  m/s rezultă  $v_g = 2,8$  m/s, respectiv  $v_g = 12,4$  m/s. Ori ambele cazuri transportul pneumatic în conducte cu  $D > 50$  mm la aceste valori ale vitezei curentului de aer, nu este posibil [103].

Criteriul de apreciere a vitezei optime de transport este [14, 36, 66, 103, 203] cel al pierderilor minime de presiune. În acest scop sînt stabilite unele relații experimentale pentru  $v_g$ , corespunzător cărora pierderile specifice de presiune în cadrul zonei cu mișcare stabilizată sînt minime.

Barth [14] arată că în procesul de transport pneumatic există o legătură între coeficientul concentrației gravimetrice  $\mu$  și numărul lui Froude sub forma:

$$c = \mu Fr^2 \quad (I.68)$$

Constanta  $c$  are următoarea valoare pentru condițiile optime de transport:  $c = 2,845 \cdot 10^{-5}$

Dziadzio [66] înlocuind în relația (I.68) pe  $c$ ,  $\mu$  și  $Fr$  obține:

$$v_{op} = \left( \frac{4g^2}{2,845 \cdot 10^{-5} \cdot \pi \cdot \rho_g} \right)^{0,2} q^{0,2} \quad (I.69)$$

Vávra [203] arată că Soloviev a obținut în baza rezultatelor experimentale, următoarele relații:

$$v_{op} = 5,6 D^{0,34} \cdot d^{0,36} \cdot \mu^{0,25} \cdot \rho_m^{0,5} \cdot \rho_a^{0,5} \quad (I.70)$$

$$v_{op} = 4,164 \cdot d^{0,228} \cdot D^{-1,128} \cdot \rho_m^{0,4} \cdot \rho_a^{0,6} \cdot q^{0,2} \quad (I.71)$$

Cercetările experimentale proprii l-au condus pe Vávra [203] la concluzia că viteza optimă depinde numai de concentrația fazei disperse și indică relația:

$$v_{op} = 21,521 \cdot q^{0,14266} \approx 21,521 \cdot q^{1/7} \quad (I.72)$$

De asemenea, Vávra [203] face observația că viteza optimă trebuie să se stabilească în raport cu consumul specific de energie minim. Pentru zona mișcării stabilizate el a stabilit următoarea relația experimentală:

$$v_{op} = 18,214 \cdot q^{0,14531} \approx 18,214 \cdot q^{1/9,5} \quad (I.73)$$

Autorul, în lucrarea [133] prezintă cercetările efectuate cu privire la viteza optimă a curentului de aer la transportul pneumatic în conducte verticale și recomandă următoarele relații experimentale:

$$v_{op} = 1,196 (q/A \cdot \rho_a)^{0,112} \cdot v_p^{0,888} \quad (I.74)$$

pentru semințe de grâu;

$$v_{op} = 1,198 (q/A \cdot \rho_a)^{0,099} \cdot v_p^{0,901} \quad (I.75)$$

pentru semințe de orz;

$$v_{op} = 1,527 (q/A \cdot \rho_a)^{0,0664} \cdot v_p^{0,9336} \quad (I.76)$$

pentru semințe de ovăz;

$$v_{op} = 1,217 (q/A \cdot \rho_a)^{0,0246} \cdot v_p^{0,9754} \quad (I.77)$$

pentru semințe de porumb.

Valabilitatea tuturor relațiilor prezentate este limitată corespunzător materialului și condițiilor în care s-au fă-

cuș determinările experimentale.

### CONCLUZII

In urma studiilor efectuate asupra stadiului actual al cercetărilor cu privire la transportul pneumatic rezultă următoarele:

- Procesul de transport pneumatic este un caz particular al sistemelor disperse bicomponente și se caracterizează prin aceea că cele două componente se deplasează în echicurent iar viteza aerului este mai mare decât viteza particulelor. Antrenarea în mișcare a particulelor solide se face datorită acțiunii aerodinamice a aerului asupra lor;

- Calitatea curgerii amestecului de aer și particule solide este determinată de concentrația particulelor solide și de valoarea vitezei curentului de aer;

- Procesul de transport pneumatic se realizează în condiții asemănătoare în conducte rectilinii dispuse orizontal, înclinat sau vertical dacă se asigură un regim de curgere a amestecului de aer și particule astfel ca particulele să fie uniform distribuite în întreaga masă de aer. Această situație se realizează la valori mari ale vitezei curentului de aer;

- La valori ale vitezei curentului de aer apropiate de valoarea vitezei de plutire a particulelor solide, transportul pneumatic în conducte verticale diferă de cel în conducte înclinate sau orizontale;

- In conducte orizontale sau înclinate distribuția concentrației particulelor solide în curentul de aer diferă atât în lungul conductei cât și în plan transversal ceea ce influențează asupra caracterului curgerii amestecului de aer

și particule solide. În literatura de specialitate nu este prezentată legătura analitică între variația concentrației gravimetrice și caracterul mișcării amestecului de particule solide și aer. Aceasta se datorează în special schematizării accentuate a procesului de transport pneumatic prin ipoteze simplificatoare care nu țin seama de acțiunea hidrodinamică complexă dintre aer și particulele solide. Astfel literatura nu explică în mod satisfăcător și nu este cuprins în relații analitice, mecanismul de ridicare în curentul de aer a particulelor solide în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale sau înclinate.

- Dinamica particulelor solide în condițiile transportului pneumatic este rezolvată parțial, îndeosebi pentru zona mișcării stabilizate. Majoritatea cercetărilor pun în evidență, pentru această situație, dependența liniară între viteza curentului de aer și viteza particulelor solide, dar rezultatele obținute cu diferite relații diferă foarte mult. Acestea însoțită cu relațiile indicate de diverși autori au o aplicabilitate limitată la condițiile în care s-au efectuat cercetările experimentale. În cadrul instalațiilor de transport pneumatic zona mișcării stabilizate se realizează numai pe anumite porțiuni și este totdeauna precedată de o zonă cu mișcare tranzitorie. Nu este studiată suficient mișcarea particulelor solide în cadrul zonei cu mișcare tranzitorie, ceea ce face să nu poată fi rezolvate probleme importante ale transportului pneumatic legate de optimizarea parametrilor procesului de transport, alegerea corespunzătoare a materialului pentru conducte ș.a.

- În literatura de specialitate sînt indicate mai multe metode pentru calculul pierderilor de presiune în spe-

cial sînt amplu dezvoltate metodele de calcul a pierderilor de presiune în zona mişcării stabilizate. Se remarcă o variaţie liniară a pierderilor de presiune în cadrul zonei cu mişcare stabilizată funcţie de concentraţia gravimetrică a particulelor solide. Valorile pierderilor de presiune calculate prin diferite metode diferă foarte mult între ele. Diferiţi cercetători indică valori diferite pentru coeficienţii specifici de rezistenţă  $k$  şi  $\lambda_m$ , pentru aceleaşi condiţii de curgere a curentului de aer şi particule solide. Numărul mare de cercetări asupra pierderilor de presiune şi mai cu seamă numărul mare de date cu privire la valorile coeficienţilor  $k$  şi  $\lambda_m$ , dintre care numai o parte sînt trecute în anexele I.2 şi I.3, mai mult încurcă şi dezorientează decît ajută pe cel ce doreşte să proiecteze o instalaţie de transport pneumatic. Nu există o metodă unitară pentru calculul cu precizie a pierderilor de presiune de-a lungul unei conducte de transport pneumatic atît în cadrul zonei cu mişcare tranzitorie cît şi în cadrul zonei cu mişcare stabilizată care să poată fi aplicată cînd se cunosc numai elementele iniţiale referitoare la caracteristicile fizico-mecanice ale particulelor solide şi ale conductei. Relaţiile indicate de Chaud şi Kikkawa ş.a. sînt foarte complicate, cuprind uneori coeficienţi ale căror valori nu sînt cunoscute.

- Problema parametrilor optimi ai procesului de transport pneumatic nu este prezentată în literatura de specialitate decît unilateral, privind viteza optimă de transport. Puţinele date în legătură cu viteza optimă de transport nu sînt suficiente pentru a se putea proiecta instalaţii de transport pneumatic economice sub aspectul consumului de energie.



Pentru a rezolva aceste probleme complexe sînt necesare noi cercetări. In acest sens autorul își propune să trateze în cadrul tezei de doctorat următoarele:

1. Să studieze mișcarea semințelor individuale în conducta de transport pneumatic ținînd seama de starea de lucruri reală din conductă, adică de variația vitezei curentului de aer în secțiunea transversală a conductei, de mișcarea de rotație a seminței, de efectul ciocnirii seminței cu peretele conductei ș.a.

2. Să stabilească ipoteze simplificatoare care să asigure modelarea mai ingenioasă a procesului de transport pneumatic.

3. Să stabilească legile de mișcare ale mulțimii de semințe aflate în conducta de transport pneumatic ținînd seama de acțiunea curentului de aer asupra acestora, de efectul ciocnirii lor cu pereții conductei și de rezistențele cauzate de frecarea semințelor cu conducta.

4. Să analizeze influența parametrilor procesului de transport (lungimea conductei, viteza curentului de aer, diametrul conductei, dimensiunile și forma semințelor, masa specifică a aerului, masa specifică a semințelor ș.a.) asupra vitezei medie a norului de semințe.

5. Să stabilească relații de calcul a pierderilor de presiune în cadrul transportului pneumatic care să țină seama atât de rezistențele cauzate de ciocnirea semințelor cu conducta cît și de frecarea acestora cu conducta.

6. Să analizeze influența parametrilor procesului de transport pneumatic asupra pierderilor de presiune și să stabilească condițiile cînd pierderile de presiune sînt minime.

7. Să stabilească relații de calcul pentru consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic al semin-

țelor în conducte orizontale.

8. Să analizeze influența parametrilor procesului de transport asupra consumului specific de energie.

9. Să determine dependența între consumul specific de energie și distanța de transport pneumatic al semințelor și să stabilească lungimea minimă a conductei de transport pentru care consumul specific de energie este redus.

10. Să stabilească legătura între caracteristicile fizico-mecanice ale semințelor și parametrii procesului de transport pneumatic (concentrația gravimetrică, diametrul conductei, viteza curentului de aer) astfel ca să se asigure un consum de energie redus.

## PARTEA a II-a

### CONTRIBUTII TEORETICE LA STUDIUL TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL SEMINTELOR IN CONDUCTE ORIZONTALE

#### CAPITOLUL I

#### CONTRIBUTII CU PRIVIRE LA MISCAREA SEMINTELOR IN CONDITIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC IN CONDUCTE RECTILINII DISPUSE ORI- ZONTAL

Mișcarea semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal a preocupat pe mulți cercetători [ 10, 14, 17, 37, 45, 66, 74, 95, 101, 107, 111, 124, 137, 146, 157, 178, 194, 197, 201, 211, 216 ] constituind și în prezent o problemă de cercetare deosebit de importantă pentru aplicațiile practice ale transportului pneumatic în cadrul unităților din agricultură și industria alimentară.

Stabilirea caracterului mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale și îndeosebi explicarea fenomenelor care au loc în aceste condiții este o problemă deosebit de dificilă iar soluțiile date până în prezent nu sînt complete.

Dificultățile care apar la rezolvarea acestei probleme complexe de aerodinamică sînt cauzate de caracterul curgerii curenților de aer și de influența particulelor solide asupra regimurilor de curgere a curenților de aer, de structura eterogenă a sistemului dispers bicomponent determinată de variația concentrației fazei disperse și mai cu seamă în conductele orizontale și înclinate de caracterul distribuției acestei concentrații în secțiunile transversale și secțiunea longitudinală ale conductei, de variația multiplă a caracteristicilor fizico-

mecanice ale particulelor solide, de imposibilitatea determinării riguroase a traiectoriei fiecărei particule în cazul curgerii norului de particule caracteristic condițiilor reale ale transportului pneumatic.

În lucrările [17, 36, 95, 137] se arată că deplasarea semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte dispuse orizontal se caracterizează prin executarea unor salturi față de peretele inferior al conductei descriind niște traiectorii de forma unor parabole cu deschiderea în jos. Distanța între două puncte consecutive de contact a unei semințe cu peretele conductei este mai mare pe măsură ce viteza curentului de aer crește. Juharev [95] arată că la creșterea treptată a vitezei curentului de aer se ajunge la un moment dat la situația când particulele solide nu mai vin în contact cu peretele conductei. Dacă se reduce treptat viteza curentului de aer se ajunge la situația când particulele solide nu mai execută salturi și se deplasează prin alunecare ori rostogolire pe partea inferioară a conductei. Juharev a urmărit acest proces cu ajutorul filmării rapide însă în cadrul experiențelor a folosit particule convenționale singulare, condiții care diferă deosebit de mult de cele reale.

Soloviev [178] a cercetat mișcarea semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale tot cu ajutorul filmării rapide la concentrații gravimetrice  $\mu \in [0,10]$  folosind conducte cu diametrul de 60 mm, 83 mm și 125 mm și a apreciat că traiectoria fiecărei particule se aseamănă cu o curbă sinusoidală a cărei axă coboară față de axa longitudinală a conductei o dată cu reducerea vitezei curentului de aer. La limita de transport axa traiectoriei particulei singulare se află, față de peretele inferior al conductei, la o distanță egală cu raza particulei.

În cadrul cercetărilor pe care le-au efectuat Barth [17] și Muschelknautz [137] asupra transportului pneumatic a particulelor granulate în conducte rectilinii dispuse orizontal, au observat un fenomen deosebit de interesant și anume: toate particulele care cad către peretele inferior sub un unghi mic, după ciocnire cu peretele, se ridică sub un unghi mare, iar particulele care cad sub un unghi mare se ridică sub un unghi mic. Acest fenomen a fost observat și de Uematu [191] în cadrul cercetărilor experimentale pe care le-a efectuat. Explicația acestui fenomen de către cercetătorii citați este făcută în mod vag și diferit.

Căderea particulelor solide către peretele inferior al conductei în cadrul transportului pneumatic orizontal, după aprecierea tuturor cercetătorilor [17, 36, 37, 45, 51, 54, 66, 95, 107, 124, 137, 145, 178, 194, 200] se datorează în exclusivitate forței gravitaționale.

Influența forței gravitaționale asupra mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal este deosebit de importantă, dar, a considera, așa cum fac toți cercetătorii, că semințele cad către peretele inferior al conductei numai datorită acestei forțe este incomplet, după aprecierea autorului întrucât, așa cum a observat Barth [17], particule identice cad totuși sub unghiuri diferite.

Dacă asupra forței care provoacă căderea semințelor către peretele inferior, cercetătorii au aceeași părere, în schimb asupra forțelor care provoacă ridicarea semințelor în curentul de aer, așa zise „forțe ascensionale” părerile diferșilor cercetători diferă foarte mult.

Astfel Strahovici [68] și Zulev [216] explică existența forței ascensionale și acțiunea ei asupra semințelor situa-

te în apropierea sau pe perețele conductei pe baza mișcării turbulente a curentului de aer. La mișcarea turbulentă în apropierea peretelui conductei curentul este discontinuu ca rezultat a rupei lui la trecerea de la sămînță la perete, ceea ce dă naștere la pulsații de presiune care generează turbioni de fund. Turbionii de fund determină deplasări verticale a maselor de aer respectiv apariția forței ascensionale datorită căreia semințele sînt ridicate în curentul de aer. Forța gravitațională face ca semințele să ajungă din nou în partea cea mai de jos a conductei. Procesul se repetă și în felul acesta semințele au o mișcare în salturi față de perețele inferior al conductei de transport.

Cercetările experimentale făcute ulterior de Sax [163] au adus unele precizări importante cu privire la transportul pneumatic în conducte orizontale și anume: influența turbionilor de fund este determinantă pentru particulele cu diametrul  $d < 0,2$  mm iar pentru particulele cu diametrul  $d \geq 0,2$  mm influența turbionilor de fund asupra ridicării lor în curentul de aer este neglijabilă.

Explicațiile date de Strahovici asupra mecanismului ridicării particulelor în curentul de aer în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale sînt aspru criticate de către Brounstein și Todes [33] ei considerîndu-le neverosimile. După aprecierea lui Brounstein și Todes apariția forței ascensionale este determinată de componentele verticale ale vitezei pulsatorii a curentului de aer care există nu numai în vecinătatea pereților ci în toată masa curentului.

Schuchart [168] consideră că influența vitezei pulsatorii transversale asupra ridicării particulelor granulate (respectiv semințe) în curentul de aer este neglijabilă.

Soloviev [178] și Sax [164] consideră mecanismul de ridicare a semințelor în curentul de aer la transportul pneumatic

in conducte orizontale, dependent de neomogenitatea cîmpului de viteze a curentului de aer, neomogenitate care este deosebit de evidentă în domeniul învecinat peretelui conductei. În baza acestei ipoteze cercetătorii citați au stabilit relații de calcul pentru viteza limită a curentului de aer „viteza critică” la care se poate realiza transportul pneumatic al particulelor solide în conducte rectilinii dispuse orizontal.

Din cele prezentate rezultă cu ușurință că problema mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal nu este rezolvată satisfăcător. Această situație face să nu poată fi rezolvate și alte probleme ale transportului pneumatic de mare importanță practică, ca: alegerea regimului de lucru corespunzător parametrilor economici ridicați; dimansianarea corectă a instalațiilor de transport pneumatic; alegerea corespunzătoare a materialului pentru conductele de transport pneumatic ș.a.

Pentru studiul mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal, după aprecierea autorului, sînt după aspecte esențiale și anume:

- Caracterul distribuției cîmpului de viteze a curentului de aer în secțiunea transversală a conductei;

- Mișcarea de rotație a semințelor în timpul antrenării lor de către curentul de aer.

Pentru ușurarea studiului sînt necesare [168] următoarele considerații simplificatoare:

- Mediul fluid este incompresibil, în consecință pentru conducta cu secțiunea constantă, viteza medie de curgere  $v_a$  a curentului de aer nu se modifică de-a lungul conductei;

- Mișcarea semințelor nu are influență asupra distribuției cîmpului de viteze a curentului de aer în secțiunea trans-

versală a conductei;

- Concentrația semințelor este redusă  $\mu \leq 10$  corespunzătoare condițiilor reale de transport pneumatic și semințelor întrucât simultan cu transportul pneumatic se realizează aerarea acestora, deci influența reciprocă a semințelor este neglijabilă;

- Semințele sînt identice și perfect sferice.

Studiul teoretic al mișcării semințelor se eșalonează în două etape pentru simplificare, în prima etapă se consideră convențional că particulele solide nu se rotesc în curentul de aer iar în etapa a doua se analizează mișcarea particulelor care se rotesc în timpul antrenării lor de către curentul de aer.

### 31. Analiza mișcării semințelor care nu se rotesc în timpul transportului pneumatic

Se consideră o sămîntă convențională, de formă sferică (fig.II.1) cu diametrul  $d$ , situată la distanța  $Z$  de peretele conductei care se deplasează cu viteza  $v_{mx}$  în sensul de curgere a curentului de aer fără a se roti.

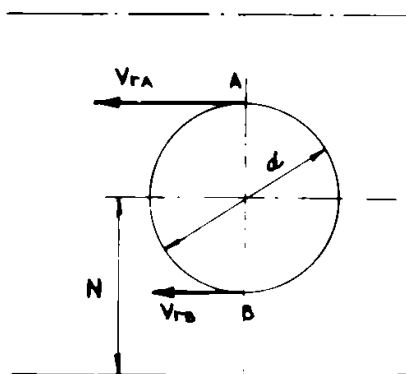


Fig.II.1. Mișcarea seminței în curentul de aer

Se cunoaște din teoria curgerii turbulente [131] că distribuția cîmpului de viteza a curentului de aer, pentru regimurile de curgere corespunzătoare valorilor practice ale vitezei  $v_a$  folosite în cadrul transportului pneumatic al semințelor este bine exprimată de relația:

$$v_x = v_{max} \left( \frac{Z}{R} \right)^{1/n} \quad (II.1)$$



Viteza maximă  $v_{\max}$  a curentului de aer se poate calcula în funcție de viteza medie  $v_a$  cu ajutorul relației:

$$v_{\max} = v_a \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \quad (\text{II.2})$$

Din relațiile (II.1) și (II.2) după transformări se obține:

$$v_x = v_a \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{z}{R} \right)^{1/n} \quad (\text{II.3})$$

În relațiile de mai sus  $n$  este un coeficient care depinde de numărul lui Reynolds și este determinat pe cale experimentală. În general pentru transportul pneumatic al sămînțelor se recomandă [178, 191]  $n = 7$ .

Din cele de mai sus se vede că un corp introdus într-o conductă cilindrică în care curge un curent de aer, dacă corpul nu este plasat pe axa conductei, este strădat de linii de curent cu diferite viteze longitudinale. În cazul sămînței considerate (fig.II.1) care se deplasează cu viteza  $v_{\max}$  în punctele A și B situate în secțiunea mediană a sămînței rezultată prin intersecția cu un plan longitudinal care cuprinde axa conductei și centrul sămînței, viteza relativă  $v_{xA}$  în punctul A este mai mare decît viteza relativă  $v_{xB}$  în punctul B.

Viteza neuniformă dă naștere [178] la circulația aerului pe conturul sămînței ceea ce este deosebit de important deoarece apare posibilitatea aplicării legii lui Jukovski referitoare la forța portantă:

$$dF_p = \rho_a v_x \int y dy \quad (\text{II.4})$$

Soloviev [178] și Sax [164] fac aprecierea că întrucît raza de curbură a curentului de aer care trece în jurul sămînței întrece raza de curbură a sămînței, se poate considera legea liniară de curgere a curentului iar gradientul de viteză constant și egal cu valoarea sa în punctul mijlociu al sămînței.

In această ipoteză circulația în profilul de curgere [178] este:

$$\Gamma_y = 2\pi r_y^2 i \quad (II.5)$$

unde:

$$i = \frac{dv_{x*}}{dz} = \text{const.} \quad (II.6)$$

Forța portantă care acționează asupra sămânței sferice este dată de relația:

$$F_p = \rho_a v_{r*} \int_{-r}^{+r} y dy \quad (II.7)$$

sau:

$$F_p = \rho_a v_{r*} 2\pi i \int_{-r}^{+r} r_y^2 dy \quad (II.8)$$

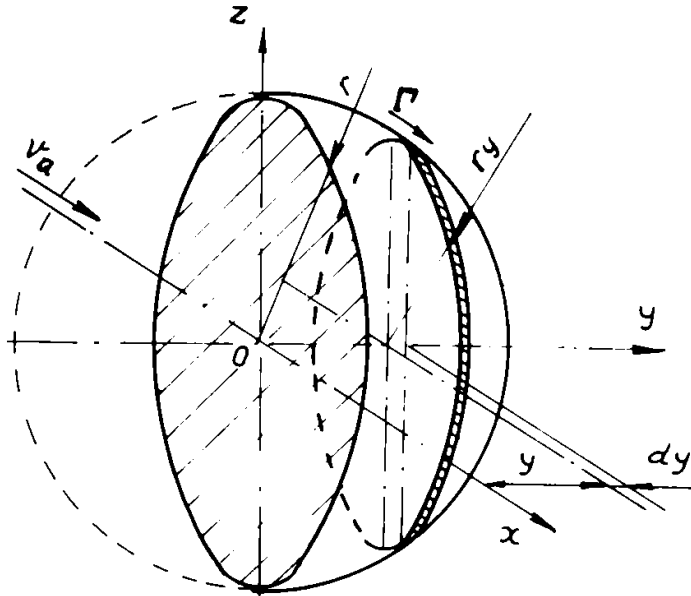


Fig.II.2. Calculul forței portante

Din figura II.2 se scrie:

$$r_y^2 = r^2 - y^2 \quad (II.9)$$

Relația (II.8) se mai scrie:

$$F_p = 2\pi i \rho_a v_{r*} \int_{-r}^{+r} (r^2 - y^2) dy \quad (II.10)$$

După integrarea relației (II.10) rezultă:

$$F_p = \frac{3}{3} \pi \rho_a v_{r*} r^3 \quad (II.11)$$

Se face înlocuirea:

$$V_{ol} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (II.12)$$

și se obține:

$$F_p = 2 \rho_a V_{ol} v_{r*} \quad (II.13)$$

unde:

$V_{ol}$  este volumul sămânței sferice.

Ori se face notația:

$$m_a = \rho_a V_{ol} \quad (II.14)$$

și rezultă:

$$F_p = 2 m_a v_{r*} \quad (II.15)$$

în care:  $m_a$  este masa în aer a sămânței.

Determinările experimentale ale lui Dziadzio și Kemmer [67] precum și ale lui Uematu [190, 191] privind profilul vitezei curentului de aer, a vitezei semințelor și a vitezei relative în secțiunea transversală a conductei pentru concentrații gravimetrice  $\mu \in [0; 10]$  corespunzătoare situațiilor practice la care se realizează transportul pneumatic al semințelor, au arătat că aceasta corespunde regimului de curgere turbulentă dat de relația (II.1). Prin urmare se poate scrie pentru viteza relativă relația:

$$v_{rs} = v_{rmax} \left( \frac{z}{R} \right)^{1/n} \quad (II.16)$$

Din relația (II.16) prin derivare se obține:

$$\frac{dv_{rs}}{dz} = \frac{v_{rs}}{Rn} \left( \frac{z}{R} \right)^{-1} \quad (II.17)$$

Pentru viteza relativă în punctul mijlociu al sămânței se poate scrie relația:

$$v_{rs} = v_r \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{z}{R} \right)^{1/n} \quad (\text{II.18})$$

Viteza relativă medie  $v_r$  se poate exprima ca diferența între viteza medie a curentului de aer  $v_a$  și viteza medie  $v_m$  a semințelor, adică:

$$v_r = v_a - v_m \quad (\text{II.19})$$

Considerînd că viteza relativă  $v_{r*}$  a curentului de aer în jurul sămînței este proporțională cu viteza relativă  $v_{rs}$  adică  $v_{r*} = uv_{rs}$  ( $u$  - coeficient de proporționalitate) și ținînd seama de relațiile (II.16), (II.17), (II.18) și (II.19) relația forței portante (II.11) devine:

$$F_p = 2ma \frac{u^2 (v_a - v_m)^2}{nZ} \left[ \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{z}{R} \right)^{1/n} \right]^2 \quad (\text{II.20})$$

Forța portantă [5, 131] este normală pe direcția de curgere a curentului de aer și orientată deci de la perete către axa conductei.

Analizînd relația (II.20) rezultă că forța portantă  $F_p$  crește o dată cu mișcarea distanței  $z$  față de peretele conductei. Valoarea maximă corespunde la  $z_* = d/2$  adică pentru situația cînd sămînța este în contact cu peretele conductei. De asemenea rezultă că forța portantă  $F_p$  crește cu micșorarea diametrului  $D$  al conductei și scade cu creșterea acestuia.

În cazul unei sămînțe cu centrul situat în planul median frontal al conductei, în cadrul mișcării staționare, este supusă acțiunii forțelor:  $F_g$ ,  $F_p$  și  $F_a$ . Resultanta  $F_R$  (fig.II.3) a acestor forțe formează cu direcția orizontală unghiul  $\alpha$  a cărui valoare rezultă din relația:

$$\text{tg } \alpha = (mg - F_p) / F_a \quad (\text{II.21})$$

Forța de acțiune a aerului  $F_a$ , pentru regimul de curgere corespunzător, transportul pneumatic al semințelor se calcu-

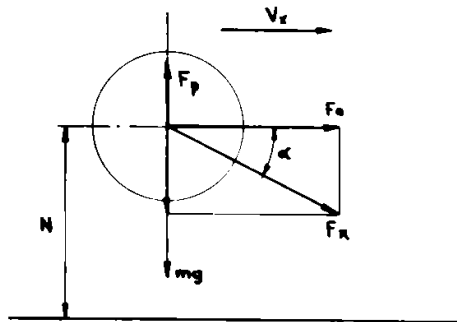


Fig.II.3. Schema forțelor care acționează asupra sămânței  
lează [17, 36, 51, 66, 107, 124, 137, 200] cu relația lui Newton:

$$F_a = \frac{\rho_a \psi v_{rel}^2 a}{2} \quad (II.22)$$

Inlocuind in relația (II.21) pe  $F_a$  și  $F_p$  și ținind seama de relația (II.18) , după simplificări rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{4}{3} \frac{\rho_a g d}{\psi \rho_a (v_a - v_m)^2} \left[ \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \left(\frac{R}{z}\right)^{1/n} \right]^2 -$$

$$- \frac{8}{3} \frac{du^2}{\psi n z} \quad (II.23)$$

La limită cînd sămînța vine in contact cu peretele conductei adică  $z = d/2$  relația (II.23) devine:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{4}{3} \frac{\rho_a g d}{\psi \rho_a (v_a - v_m)^2} \left[ \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \left(\frac{D}{d}\right)^{1/n} \right]^2 -$$

$$- \frac{16}{3} \frac{u^2}{\psi n} \quad (II.24)$$

Din analiza relației (II.23) rezultă că unghiul  $\alpha$  poate avea valori atît pozitive cît și negative. In primul caz sămînța coboară in curentul de aer și aceasta are loc cînd  $mg > F_p$

iar în al doilea caz sămînța se ridică în curentul de aer, aceasta are loc cînd  $mg < F_p$ . Forța portantă depinde de distanța  $Z$ . Dacă la  $Z_* = d/2$  nu se asigură  $F_p > mg$  ridicarea sămînței în curentul de aer nu este posibilă. Dacă la  $Z_1 > Z_* = d/2$  este satisfăcută condiția  $F_p = mg$ , înseamnă că la  $Z \in [d/2, Z_1]$ ,  $F_p > mg$ , rezultă că sămînța care se deplasează în planul median frontal sub axa conductei fără să se rotească, descrie o traiectorie ondulată care trece de o parte și de alta a dreptei de nivel situată la înălțimea  $Z_1$  fără a mai veni în contact cu perețele conductei. Juharev [95] descrie această situație în urma cercetărilor experimentale făcute cu ajutorul filmării rapide și arată că, lansînd în curentul de aer orizontal, într-o conductă cu  $D = 150$  mm, o particulă convențională cu  $d = 5$  mm și  $\rho_m = 750$  kg/m<sup>3</sup>, ea nu mai vine în contact cu perețele conductei dacă  $v_a \geq 19$  m/s.

Sămînțele situate în planul median frontal deasupra axei conductei vor cădea necondiționat în partea inferioară a conductei unde se vor înscrie în regimul de mișcare al sămînțelor din acest domeniu.

Analizînd sămînțele situate în afara planului considerat rezultă că, sub acțiunea sistemului de forțe  $F_a$ ,  $F_g$  și  $F_p$  (fig.II.4) au, pe lângă deplasarea principală longitudinală și deplasări transversale atât pe direcție verticală cît și pe direcție orizontală. Deplasările pe direcție verticală sînt mai însemnate la sămînțele situate deasupra axei conductei. Aceste sămînțe vor avea o cădere bruscă către perețele inferior al conductei. Sămînțele situate în domeniul învecinat secțiunii orizontale a conductei vor avea deplasări orizontale însemnate. Sămînțele situate sub axa orizontală au deplasări verticale mai mici și vor cădea mai lent către perețele conductei.

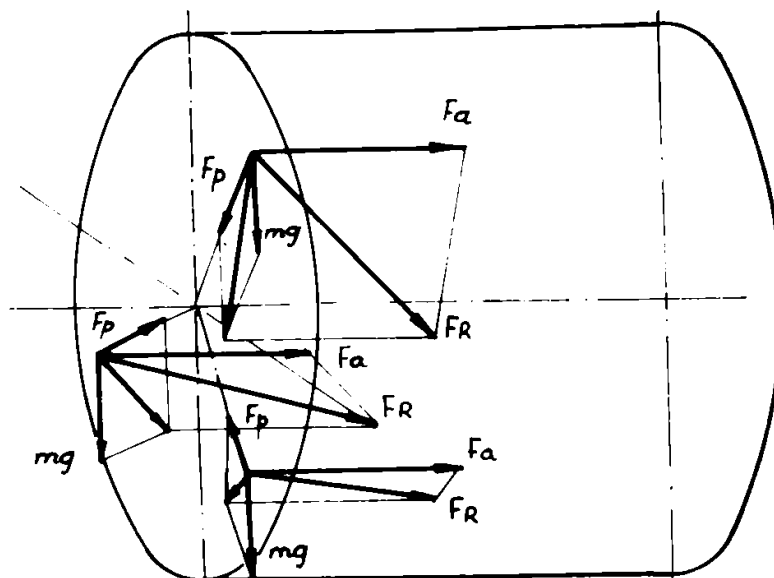


Fig.II.4. Analiza mișcării semințelor

§2. Analiza mișcării semințelor care se rotesc în timpul transportului pneumatic

Se cunoaște [68] că, în cadrul antrenării în mișcare de către curentul de aer, semințele execută rotații față de o axă normală pe direcția de curgere. Rotirea semințelor are loc datorită următoarelor cauze: forma neregulată și neuniformitatea distribuției substanței în sămînță produce necoincidența între punctele de aplicarea forței aerodinamice, a forței gravitaționale și a forței de inerție, ceea ce generează un cuplu de forțe ce acționează sămînța individuală într-o mișcare de rotație; mișcarea de rotație a sămînței este influențată de cîmpul asimetric al curentului de aer, de acțiunea pulsatorie a curentului de aer, de ciocnirile între semințe și de ciocnirile semințelor cu pereții conductei.

Oziadzio și Kemmer [59] au cercetat rotația semințelor în curentul de aer folosindu-se de filmarea rapidă. În urma prelucrării peliculei de film au stabilit că, semințele se rotesc atît într-un sens cît și în celălalt și cel mai des în jurul axei lor orizontale. Viteza de rotație a diferitelor semin-

te, la aceeași viteză medie a curentului de aer, variază în limite largi. O dată cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de aer în conducta de transport, cresc sensibil și limitele între care variază viteza de rotație a diferitelor semințe. Pentru semințe de porumb cu diametrul echivalent  $d = 7$  mm, transportate pneumatic într-o conductă cu diametrul  $D = 152$  mm la variații ale vitezei curentului de aer între  $14,7$  m/s și  $27$  m/s, în medie viteza de rotație a acestora a variat între  $190$  rad/s și  $540$  rad/s. Viteza periferică medie a sferei echivalente în această situație a avut valori cuprinse între  $0,665$  m/s și  $1,89$  m/s-

Datorită rotației sămânței în timpul deplasării sale în curentul de aer are loc circulația aerului în jurul ei (efectul Magnus) circulație care<sup>se</sup> însumează la cea generată de neomogenitatea cîmpului de viteze a curentului de aer.

Pentru a aprecia calitativ influența rotației sămânței asupra caracterului mișcării sale în cadrul transportului pneumatic se folosesc rezultatele experimentale obținute de Dziadzio și Kemmer [68]. Astfel variația vitezei curentului de aer în conducta de transport pneumatic pe distanța medie a profilului sămânței  $\Delta Z = d$ , excluzînd zona din vecinătatea peretelui conductei corespunzătoare lui  $z = d/2$ , la variația vitezei medie a curentului de aer între  $14,7$  m/s și  $27$  m/s a fost de

$\Delta v_x = (2,016 \div 3,70)$  m/s iar în vecinătatea axei conductei a fost  $\Delta v_x = (0,28 \div 0,51)$  m/s. Comparînd variația vitezei curentului de aer în secțiunea sămânței cu variația vitezei periferice a sămânței se observă că au același ordin de mărime de unde rezultă că rotația acesteia are influență asupra mișcării sale tot atît de însemnată ca și neomogenitatea curentului de aer din conductă.

Intrucît semințele se rotesc întimplător într-un sens



cît și în celălalt, viteza de rotație a lor se va scrie  $\pm \omega$  iar circulația în profilul de curgere devine:

$$\Gamma_y = 2 \pi r_y^2 (\pm \omega) \quad (II.25)$$

Forța portantă în această situație devine:

$$F_p = \rho_a \frac{u \pi d^3}{3} (v_a - v_m) u_* \left[ \frac{(v_a - v_m) u}{Z n} u_* \pm \omega \right] \quad (II.26)$$

Ceea ce se mai poate scrie și sub forma:

$$F_p = 2 \pi a u (v_a - v_m) u_* \left[ \frac{(v_a - v_m) u}{Z n} u_* \pm \omega \right] \quad (II.27)$$

în care s-a notat:

$$u_* = \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{Z}{R} \right)^{1/n} \quad (II.28)$$

Din analiza relației (II.26) rezultă că, forța portantă poate să fie pozitivă, adică orientată de la perete către axa conductei cînd:

$$\omega < \frac{v_a - v_m}{Z n} \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{Z}{R} \right)^{1/n} \quad (II.29)$$

sau să fie negativă, adică orientată de la axa conductei către perete cînd:

$$\omega > \frac{v_a - v_m}{Z n} \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{Z}{R} \right)^{1/n} \quad (II.30)$$

Intrucît forța portantă  $F_p$  poate lua valori atît pozitive cît și negative în funcție de mărimea și sensul vitezei de rotație al semințelor, rezultă că, oricare ar fi viteza curentului de aer în conducta de transport pneumatic semințele vor veni din cînd în cînd în contact cu pereții conductei. Acest fenomen este mai evident la transportul pneumatic al semințelor în conducte rectilinii dispuse vertical, unde forța gravitațională nu mai deplasează semințele către pereții conductei dar unde totuși ciocnirea acestora cu conducta există [68]. De asemenea rezultă că, semințele se deplasează în toată secțiunea

conductei atît de o parte cît și de alta a secțiunii orizontale a conductei.

Unghiul pe care îl formează cu orizontala rezultanta forțelor ce acționează asupra unei sămînțe cu centrul situat în planul median frontal este dat de relația:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{4}{3} \frac{\rho_m g d}{\psi \rho_a (v_a - v_m)^2 u_*^2} \pm \frac{8 \omega d}{3 \psi \rho_a (v_a - v_m) u_* u} - \frac{8}{3} \frac{du^2}{\psi z n}$$

Se consideră două sămînțe identice situate la un moment dat în suspensie în curentul de aer cu centrul în planul median frontal la aceeași distanță  $Z$  față de peretele conductei și se deplasează cu aceeași viteză liniară  $v_m$  dar una se rotește cu viteza  $\omega$  în sens trigonometric, iar cealaltă se rotește cu aceeași viteză  $\omega$  în sensul acelor de ceasornic. Unghiul de înclinare față de orizontală a rezultatelor forțelor ce acționează asupra sămînțelor se obțin din relațiile:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{4}{3} \frac{\rho_m g d}{\psi \rho_a (v_a - v_m)^2 u_*^2} - \frac{8 \omega d}{3 \psi \rho_a (v_a - v_m) u_* u} - \frac{8}{3} \frac{du^2}{\psi z n} \quad (\text{II.32})$$

pentru sămînța care se rotește în sensul acelor de ceasornic și

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{4}{3} \frac{\rho_m g d}{\psi \rho_a (v_a - v_m)^2 u_*^2} - \frac{8}{3} \frac{\omega d}{\psi \rho_a (v_a - v_m) u_* u} - \frac{8}{3} \frac{du^2}{\psi z n} \quad (\text{II.33})$$

pentru sămînța care se rotește în sens trigonometric.

Din relațiile (II.32) și (II.33) rezultă că:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 < \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (\text{II.34})$$

Aceasta demonstrează că, în cadrul transportului pne-

umatic în conducte orizontale, semințe identice cad către perețele conductei după direcții cu înclinări diferite. Dacă se ține seama de gama de variație a caracteristicilor semințelor de pozițiile momentane ale acestora rezultă că semințele pot cădea către perețele conductei sub unghiuri foarte diferite de la valori foarte mici pînă aproape de  $\pi/2$ . Acest aspect al mișcării semințelor a fost descris de Barth [17] și Uematu [189] în urma cercetărilor experimentale pe care le-au făcut, fără a explica corect cauzele care-l determină.

Prin urmare analiza teoretică făcută de autor asupra caracterului mișcării semințelor în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, a condus la concluzii confirmate de practică ceea ce înseamnă că ipotezele formulate sînt juste și cuprind sensul fizic al fenomenului.

Semințele care vin în contact cu perețele conductei după ciocnirea cu acesta sînt frîmate în mișcarea lor și ridicate din nou în curentul de aer, deplasate atît în sensul de curgere cît și pe direcția transversală, revin iarăși pe perețele conductei și astfel procesul se repetă pe întreaga porțiune rectilinie a rețelei de transport pneumatic.

Mecanismul de ridicare a semințelor în curentul de aer după ciocnirea cu perețele conductei constituie o problemă a transportului pneumatic care nu a fost explicată în mod satisfăcător. În acest scop se consideră, în mod convențional, că în momentul contactului seminței cu perețele asupra acesteia acționează numai forțele datorate ciocnirii, deci se neglijează acțiunea curentului de aer și forța gravitațională, de asemenea se consideră că perețele conductei este neted și omogen. Se ia o sămînță sferică (fig.II.5) omogenă care se deplasează cu viteza  $v_0$  și se rotește în jurul axei sale în sensul acelor de ceasornic cu viteza  $\omega_0$ .

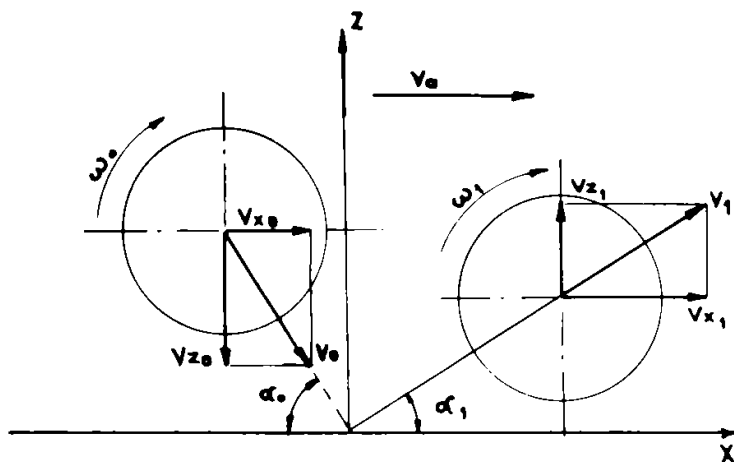


Fig.II.5. Analiza ciocnirii sămînței cu peretele conductei

In momentul ciocnirii unghiul format de direcția de mișcare a sămînței cu peretele conductei este  $\alpha_0$ . După ciocnire sămînța se deplasează cu viteza liniară  $v_1$  pe direcția determinată prin unghiul  $\alpha_1$  și se rotește cu viteza  $\omega_1$ .

In timpul ciocnirii cu peretele conductei sămînța este supusă (in punctul de contact) unei percuții normale  $P_z$  și unei percuții tangențiale  $P_x$  (fig.II.6. Percuția tangențială [48]

este  
ca urmare a frecării dintre suprafețele de contact a sămînței și a peretelui conductei.

In baza relației fundamentale dintre percuție și variația impulsului [204] se scrie:

$$P_x = H_{x0} - H_{x1} \quad (II.35)$$

$$P_z = H_{z0} - H_{z1} \quad (II.36)$$

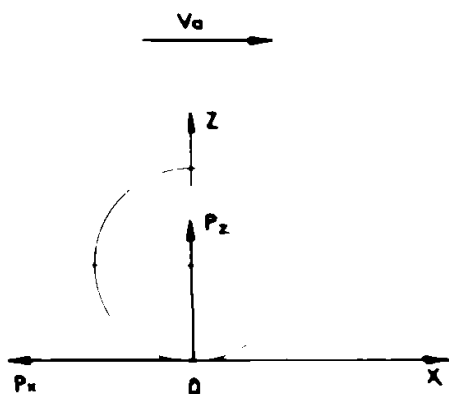


Fig.II.6. Schema componentelor percuției

sau:

$$P_X = m(v_{X0} - v_{X1}) \quad (\text{II.37})$$

$$P_Z = m(v_{Z0} - v_{Z1}) \quad (\text{II.38})$$

In funcție de aceste mărimi se poate scrie relația tangentei unghiului de incidență  $\alpha_0$  astfel:

$$\text{tg } \alpha_0 = \frac{H_{Z0}}{H_{X0}} = \frac{v_{Z0}}{v_{X0}} \quad (\text{II.39})$$

Pe de altă parte componenta normală a vitezei sămînței după ciocnire  $v_{Z1}$  se poate exprima [48, 204] în funcție de coeficientul de restituire  $k$  și componenta normală a vitezei sămînței  $v_{Z0}$ , înainte de ciocnire, astfel:

$$v_{Z1} = k \cdot v_{Z0} \quad (\text{II.40})$$

Inlocuind în relația (II.38) se obține:

$$P_Z = m \cdot v_{Z0} (1+k) \quad (\text{II.41})$$

Dacă se face analogia între legătura dintre percuția tangențială și percuția normală cu legătura care există între forța de frecare și forța normală, se poate scrie:

$$P_X = \mu_c \cdot P_Z \quad (\text{II.42})$$

unde:

$\mu_c$  este coeficientul de frecare la rostogolire al semînțelor pe peretele conductei.

Din relațiile (II.35), (II.41) și (II.42) se obține:

$$H_{X1} = H_{X0} - \mu_c H_{Z0} (1+k) \quad (\text{II.43})$$

Tangenta unghiului de reflexie  $\alpha_1$  al sămînței după ciocnire se scrie în funcție de mărimile de mai sus astfel:

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{H_{Z1}}{H_{X1}} = \frac{k \cdot \text{tg } \alpha_0}{1 - \mu_c (1+k) \text{tg } \alpha_0} \quad (\text{II.44})$$

In cazul rostogolirii sămînței pe peretele conductei valoarea coeficientului de frecare  $\mu_c$  este mică, mult mai mică decît valoarea coeficientului de restituire  $k$  din care cauză uneori este neglijată percuția tangențială. In general se poa-

te aprecia:  $k < 1 - \mu_c(1+k) \operatorname{tg} \alpha_0$ . Aceasta înseamnă că  $\alpha_1 < \alpha_0$  adică sămînța se va ridica în curentul de aer după ciocnire sub un unghi mai mic decît cel de cădere.

Percuția tangențială dă naștere la un moment  $r \cdot P_X$  față de axa sămînței. În baza teoremei cu privire la egalitatea între variația momentului cinetic în timpul ciocnirii și suma momentelor percuțiilor exterioare [204] se poate scrie:

$$r \cdot P_X = I(\omega_1 - \omega_0) \quad (\text{II.45})$$

Din relația (II.45) se obține:

$$\omega_1 = \frac{r \cdot P_X + I \cdot \omega_0}{I} \quad (\text{II.46})$$

Relația (II.46) arată că în urma ciocnirii cu peretele conductei viteza de rotație a sămînței (pentru cazul studiat) crește de la  $\omega_0$  la  $\omega_1$ .

O dată cu creșterea vitezei de rotație (în urma ciocnirii), pentru sămînța care se deplasează cu centrul în planul median frontal, rezultă că forța portantă care acționează asupra acesteia descrește, ceea ce face ca ridicarea ei în curentul de aer să se facă mai greu, adică descrie o traiectorie mai alungită (curba 1 fig.II.7).

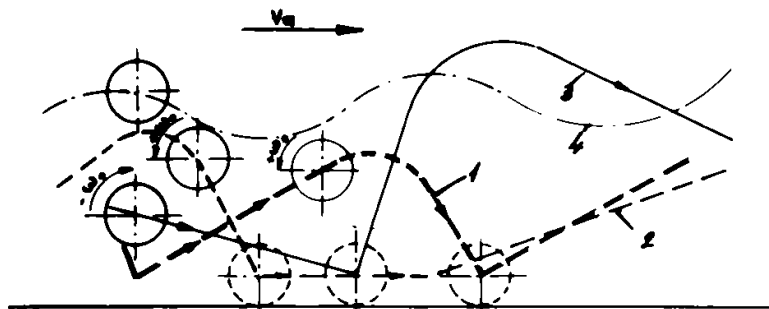


Fig.II.7. Deplasarea semînțelor în conducta orizontală

Dacă în urma ciocnirii viteza de rotație a sămânței capătă asemenea valori care satisfac inegalitatea (II.30) și coeficientul de restituire are valori foarte mici, ridicarea ei în curentul de aer nu se mai face imediat. Mai întâi are loc rostogolirea sămânței pe peretele conductei, treptat viteza ei se reduce datorită frecării cu peretele, viteza relativă crește o dată cu aceasta crește forța portantă iar ridicarea are loc când se ajunge la situația  $F_p > mg$ . Prin urmare în acest caz deplasarea sămânței nu se mai face sub formă de salturi ci sub formă de salturi care alternează cu zone de deplasare a ei pe peretele conductei (curba 2 fig.II.7). Acest fel de mișcare a particulelor solide antrenate de mediu fluid a fost descris și de Krigel [118] pe baza determinărilor experimentale.

O altă situație o prezintă semințele care se rotesc în sens trigonometric. Dacă se consideră o sămânță identică cu cea din primul caz ce cade către peretele conductei sub unghiul  $\alpha_{ot}$  în momentul contactului cu conducta mișcarea suprafeței de contact de pe sămânță este în opoziție cu mișcarea de transport. În această situație percuția tangențială se scrie:

$$P_x = f \cdot P_z \quad (II.47)$$

unde:  $f$  este coeficientul de frecare la alunecare al semințelor pe peretele conductei.

Valoarea coeficientului de frecare  $f$  este mai mare decât a coeficientului  $\mu_c$  și este comparabilă ca ordin de mărime cu valoarea coeficientului de restituire  $k$ . În această situație e posibil, în anumite cazuri, ca  $k > 1 - f(1+k) \tan \alpha_{ot}$ . Prin urmare e posibil pentru unele semințe ca  $\alpha_{it} > \alpha_{ot}$ .

Totodată viteza de rotație a sămânței, în urma ciocnirii cu peretele, se micșorează, iar forța portantă crește ceea ce face ca ridicarea ei în curentul de aer să se realizeze și mai rapid. De asemenea datorită ciocnirii viteza sămânței

scade, viteza relativă crește, ca rezultat forța portantă crește iar traiectoria centrului sămânței este cea reprezentată prin curba 3 (fig.II.7).

Unele semințe care se rotesc în sens trigonometric, când sînt satisfăcute inegalitățile (II.29) și  $F_p > mg$ , nu mai ajung pe peretele conductei și descriu temporar traiectorii ondulate (curba 4 fig.II.7).

Pentru restul semințelor aflate în interiorul conductei de transport pneumatic, atît datorită poziției lor care face ca modul de compunere a forțelor ce acționează asupra acestora să fie diferit cît și datorită vitezei și sensului de rotație diferit cauzate de caracteristicile fizico-mecanice ale acestora, traiectoriile lor vor fi diferite trecînd de o parte și de alta a axei conductei și întîlnind peretele conductei sub unghiuri diferite. Forma traiectoriilor diferitelor semințe se modifică o dată cu modificarea vitezei curentului de aer întrucît se modifică valoarea forței de acțiune a curentului de aer asupra sămînței individuale. La creșterea vitezei curentului de aer traiectoriile devin mai alungite, contactul lor cu conducta este mai rar ca urmare a creșterii forței portante, în consecință masa de semințe se aglomerează către axa conductei.

În cazul reducerii vitezei curentului de aer forța de acțiune a acestuia asupra semințelor se micșorează, de asemenea viteza de rotație a lor se reduce, semințele vor cădea către partea inferioară a conductei aglomerîndu-se în zona din apropierea peretelui. Treptat se adună pe peretele conductei semințe sub formă de dune, se realizează un strat continuu de semințe, secțiunea liberă a conductei se micșorează iar viteza curentului de aer crește antrenînd restul de semințe introduse în conductă. În această situație nu se mai realizează transpor-



tul pneumatic cu deplasarea semințelor în suspensie așa cum se folosește obișnuit în instalațiile din agricultură când se urmărește și reducerea umidității semințelor în vederea conservării calităților lor germinative și nutritive.

În baza cercetărilor teoretice efectuate de autor asupra mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal, rezultă următoarele:

- Semințele în timpul transportului pneumatic se deplasează în curentul de aer atât în sensul de curgere a curentului de aer cât și pe direcție radială. Deplasarea pe direcție radială este generată de neomogenitatea cîmpului de viteze a curentului de aer și de mișcarea de rotație a semințelor.

- Semințele se rotesc în curentul de aer întîmplător atât într-un sens cât și în celălalt;

- Mișcarea de rotație diferită a semințelor determină deplasarea lor diferită în curentul de aer, respectiv căderea lor către pereții conductei se face sub unghiuri diferite de la valori mici pînă la valori apropiate de  $\pi/2$ ;

- În cadrul transportului pneumatic cu deplasarea semințelor în suspensie acestea descriu atât traiectorii ondulate cât și sub formă de lanț de parabole sau parabole alternînd cu zone de rostogolire sau alunecare a semințelor pe pereții conductei, trec de o parte și de alta a axei conductei înglobînd toate formele de deplasare care au fost descrise de diverși cercetători [17, 36, 95, 137, 178] pe baza observațiilor experimentale asupra particulelor individuale.

### §3. Viteza critică

Particularitățile transportului pneumatic în conducte orizontale arătate mai sus, fac ca aprecierea calitativă și cen-

titativă a situației limită între condițiile în care se poate realiza sau nu procesul de transport să difere de transportul pneumatic în conducte verticale, adică să nu se facă prin viteza de plutire.

După Soloviev [178] și Sax [164] condiția la care se poate realiza procesul de transport pneumatic în conducte orizontale este caracterizată de viteza minimă a curentului de aer la care semințele nu se depun pe perețele conductei. Această viteză se numește „viteza critică”. Asupra vitezei critice sînt puține cercetări făcute pînă în prezent iar rezultatele obținute de diverși cercetători nu concordă între ele.

Autorul, considerînd că, neomogenitatea cîmpului de viteze a curentului de aer în secțiunea transversală a conductei generează apariția forței portante, stabilește relația vitezei critice astfel, pentru ca sămînța sferică care se află în repaus pe perețele inferior al conductei de transport (adică  $v_m = 0$  și  $Z = d/2$ ), să poată fi ridicată de curentul de aer, este necesar ca forța portantă  $F_p$  să fie mai mare decît greutatea acesteia. Din condiția la limită  $F_p = mg$ , dacă se înlocuiește  $F_p$  cu relația (II.20) iar greutatea seminței cu  $\pi d^3 g \rho_m / 6$ , rezultă:

$$v_{cr} = \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left( \frac{D}{d} \right)^{1/n} \left( \frac{ngd \rho_m}{\rho_a} \right)^{1/2} \quad (II.48)$$

Semințele reale, în general, au forma diferită de cea sferică și atunci în locul lui  $d$  în relația (II.48) se folosește [178] diametrul echivalent, dat de relația:

$$d_e = d_m k_f^{-0.5} \quad (II.49)$$

în care diametrul mediu  $d_m$  al seminței se obține [71, 178]

din relația:

$$d_m = \left( \frac{6G_p}{\pi N g \rho_m} \right)^{1/3} \quad (\text{II.50})$$

În relațiile (II.49) și (II.50),  $G_p$  reprezintă greutatea probei de semințe;  $N$  - numărul de semințe din probă;  $k_p$  - coeficientul de formă sau de sfericitate a semințelor dat de raportul între aria suprafeței <sup>sferei</sup> de volum egal cu volumul mediu al semințelor și aria suprafeței seminței.

Din analiza relației (II.48) stabilită de autor, rezultă că viteza critică a semințelor crește o dată cu creșterea diametrului conductei. Aceasta se datorează faptului că la creșterea diametrului conductei neomogenitatea vitezei curentului de aer este mai redusă, prin urmare gradientul de viteză pe conturul de curgere al sămânței este mai mic iar forța portantă se micșorează, deci se reduce posibilitatea ridicării acesteia în curentul de aer. Acest fenomen a fost observat de unii cercetători în cadrul cercetărilor experimentale ca Uspenski [197], Uematu [188], Dziadzio [68], care au arătat că particulele solide „sboară” mai ușor la viteze mai mici ale curentului de aer în conducte orizontale cu diametrul mic decât în conducte cu diametrul mare. Uspenski [197] apreciază că e normal acest lucru întrucât în conducte cu diametrul mai mic, viteza de plutire a semințelor este mai mică. Desigur există o corelare asemănătoare între transportul pneumatic în conducte orizontale cu transport pneumatic în conducte verticale dar viteza de plutire este un element caracteristic transportului vertical ascendent și cu totul alți factori caracterizează limita de antrenare a semințelor de către curentul de aer într-o situație și cealaltă. Dziadzio și Kemmer [70] au demonstrat pe larg că valoarea <sup>vitezei</sup> de plutire este

caracteristică condițiilor în care acționează curentul de aer asupra particulei solide, respectiv dependentă de raportul  $D/d$  tot așa rezultă și pentru viteza critică care este caracteristică transportului pneumatic în conducte orizontale.

Prin urmare rezultă că, procesul de transport pneumatic în conducte orizontale se realizează mai greu, adică la viteze ale curentului de aer mai mari în cazul când diametrul conductelor este mare. Acest aspect a fost semnalat de către tăți cercetătorii, dar fără să fi explicat din ce cauză are loc.

De asemenea rezultă din relația (II.48) că viteza critică se micșorează o dată cu creșterea diametrului săminței, ceea ce înseamnă că procesul de transport se realizează mai ușor pentru semințe mari decât pentru semințe mici.

Viteza critică se micșorează o dată cu creșterea densității fluidului (aerului) transportor din cauză că atât forța portantă cât și forța de rezistență a aerului sînt direct proporționale cu densitatea fluidului. Așa dar, sub acest aspect, este mai indicat să se realizeze transportul pneumatic prin refulare decât prin aspirație întrucît la transportul pneumatic prin refulare  $\rho_a$  are valori mai mari, forța portantă este mai mare la aceeași valoare a vitezei relative și antrenarea semințelor se realizează mai ușor, adică la valori mai mici ale vitezei curentului de aer. Pentru a se asigura antrenarea semințelor de către curentul de aer în cadrul transportului pneumatic prin aspirație este necesar ca viteza curentului de aer să fie mai mare decât la transportul prin refulare întrucît densitatea aerului  $\rho_a$  are valori mai mici. Dar valori mai ridicate pentru viteza curentului de aer duc la pierderi de presiune mai mari, respectiv la un consum de energie mai ridicat.

## CAPITOLUL II

### CONTRIBUȚII LA STUDIUL DINAMICII SEMINTELOR ÎN CONDIȚIILE TRANSPORTULUI PNEUMATIC ÎN CONDUCTE ORIZONTALE

Analiza dinamicii particulelor solide individuale în condițiile transportului pneumatic [37, 51, 200, 201] este foarte complexă și necesită calcule matematice laborioase.

Importanță practică, pentru transportul pneumatic, prezintă dinamica mulțimii de semințe antrenate de curentul de aer. În acest scop este necesar să se facă următoarele ipoteze simplificatoare:

- Conducta de transport este perfect rectilinie, de lungime finită și are diametrul constant;
- Mediul fluid este incompresibil, în consecință viteza de curgere de-a lungul conductei nu se modifică;
- Sistemul eterogen este monodispers, adică semințele convenționale sînt identice;
- Semințele convenționale sînt sferice și omogene;
- Mișcarea semințelor nu influențează viteza de curgere a aerului;
- Curentul de aer și semințe are o mișcare unidimensională;
- Semințele convenționale se deplasează în suspensie în curentul de aer.

#### §1. Ecuația mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale

Pentru studiul mișcării semințelor, autorul consideră un tronson de conductă cu secțiunea circulară (fig.II.9) cuprins între planele a-a și b-b. Viteza aerului de-a lungul acestui

tronsoen este  $v_g = \text{const.}$

În acest tronson se separă un element de volum  $dV$  cu lungimea  $dx$ . Masa semințelor aflată în elementul de volum  $dV$  în condițiile unui debit de alimentare  $q = \text{const}$  este:

$$\Delta M = \frac{q}{v_{mx}} dx \quad (\text{II.51})$$

în care  $v_{mx}$  reprezintă viteza medie a semințelor în intervalul  $dx$ .

Autorul consideră că, asupra masei  $dM$  aflată în elementul de volum  $dV$  din conducta de transport pneumatic orizontală acționează pe direcția de curgere a sistemului următoarele forțe:

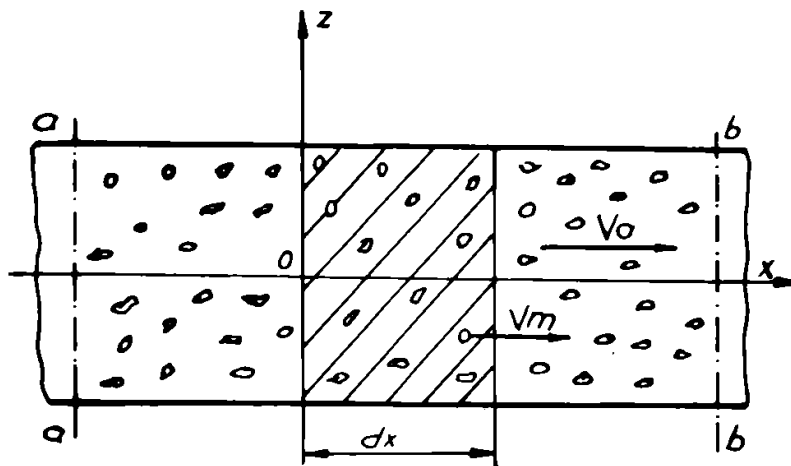


Fig.II.9. Analiza mișcării semințelor

- Forța de rezistență a aerului  $dR_a$ ;
- Forța de inerție  $dF_i$ ;
- Forța de rezistență datorită ciocnirii semințelor cu peretele conductei  $dF_c$ ;
- Forța de rezistență datorită frecării semințelor cu peretele conductei  $dF_f$ .

Ecuația mișcării semințelor se scrie aplicând principiul lui d'Alembert asupra masei  $\Delta M$  din volumul elementar  $dV$

$$\Delta M \frac{d\bar{v}_{mx}}{dt} = d\bar{K}_a - d\bar{F}_c - d\bar{F}_f \quad (\text{II.52})$$

### 1.1. Forța de rezistență a aerului

Rezistența aerului asupra masei  $\Delta M$  de semințe aflată momentan în elementul de volum  $dV$  reprezintă rezultanta forțelor de rezistență  $F_a$  care acționează asupra semințelor singulare.

Numărul de semințe aflate în elementul de volum  $dV$  este:

$$N_p = \rho dx (m v_{mx})^{-1} \quad (\text{II.53})$$

Pentru valorile practice ale parametrilor procesului de transport pneumatic al semințelor, rezistența aerului asupra unei particule sferice este dată de relația lui Newton:

$$F_a = \psi_0 a \rho_a (v_a - v_{mx})^2 \cdot \frac{1}{2} \quad (\text{II.54})$$

Coefficientul specific de rezistență  $\psi_0$  este dat de relația:

$$\psi_0 = a_1 + b_1 / Re_r \quad (\text{II.55})$$

în care  $Re_r$  este numărul lui Reynolds al semințelor corespunzător vitezei relative:

$$Re_r = d(v_a - v_{mx}) / \nu \quad (\text{II.56})$$

Valorile coeficienților  $a_1$  și  $b_1$  sînt determinate de către Vávra [200]:  $a_1 = 0,204$ ;  $b_1 = 29,3$ .

Coefficientul specific de rezistență pentru semințe reale, a căror formă diferă de cea sferică este:

$$\psi = \psi_0 k_f^{-2} \quad (\text{II.57})$$

Dacă se ține seama că masa seminței este dată de relația:

$$m = \pi d^3 \rho_m / 6 \quad (\text{II.58})$$

se poate scrie:

$$F_a = m \frac{3}{2} \frac{a_1 + b_1 / Re_r}{k_f^2} \frac{\rho_a (v_a - v_{mx})^2}{\rho_m d} \quad (\text{II.59})$$

Rezultanta  $R_a$  a aerului asupra masei  $dM$  de semințe aflate în elementul de volum considerat este:

$$dR_a = \frac{3}{2} \frac{q dx (a_1 + b_1 / Re_r)}{v_{mx} k_f^2} \frac{\rho_a (v_a - v_{mx})^2}{\rho_m d} \quad (\text{II.60})$$

### 1.2. Forța de rezistență datorită ciocnirii semințelor cu pereții conductei

În cadrul transportului pneumatic într-o conductă orizontală semințele se lovesc de pereții conductei și sînt frînate în mișcarea lor. Prajak [157] a formulat ipoteza că forța de frînare  $F_o$  a semințelor datorită ciocnirii cu pereții conductei este proporțională cu energia cinetică inițială și invers proporțională cu diametrul conductei. Pentru masa  $dM$  de semințe se scrie:

$$F_o = q dx \lambda v_{mx} / 2D \quad (\text{II.61})$$

Forța  $F_o$  este dată sub această formă de majoritatea cercetătorilor [1, 17, 50, 51, 54, 56, 85, 124, 137, 146, 168, 171, 194, 200, 211].

Coeficientul  $\lambda$  depinde de natura materialului transportat și materialului conductei și se determină foarte bine cu ajutorul metodei lui Muschelknautz [137]. Valoarea coeficientului  $\lambda$  este aceeași pentru transportul pneumatic în conducte verticale cît și în conducte orizontale.

### 1.3. Forța de rezistență echivalentă datorită frecării semințelor cu pereții conductei

Barth [17], Muschelknautz [137] și autorul [57] au



arătat că, în cazul transportului pneumatic în conducte rectilinii dispuse orizontal asupra deplasării semințelor se opune și o forță de frecare. După S.Kikkawa [108] toate forțele de rezistență care se opun deplasării semințelor în cadrul transportului pneumatic în conducte rectilinii sînt forțe de frecare.

În lucrările [17, 57, 137] se apreciază că forța de frecare este proporțională cu greutatea particulelor solide aflate în conductă conform relației:

$$dF_f = \beta g dx / v_{mx} \quad (II.62)$$

Asupra coeficientului  $\beta$  sînt foarte puține referiri. Astfel, Günther [85], Kikkawa [108] consideră coeficientul  $\beta$  pentru transportul pneumatic în conducta orizontală egal cu coeficientul de frecare.

Barth [17], Muschelkneutz [137] propun pentru conducta orizontală  $\beta = v_p/v_a$  însă fără a da lui  $\beta$  valori mai mari decît coeficientul de frecare la alunecare.

Pentru a stabili sensul fizic și valoarea coeficientului  $\beta$  autorul pornește de la analiza mecanismului de transport al semințelor de către curentul de aer în conducta orizontală.

Semințele sînt distribuite în masa de aer transportor, iar o parte dintre ele sînt în contact cu pereții conductei. Semințele din stratul de contact situate în partea inferioară a conductei sînt apăsate către perete de forța gravitațională. În același timp forța portantă acționează în sensul descărcării conductei de această apăsare. La deplasarea acestui strat de semințe, apare frecarea între conductă și semințe. Forța de frecare a semințelor cu conducta este egală cu produsul între coeficientul de frecare și apăsarea normală a semințelor pe conductă.

Intrucît forța portantă contribuie la ridicarea semințelor în curentul de aer rezultă că apăsarea semințelor pe conductă este mai mică decît greutatea acestora.

Autorul consideră că apăsarea normală a semințelor pe peretele conductei este proporțională cu raportul dintre greutatea acestora și forța portantă medie care acționează asupra semințelor.

În această ipoteză coeficientul  $\beta$  din relația (II.62) reprezintă produsul între coeficientul de frecare la alunecare a semințelor și apăsarea semințelor pe conductă.

Din cele arătate, pentru situația  $Z = d/2$  și  $v_m = 0$  rezultă:

$$\beta = \frac{fdng \rho_m}{v_s^{2k_f+0.5} \rho_a} \left[ \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left( \frac{D}{d} \right)^{1/n} \right]^2 \quad (\text{II.63})$$

Relația (II.62) devine:

$$dF_f = \frac{q d}{v_{mx}} \frac{fdng^2}{v_s^{2k_f+0.5} \rho_a} \left[ \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left( \frac{D}{d} \right)^{1/n} \right]^2 \quad (\text{II.64})$$

Relația (II.64) stabilită de autor, exprimă analitic, cantitativ forța de frecare dintre semințe și conductă în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale în dependență de parametrii procesului de transport ( $v_m, D, n, \rho_a, q, v_m$ ) și de proprietățile fizico-mecanice ale semințelor ( $d, \rho_m, k_f, f$ ).

Cercetările teoretice care au dus la stabilirea relației (II.64) constituie o parte originală a lucrării și stau la baza cercetărilor teoretice și experimentale referitoare la dinamica semințelor, pierderile de presiune și consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic care sînt prezentate în continuare.

**§3. Ecuația vitezei semințelor în condițiile  
transportului pneumatic în conducte ori-  
zontale**

Introducând valorile date de relațiile (II.59), (II.60), (II.64) în ecuația (II.52) se obține ecuația diferențială a mișcării semințelor sub forma:

$$\frac{dv_{mx}}{dt} = \frac{3}{2} \frac{a_1}{k_f^2 d} \frac{\rho_a}{\rho_m} (v_a - v_{mx})^2 + \frac{3}{2} \frac{v b_1}{k_f^2 d^2} \frac{\rho_a}{\rho_m} (v_a - v_{mx}) - \frac{\lambda v_{mx}^2}{2D} - \frac{f d n g^2}{v_a^2 k_f^{0.5}} \frac{\rho_m}{\rho_a} \left[ \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left(\frac{D}{d}\right)^{1/n} \right]^2 \quad (II.65)$$

Ecuația (II.65) se poate scrie mai restrâns dacă se fac următoarele notații:

$$p = \frac{3}{2} \frac{a_1}{k_f^2 d} \frac{\rho_a}{\rho_m} \quad (II.66)$$

$$B = p - \lambda/2D \quad (II.67)$$

$$s = \frac{3}{2} \frac{v b_1}{k_f^2 d^2} \frac{\rho_a}{\rho_m} \quad (II.68)$$

$$H = 2p v_a + s \quad (II.69)$$

$$M = p v_a^2 + s v_a - \frac{f d n g^2}{v_a^2 k_f^{0.5}} \frac{\rho_m}{\rho_a} \left[ \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left(\frac{D}{d}\right)^{1/n} \right]^2 \quad (II.70)$$

$$O = \sqrt{H^2 - 4HM} \quad (II.71)$$

$$\varepsilon = H - O \quad (II.72)$$

$$\alpha = H + O \quad (II.73)$$

astfel:

$$\frac{dv_{mx}}{dt} = B v_{mx}^2 - H v_{mx} + M \quad (II.74)$$

Integrând ecuația (II.74) se obține:

$$t = \frac{1}{0} \ln \frac{2B v_{mx} - \alpha}{2B v_{mx} - \varepsilon} + C_1 \quad (II.75)$$

Constanta de integrare  $C_1$  se obține punând condițiile la limită  $t_0 = 0$ ;  $v_{mx} = v_{m0}$ :

$$C_1 = - \frac{1}{0} \ln \frac{2B v_{m0} - \alpha}{2B v_{m0} - \varepsilon} \quad (II.76)$$

Din relațiile (II.75) și (II.76) se obține:

$$v_{mx} = \frac{2M(e^{0t}-1) + \alpha v_{m0} - \varepsilon v_{m0} e^{0t}}{\alpha e^{0t} - \varepsilon - 2B v_{m0}(e^{0t}-1)} \quad (II.77)$$

În cazul când începutul mișcării în conducta orizontală coincide cu începutul mișcării semințelor și cum în mod obișnuit în orificiul de alimentare componenta vitezei semințelor pe direcția de curgere este foarte mică, putându-se neglija ( $v_{m0} = 0$ ), ecuația (II.77) devine:

$$v_{mx} = \frac{2M}{\alpha} \frac{e^{0t}-1}{e^{0t}-\varepsilon/\alpha} \quad (II.78)$$

Din analiza relațiilor (II.77) și (II.78) stabilite de autor, rezultă că viteza semințelor crește o dată cu creșterea lui  $t$ . Dacă  $t \rightarrow \infty$  rezultă din relația (II.77)

$$v_m = \frac{2M - \varepsilon v_{m0}}{\alpha - 2B v_{m0}} = \text{const.} \quad (II.79)$$

respectiv din relația (II.78):

$$v_m = 2M/\alpha = \text{const.} \quad (II.80)$$

Perioada în care viteza semințelor crește de la  $v_{m0}$  (respectiv de la zero) pînă la cca  $0,95 v_m$  este definită [1, 145] perioada de accelerare sau zona mișcării accelerate. Restul perioadei de mișcare, se definește zona de regim sau zona mișcării stabilizate iar viteze corespunzătoare, viteza de regim.

Relația vitezei de regim (II.80) stabilită de autor,

se obține ușor și pe altă cale. În cadrul fazei mișcării stabilizate se consideră  $v_m = \text{const.}$  ceea ce înseamnă că  $dv_m/dt=0$  deci  $F_i = 0$  iar ecuația de echilibru (II.52) devine:

$$R_a - F_c - F_f = 0 \quad (\text{II.81})$$

După înlocuirile corespunzătoare în ecuația (II.81) se obține ecuația de gradul doi în  $v_m$  a cărei rădăcină inferioară este expresia (II.80).

### §3. Ecuația spațiului parcurs de semințe în cadrul transportului pneumatic

Spațiul  $X$  parcurs de semințe în timpul  $t$  se obține prin integrarea ecuației (II.77). Pentru condițiile la limită  $t_0 = 0$ ,  $X = 0$  și  $v_{mx} = v_{m0}$  rezultă:

$$X = \frac{\alpha v_{m0} - 2M}{\alpha B v_{m0} - \varepsilon} t + \frac{M+B v_{m0}^2 + H v_{m0}}{B(M+B v_{m0}^2 - H v_{m0})} \cdot \ln \frac{\alpha - \varepsilon}{e^{\alpha t} (\alpha - 2B v_{m0}) + 2B v_{m0} - \varepsilon} \quad (\text{II.82})$$

Din relațiile (II.71), (II.72) și (II.73) se poate scrie egalitatea:

$$2M/\varepsilon = \alpha/2B \quad (\text{II.83})$$

Pentru cazul când viteza semințelor la timpul  $t_0=0$  este nulă  $v_{m0} = 0$ , dacă se ține seama de egalitatea (II.83) relația (II.82) devine:

$$X = \frac{1}{B} \left( \frac{\alpha t}{2} + \ln \frac{1 - \varepsilon/\alpha}{e^{\alpha t} - \varepsilon/\alpha} \right) \quad (\text{II.84})$$

Așa dar mișcarea semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale este complet determinată pentru cazul general analizat de autor, prin ecuațiile (II.65), (II.77), (II.82).

Ecuația (II.77) dă valoarea vitezei  $v_m$  corespunzătoare

toare timpului  $t$  de deplasare a semințelor în conducta orizontală iar spațiul parcurs în același timp este dat de relația (II.82). Pentru cazul când viteza inițială a semințelor este nulă aceleași mărimi sînt date de relațiile (II.78) respectiv (II.84).

Legile de mișcare ale semințelor în cadrul transportului pneumatic exprimate prin relațiile (II.78) și (II.84) stabilite de autor țin seama de parametrii procesului de transport ( $v_p, D, n, \rho_a$ ), de proprietățile fizico-mecanice ale semințelor ( $d, f, \rho_m, k_f$ ) de rezistențele efective care acționează asupra deplasării semințelor respectiv rezistențele datorită frecării lor cu conducta, prin urmare sînt dependente de principalele fenomene din conducte de transport, ceea ce înseamnă că, cuprind sensul fizic al procesului de transport. Aceste cercetări ale autorului constituie contribuții originale la teoria procesului de transport pneumatic a semințelor în conducte rectilinii dispuse orizontal prin care se pune la îndemîna specialiștilor relații complete pentru calculul vitezei semințelor de-a lungul conductei de transport pneumatic.

### CAPITOLUL III

#### CONTRIBUTII LA STUDIUL PIERDERILOR DE PRESIUNE CAUZATE DE TRANSPORTUL PNEUMATIC AL SEMINTELOR IN CONDUCTE ORI- ZONTALE

Pierderile de presiune datorită semințelor la transportul pneumatic în conducte rectilinii orizontale cuprind, după aprecierea autorului, două componente:

- Pierderile de presiune  $H_m$  pentru deplasarea semințelor de-a lungul conductei de transport;
- Pierderile de presiune  $H_{m1}$  pentru trecerea semințelor prin rezistențele hidraulice locale.

#### §1. Ecuația generală a pierderilor de presiune globale

Acțiunea aerului asupra semințelor pe direcția de curgere a sistemului se manifestă prin forța totală  $R_m$  a cărei valoare este dată de relația (II.60). Potrivit legii a III-a a lui Newton acțiunea semințelor asupra aerului este egală și de sens opus cu acțiunea acestuia asupra lor.

Pierderile de presiune  $dH_m$  de-a lungul elementului de conductă  $dx$  (fig.II.9) cauzată de rezultanta  $R_a$  a semințelor este:

$$dH_m = R_a/A \quad (II.85)$$

Înlocuind forța  $R$  cu relația (II.60) se obține:

$$dH_m = \frac{3}{2} \frac{q}{A} \frac{(a_1 + b_1/Re_F)}{k_F^2} \frac{\rho_a}{\rho_m} \frac{(v_a - v_{mx})^2}{d} \frac{dx}{v_{mx}} \quad (II.86)$$

Dacă se ține seama de relațiile (II.66), (II.68), (II.69) și scriind  $dx = v_{mx} dt$  ecuația (II.86) devine:

$$dH_m = \frac{q}{A} [pv_{mx}^2 - Hv_{mx} + (s + pv_a)v_a] dt \quad (II.87)$$

Viteza  $v_{mx}$  a semințelor este dată de relația (II.77) stabilită de autor și care înlocuită în relația (II.87) duce la:

$$dH_m = \frac{q}{A} \left\{ p \left[ \frac{(2M - \frac{v_m}{\epsilon})e^{0t} - (2M - \alpha v_{mo})}{(\alpha - 2Bv_{mo})e^{0t} - (\epsilon - 2Bv_{mo})} \right]^2 - H \frac{(2M - \frac{v_m}{\epsilon})e^{0t} - (2M - \alpha v_{mo})}{(\alpha - 2Bv_{mo})e^{0t} - (\epsilon - 2Bv_{mo})} + (s + pv_a)v_a \right\} dt \quad (II.88)$$

Pierderile de presiune cauzate de deplasarea semințelor de-a lungul conductei de transport pneumatic dispuse orizontal se obțin prin integrarea ecuației (II.88).

Pentru condiții la limită  $t = 0$ ,  $H_m = 0$  după integrare rezultă:

$$H_m = \frac{q}{A} \left\{ \left[ (s + pv_a)v_a + p \frac{(2M - \alpha v_{mo})^2}{(\epsilon - 2Bv_{mo})^2} - H \frac{2M - \alpha v_{mo}}{\epsilon - 2Bv_{mo}} \right] t + \left[ \frac{p}{B^2} \frac{(M - Hv_{mo})(H - Bv_{mo})}{M - Hv_{mo} + Bv_{mo}^2} - \frac{H}{B} \right] \ln \frac{20}{\alpha e^{0t} - \epsilon - 2Bv_{mo}(e^{0t} - 1)} + \frac{40p}{B} \frac{Hv_{mo} - M - Bv_{mo}^2}{(\alpha - 2Bv_{mo})} \left[ \frac{\alpha - 2Bv_{mo}}{e^{0t}(\alpha - 2Bv_{mo}) - \epsilon + 2Bv_{mo}} - \frac{\alpha - 2Bv_{mo}}{20} \right] \right\} \quad (II.89)$$

În cazul când viteza inițială  $v_{mo} = 0$  relația (II.89)

devine:

$$H_m = \frac{q}{A} \left\{ \left[ (s + pv_a)v_a + \frac{p\alpha^2}{4B^2} - \frac{H\alpha}{2B} \right] t + \left( \frac{pH}{B^2} - \frac{H}{B} \right) * \right. \\ \left. + \ln \frac{1 - \epsilon/\alpha}{e^{0t} - \epsilon/\alpha} - \frac{p0}{\alpha B^2} \frac{\epsilon}{e^{0t} - \epsilon/\alpha} + \frac{p\epsilon}{2B^2} \right\} \quad (II.90)$$

Relația (II.89) stabilită de autor reprezintă formula generală de calcul a pierderilor de presiune cauzate de deplasarea semințelor în cadrul transportului pneumatic prin conduc-



te orizontale rectilinii și ține seama de proprietățile fizico-mecanice ale semințelor ( $d, f, k_f, \rho_m, \psi$ ) de elementele dimensionale ale conductei de transport ( $D, X$ ) cât și de parametrii caracteristici regimului de curgere a curentului de aer ( $v_a, \rho_a, n$ ). Această relație poate fi folosită atât în cazul zonei cu mișcare accelerată cât și în cazul zonei cu mișcare stabilizată. În cazul când viteza semințelor la începutul mișcării în conducte orizontale este nulă  $v_{m0}=0$ , pentru calculul pierderilor de presiune se va folosi relația (II.90). Relațiile (II.37) și (II.90) stabilite de autor, permit calculul pierderilor de presiune  $H_m$  pentru orice lungime a conductei orizontale. Legătura între lungimea conductei și pierderile de presiune  $H_m$  se face prin intermediul parametrului  $t$  rezolvînd sistemul de ecuații format din relațiile (II.82), (II.87) sau (II.89), (II.90).

### §2. Calculul simplificat al pierderilor de presiune

Folosirea relațiile (II.89) sau (II.90) stabilite de autor pentru calculul pierderilor de presiune  $H_m$  în conducte orizontală încubă calcule analitice laborioase ceea ce decorează de multe ori pe proiectanți. De aceea, autorul propune să se calculeze separat pierderile de presiune cauzate de deplasarea semințelor pentru cele două zone cu mișcare accelerată respectiv cu mișcare stabilizată.

Pentru zona mișcării accelerate sînt distincte două componente ale pierderilor de presiune: pierderile de presiune cauzate de energia consumată de aer pentru accelerarea semințelor și pierderile de presiune produse de ciocnirea și frecarea semințelor cu pereții conductei.

Pierderile de presiune pentru accelerarea semințelor se calculează cu relația:

$$H_{ac} = q(v_m - v_{m0})/A \quad (II.91)$$

Pentru cazul cînd  $v_{mo} = 0$  și lungimea conductei orizontale este suficient de mare pentru ca semințele să intre în zona mișcării stabilizate, ținînd seama de relația (II.80), relația (II.91) devine:

$$H_{ac} = 2qM/\alpha A \quad (II.92)$$

Pierderile de presiune produse de ciocnirea și frecarea semințelor cu pereții conductei în zona mișcării accelerate se pot calcula cu suficientă precizie pentru nevoile practice [36] acceptînd că rezistențele opuse la deplasarea semințelor datorate ciocnirii și frecării, rămîn constante de-a lungul conductei și au valoarea corespunzătoare zonei cu mișcare stabilizată.

În această ipoteză după relația (II.87), pentru conducta de lungime  $L = v_m t$  se poate scrie:

$$H_B = \frac{q}{A} \left[ p v_m - h + \frac{(s + p v_a)}{v_m} v_a \right] L \quad (II.93)$$

Viteza  $v_m$  a semințelor în zona mișcării stabilizate este dată de relația (II.80) stabilită de autor. Înlocuind această valoare în relația (II.93) rezultă:

$$H_B = \frac{q}{A} \left[ \frac{2pM}{\alpha} + \frac{(s + p v_a) \alpha v_a}{2M} - h \right] L \quad (II.94)$$

În consecință pierderile de presiune  $H_m$  cauzate de antrenarea semințelor de către curentul de aer în cadrul conductelor orizontale pentru situația cînd lungimea rețelei de transport asigură existența zonei cu mișcare stabilizată, se pot calcula simplificat cu relația:

$$H_m = H_{ac} + H_B \quad (II.95)$$

### §3. Ecuația pierderilor specifice de presiune în cadrul mișcării stabilizate

În literatura de specialitate, pentru zona mișcării stabilizate se indică pierderea specifică de presiune  $\Delta H_g$ . Valoarea pierderilor specifice de presiune  $\Delta H_g$  după calculele autorului, se obține din relația (II.94):

$$\Delta H_g = \frac{q}{A} \left[ \frac{2\mu}{\alpha} + \frac{(s+pv_g) \times v_g}{2M} - H \right] \quad (\text{II.96})$$

Analizând relația (II.96) stabilită de autor, se desprinde o concluzie deosebit de importantă și anume: pierderile specifice de presiune  $\Delta H_g$  cauzate de ciocnirea și frecarea semințelor cu pereții conductei în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, cresc liniar cu creșterea debitului de transport, respectiv cu concentrația semințelor. Dependența liniară a lui  $\Delta H_g$  față de  $\mu$  a fost confirmată de toți cercetătorii.

Dacă se înlocuiește  $\Delta H_g$  cu valoarea dată de relația (II.96) stabilită de autor, în relația lui Gasterstădt [194] se obține:

$$k = \frac{2D}{\lambda_g v_g} \left[ \frac{2\mu}{\alpha} + \frac{(s+pv_g) \times v_g}{2M} - H \right] \quad (\text{II.97})$$

În acest fel autorul obține pentru coeficientul lui Gasterstădt  $k$ , o relație completă care ține seama de proprietățile fizico-mecanice ale semințelor, de regimul de curgere a aerului și de elementele dimensionale ale conductei de transport.

### §4. Calculul pierderilor de presiune locale

Pierderile suplimentare de presiune  $H_{ml}$  datorită rezistențelor hidraulice locale se calculează în funcție de sarcina de stagnare, coeficientul concentrației gravimetrice  $\mu$  și de un coeficient specific de rezistență  $\xi_{ml}$  conform relației:

$$H_{ml} = \xi_{ml} \mu \rho_a v_a^2 / 2 \quad (\text{II.98})$$

Relația (II.98) se poate folosi pentru calculul pierderilor suplimentare de presiune cauzate de trecerea semințelor prin zona unui obstacol hidraulic oricare, cu condiția să se cunoască coeficientul specific de rezistență  $\xi_{ml}$  caracteristic fiecărui obstacol. Coeficientul  $\xi_{ml}$  se obține numai pe cale experimentală.

Pierderile de presiune totale în rezistențele hidraulice locale, având în vedere relațiile (II.47) și (II.48) sînt date de relația:

$$H_1 = (\xi_{al} + \mu \xi_{ml}) \rho_a v_a^2 / 2 \quad (\text{II.99})$$

Pierderile de presiune datorită semințelor în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale sunt astfel complet determinate de relațiile (II.89) respectiv (II.90) și (II.98) sau relațiile (II.95) și (II.98).

Asupra coeficientului specific de rezistență  $\xi_{ml}$  caracteristic fiecărui tip de obstacol hidraulic sunt necesare cercetări experimentale întrucît în afara dependenței lui de tipul și caracteristicile dimensionale ale obstacolului, se apreciază de autor, că este influențat de viteza medie a curentului de aer, de distribuția semințelor în curentul de aer ș.a.

## CAPITOLUL IV

### CONTRIBUTII TEORETICE PRIVIND STUDIUL CONSUMULUI SPECIFIC DE ENERGIE LA TRANSPORTUL PNEUMATIC AL SEMINTELOR IN CONDUCTE ORIZONTALE

Prin consum specific de energie autorul definește energia necesară pentru transportul pneumatic al unității de masă de semințe pe distanța de un metru. Consumul specific de energie astfel definit este caracteristic fiecărei instalații de transport pneumatic și reprezintă indicele principal în raport cu care se poate aprecia sub aspect economic parametrii unei instalații de transport pneumatic.

Relația de calcul a consumului specific de energie, conform definiției de mai sus, se scrie:

$$\Delta E = q_s H_c / qL \quad (\text{II.100})$$

unde  $H_c$  este dat de relația (II.43).

În cazul unei instalații de transport pneumatic cu conducte orizontale dacă se înlocuiește  $H_c$  cu relațiile corespunzătoare componentelor sale, respectiv (II.45), (II.46), (II.89) și (II.99), relația (II.100) devine:

$$\Delta E = \frac{v_a^2 \sum (\xi_{al} + \mu \xi_{ml})}{2 \mu L} + \frac{\lambda_a v_a^2}{2 \mu D} + \frac{v_a}{L} Z \quad (\text{II.101})$$

unde:

$\mu$  este concentrația gravimetrică dată de relația:

$$\mu = \frac{q}{q_a \rho_a} \quad (\text{II.102})$$

iar:

$$\begin{aligned}
 Z = & \left[ (s+pv_a)v_a + p \frac{(2M - \alpha v_{mo})^2}{(\epsilon - 2Bv_{mo})} - H \frac{2M - \alpha v_{mo}}{\epsilon - 2Bv_{mo}} \right] t + \\
 & + \left[ \frac{p}{B^2} \frac{(M+Hv_{mo})(H-Bv_{mo})}{M - Hv_{mo} + Bv_{mo}^2} - \frac{H}{B} \right] \ln \frac{20}{\alpha 2e^{0t} - \epsilon - 2Bv_{mo}(e^{0t} - 1)} + \\
 & + \frac{40p}{B} \frac{Hv_{mo} - M - Bv_{mo}^2}{(\alpha - 2Bv_{mo})} \left[ \frac{\alpha - 2Bv_{mo}}{e^{0t}(\alpha - 2Bv_{mo}) - \epsilon + 2Bv_{mo}} - \frac{\alpha - 2Bv_{mo}}{20} \right]
 \end{aligned}$$

(II.103)

Pentru cazul cînd viteza inițială a semințelor este  $v_{mo} = 0$ , în relația (II.101) în locul lui  $Z$  se introduce  $Z_1$  a cărei valoare este dată de relația:

$$\begin{aligned}
 Z_1 = & \left[ (s+pv_a)v_a + \frac{p\alpha^2}{4B^2} - \frac{H\alpha}{2B} \right] t + \\
 & + \left( \frac{pH}{B^2} - \frac{H}{B} \right) \ln \frac{1 - \epsilon/\alpha}{e^{0t} - \epsilon/\alpha} - \frac{p0}{B^2} \frac{\epsilon}{e^{0t} - \epsilon/\alpha} + \frac{p\epsilon}{2B^2}
 \end{aligned}$$

(II.104)

Pentru a analiza sub aspect energetic condițiile de transport pneumatic pe porțiunea rectilinie a conductei de transport nu se vor include în relația (II.101) pierderile de presiune în dispozitivul de alimentare în secțiunea de intrare a aerului, în dispozitivul de separare a semințelor. Relația consumului specific de energie pentru această situație se scrie:

$$\Delta E = \frac{\lambda_a v_a^2}{2\mu D} + \frac{v_a}{L} Z$$

(II.105)

Analizînd relația (II.105) stabilită de autor, rezultă că  $\Delta E$  are două componente:  $\Delta E_a$  - consumul specific de energie corespunzător pierderilor de presiune cauzate de frecarea aerului cu conducta și  $\Delta E_m$  - consumul specific de energie corespunzător pierderilor de presiune cauzate de semințe. De asemenea rezultă că  $\Delta E_m$  nu depinde de debitul de semințe ce trebuie transportat.

In cazul în care se folosește calculul simplificat pentru pierderile de presiune, așa cum a arătat autorul în cap.II relația consumului specific de energie se scrie:

$$\Delta E = \frac{\lambda_g v_a^2}{2 \mu D} + \frac{(2M - \alpha v_{mp}) v_a}{\alpha L} + v_a \left[ \frac{2pH}{\alpha} + \frac{\alpha (s + p v_a) v_a}{2M} - H \right] \quad (II.106)$$

Relațiile (II.105) și (II.106) stabilite de autor exprimă legătura fundamentală între consumul specific de energie și principalii factori ( $D, v_a, \rho_a, \rho_m, \psi, d, k_f, n$ ) care influențează procesul de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale.

Problema consumului minim de energie, respectiv a regimului optim de transport este caracteristică fiecărei instalații de transport și se poate rezolva numai prin calcule numerice.

### CONCLUZII

Cercetările teoretice ale autorului referitoare la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale aduc o serie de contribuții originale cu privire la fundamentarea teoretică a caracterului mișcării semințelor și distribuției acestora în conducta de transport pneumatic, asupra dinamicii masei de semințe transportate pneumatic, asupra metodelor de calcul a pierderilor de presiune și a consumului specific de energie în cadrul transportului pneumatic. Cercetările autorului au arătat că:

1. Caracterul mișcării semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale este dependent de profilul vitezei curentului de aer în secțiunea transversală a conductei și de mișcarea de rotație a semințelor. Autorul demonstrează pe cale analitică, completînd literatura de specia-

litate, că semințele transportate pneumatic în condiții identice se deplasează în mod diferit;

2. Deplasarea transversală a semințelor în interiorul conductei de transport pneumatic este determinată de acțiunea combinată a forței portante și a forței gravitaționale;

3. Distribuția semințelor în secțiunea transversală a conductei este dependentă de valoarea forței portante. Această distribuție influențează asupra condițiilor de transport pneumatic a semințelor;

4. Ridicarea semințelor în curentul de aer orizontal este determinată numai de acțiunea forței portante;

5. Valoarea forței portante care acționează asupra semințelor individuale depinde de neomogenitatea cimpului de viteze a curentului de aer, de poziția sămânței față de pereții conductei, de viteza și sensul de rotație a sămânței în curentul de aer. Pentru aceeași viteză medie a curentului de aer, forța portantă este mai mare în conducte cu diametrul mic decât în conducte cu diametrul mare.

6. În cadrul transportului pneumatic toate semințele vin periodic în contact cu pereții conductei datorită acționării forțelor portante, forței gravitaționale și forței de acțiune a aerului. Deplasarea fiecărei sămânțe între două puncte de contact cu conducta se face după traiectorii diferite în funcție de forma sămânței, sensul de rotație în curentul de aer, de direcția de ridicare în curentul de aer în urma ciocnirii cu pereții conductei ca efect a influenței proprietăților elastice a sămânței a coeficientului de frecare ș.a.;

7. Condiția limită la care este posibil transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale se caracterizează prin „viteza critică”. Autorul a stabilit o formulă origi-



nală (II.48) pentru calculul „vitezei critice”, care cuprinde principalii factori ( $D, d, \rho_a, \rho_m, v_a, n$ ) ce influențează procesul de transport pneumatic;

3. Autorul a analizat în mod original mișcarea semințelor în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, convențional, ca mișcarea medie în masă a mulțimii de semințe antrenate de curentul de aer. Forțele care acționează asupra semințelor sînt forțe medii echivalente unidirecționale. Autorul stabilește într-o formă originală relația (II.64) a forței echivalente de frecare a semințelor cu conducta, relație care exprimă dependența cantitativă între această mărime, parametrii procesului pneumatic de transport ( $v_a, D, n, \rho_a, g, v_m$ ) și caracteristicile fizico-mecanice ale semințelor ( $d, \rho_m, k_f, \psi$ );

9. Pentru calculul vitezei medii a semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale autorul a stabilit relațiile (II.77) și (II.78) atât pentru zone cu mișcare tranzitorie cît și pentru zone cu mișcare stabilizată. Originalitatea acestor relații constă în faptul că exprimă analitic sensul fizic al fenomenelor din cadrul transportului pneumatic prin cuprinderea majorității elementelor care influențează procesul de transport pneumatic ( $v_a, D, \rho_a, v, d, \psi, \rho_m, k_f, n$ );

10. Spațiul parcurs de semințe în cadrul transportului pneumatic se poate calcula cu relația (II.82) stabilită de autor. Legătura între spațiul parcurs de semințe și viteza acestora se face prin intermediul timpului de deplasare a semințelor în condițiile transportului pneumatic;

11. Pierderile de presiune datorate antrenării semințelor de către curentul de aer în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale sînt calculate de autor ca efectul

rezistențelor opuse de semințe la deplasarea curentului de aer. Relația (II.89) stabilită de autor, cuprinde majoritatea elementelor care influențează asupra procesului de curgere a ansamblului aer-semințe ( $D, \rho_a, v_a, \nu, n, d, \rho_m, f, k_f, \psi, X$ ) și este valabilă atât în cadrul zonei cu mișcare tranzitorie cât și în cadrul zonei cu mișcare stabilizată.

12. Autorul a definit sub o formă originală consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale în raport cu condițiile concrete de realizare a procesului de transport. Consumul specific de energie sub această formă constituie indicatorul principal prin care se poate aprecia o instalație de transport pneumatic. Autorul a stabilit relații originale (II.101) și (II.102) pentru calculul consumului specific de energie, relații care exprimă legătura fundamentală între consumul specific de energie și elementele ( $v_a, D, \rho_a, \nu, n, d, \rho_m, q, f, k_f, \psi$ ) care influențează procesul de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale.

13. Parametrii procesului de transport pneumatic ( $v_a, D, \rho_a, n, q$ ) trebuie astfel aleși ca să corespundă valorii minime a consumului specific de energie. Situația valorilor parametrilor procesului de transport la care consumul specific de energie este minim caracterizează „regimul optim” de transport pneumatic.

14. Pentru stabilirea în mod științific a relațiilor de calcul a consumului specific de energie, autorul a trebuit să investigheze și să rezolve în mod succesiv probleme din teoria fundamentală a procesului de transport pneumatic referitoare la caracterul mișcării semințelor în conducta de transport dependent de caracterul curgerii curentului de aer și dinamica mulțimii de semințe transportate pneumatic.

## PARTEA III-a

### CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA REGIMULUI

#### OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SEMINTELOR

### CAPITOLUL I

#### CONCEPTIA SI REALIZAREA STANDULUI EXPERIMENTAL

In vederea efectuării cercetărilor experimentale asupra procesului de transport pneumatic al semințelor în conducte dispuse orizontal, autorul a conceput și proiectat o instalație originală pe care a realizat-o în cadrul laboratorului Catedrei de mașini agricole de la Facultatea de mecanică agricolă din Timișoara.

Instalația experimentală (fig.III.1) cuprinde următoarele: colectorul de aspirație 1, tubul Pitot 2, micromanometrul 3, dispozitivul de alimentare 4, coșul de semințe 5, conducta 6, cicloul 7, clapeta 8 pentru dirijarea semințelor, colectoarele de semințe 9, conducta de aspirație 10, vana 11 pentru reglarea debitului de aer, ventilatorul 12, bateria de piezometre 13 și cântarul 14.

Colectorul de aspirație (fig.III.2) s-a realizat din aliaj de aluminiu și s-a atașat la conducta de transport prin înșurubare. Profilul colectorului s-a realizat după lemniscata lui Bernoulli a cărei relație este:

$$r^2 = a^2 \cos 2\alpha \quad (\text{III.1})$$

unde:  $a = (0,6 + 0,8)D$ ; D este diametrul interior al conductei.

S-au realizat două colectoare de aspirație: pentru conducta cu diametrul interior  $D = 142$  mm și pentru conducta cu diametrul  $D = 106$  mm.

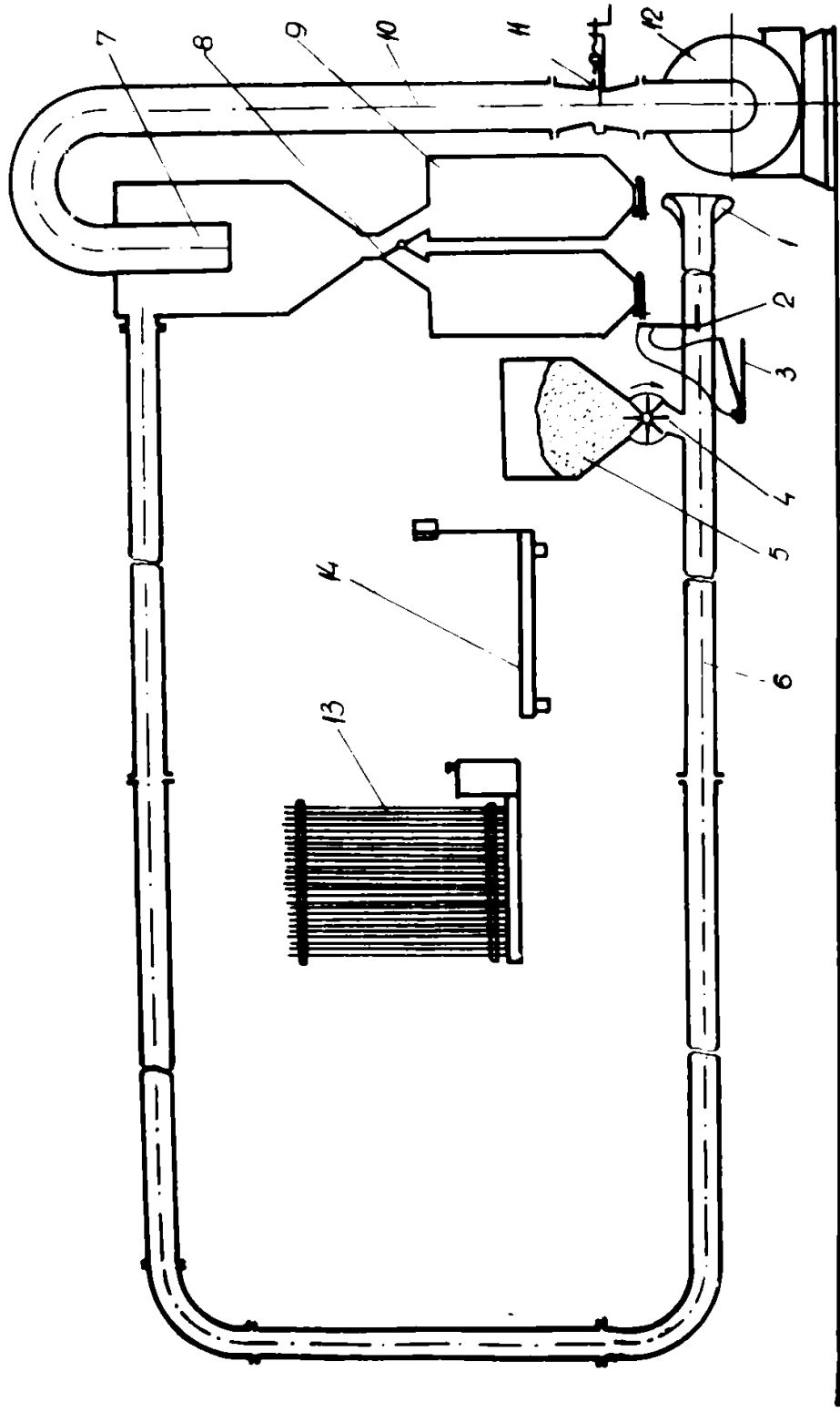


Fig.III.1. Schema instalației de transport pneumatic

Pentru determinarea vitezei medii a curentului de aer în conducta de transport pneumatic s-a măsurat sarcina de stagnare cu ajutorul unui micromanometru și a unui tub Pitot-Prandtl . În secțiunea de măsurare s-au realizat două prize, una la nivelul diametrului orizontal și cealaltă pe diametrul vertical. La fiecare priză s-a atașat câte un dispozitiv (fig. III.3) pentru deplasarea tubului Pitot de-a lungul diametrului de măsurare în scopul determinării profilului vitezei curentului de aer.

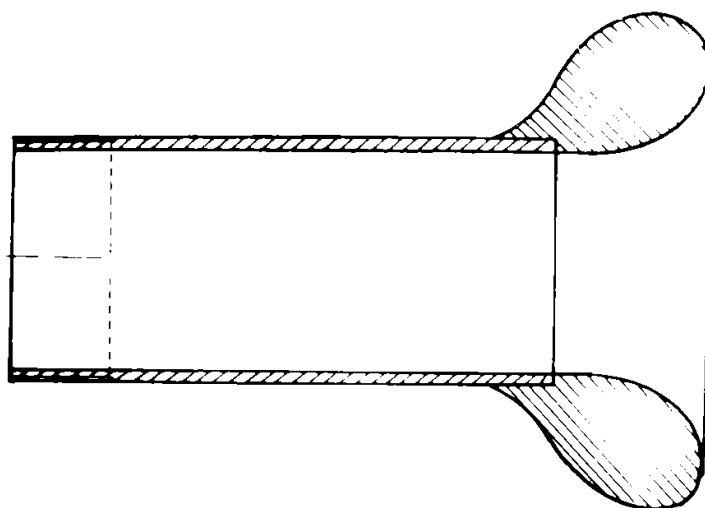


Fig.III.2. Colector de aspirație

În cadrul experiențelor s-au folosit două tuburi Pitot etalonate în prealabil în tunelul aerodinamic din laboratorul Catedrei de mașini hidraulice de la Facultatea de mecanică din Timișoara.

Dispozitivul de alimentare cu semințe (4, fig.III.1) este alcătuit dintr-o carcasă cilindrică prevăzută cu două ferestre, una la partea superioară prin care pătrund semințele, situate la baza coșului de semințe și cealaltă la partea inferioară prin care ies semințele și rotorul cu palete. Paletele rotorului sînt metalice și căptușite cu cauciuc pentru etanșe-

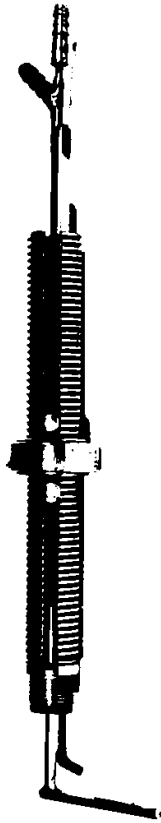


Fig. III.3. Dispozitiv pentru susținerea tubului Pitot

re cu carcasa. In cadrul experiențelor s-au folosit două dispozitive de alimentare, unul cu rotor echipat cu 8 palete cu diametrul exterior  $d_e = 142$  mm, diametrul interior  $d_i = 40$  mm și lungimea activă  $L_a = 135$  mm iar celălalt cu rotor echipat cu 12 palete cu diametrul  $d_e = 200$  mm, diametrul  $d_i = 40$  mm și lungimea  $L_a = 135$  mm.

Dispozitivul de alimentare este legat etanș cu conducta de transport pneumatic printr-un element de legătură din tablă cu secțiunea dreptunghiulară (120x140 mm). Elementul de legătură este dispus

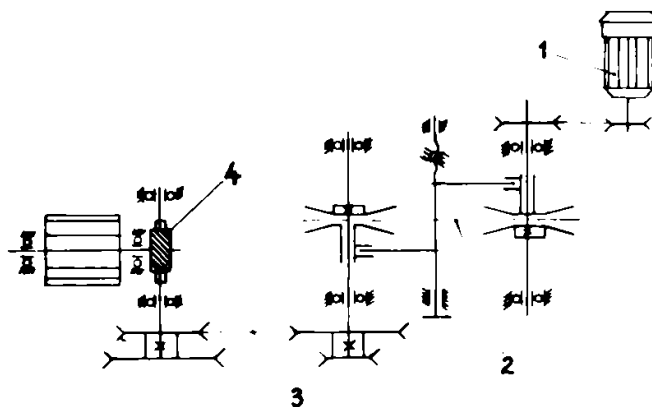


Fig. III.4. Schema cinematică a dispozitivului de alimentare

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

Rotorul distribuitorului este acționat (fig.III.4) de la motorul electric 1 prin intermediul unui variator de turații 2 cu curele trapezoidale, transmisia intermediară 3 și reductorul elicoidal 4. Turația rotorului distribuitorului de torită acestui sistem de acționare s-a putut regla continuu în limitele 6 la 30 rot/min și 25 la 100 rot/min.

Conducta de transport pneumatic (6, fig.III.1) cuprinde două ramuri fiecare cu lungimea de 15 m, un tronson de 2 m dispus vertical și două coturi de  $\pi/2$  rad. Instalația de transport a fost realizată în patru variante.

Varianta I-a sub forma prezentată în fig.III.1 con-

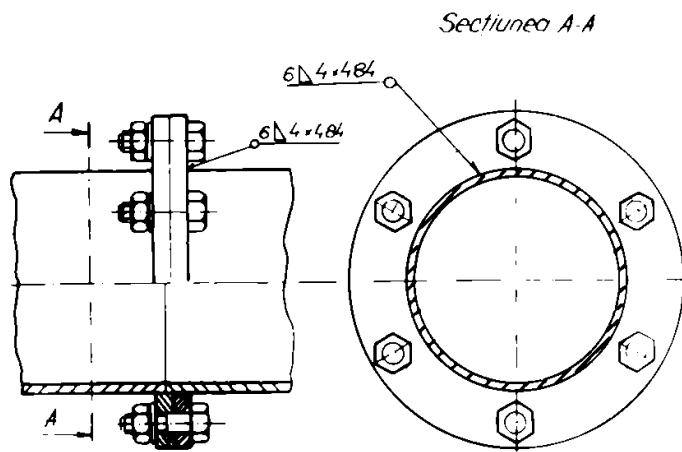


Fig.III.5.Imbinarea conductelor

stituită din conducte laminare din oțel cu diametrul interior  $D = 142$  mm. Fiecare ramură a rețelei de transport este alcătuită din două tronsoane de conductă. Imbinarea tronsoanelor este făcută cu flanșe de etanșare cu prag și adâncitură și inel sudat (fig.III.5).

Pe conducta de transport pneumatic sînt montate din metru în metru prize pentru măsurarea presiunii statice. Într-o secțiune de măsurare sînt șase prize dispuse după cum

urmează: două la nivelul diametrului orizontal iar celelalte patru decalate față de primele cu  $\pm \pi/3$  rad. Prizele unei secțiuni de măsurare sînt recordate la un inel de legătură din cauciuc, iar fiecare inel este legat prin intermediul unui tub din cauciuc cu bateria piezometrică. Distanța între colectorul de aspirație și secțiunea la care se află tubul Pitot este de  $12 D$  ( $D$  reprezentînd diametrul interior al conductei) iar distanța între această secțiune și secțiunea de alimentare cu semințe este de  $5D$ .

Varianta a II-a a instalației de transport este constituită din conducte din PVC cu diametrul interior  $D = 106\text{mm}$ .

Variantele III și IV diferă de varianta I-a prin aceea că la ramura inferioară a instalației de transport pneumatic s-a folosit o conductă din tablă cu secțiunea dreptunghiulară  $179 \times 90 \text{ mm}^2$  avînd <sup>aproximativ</sup> aceeași arie ca și conducta circulară de la varianta I-a.

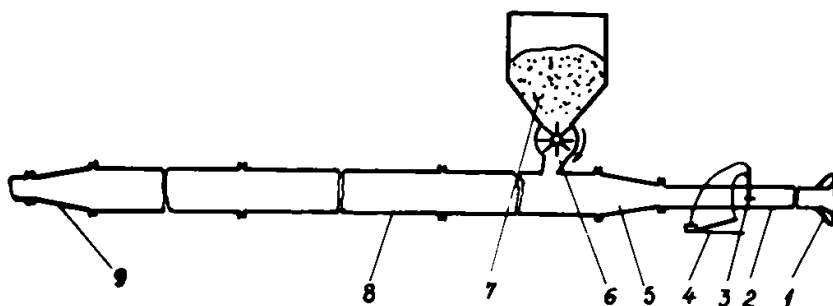


Fig.III.6. Schema conductei cu secțiune dreptunghiulară

Pentru varianta a III-a conducta dreptunghiulară s-a așezat cu latura mare a secțiunii dispusă orizontal iar pentru varianta a IV-a cu latura mare a secțiunii dispusă vertical. Instalația de transport (fig.III.6) în aceste variante cuprinde la capătul anterior un colector de aspirație 1, un tronson cilindric 2, tubul Pitot 3, micromanometrul 4, tronsonul



5 de trecere de la secțiunea circulară la secțiunea dreptunghiulară, dispozitivul de alimentare 6, coșul de alimentare 7,

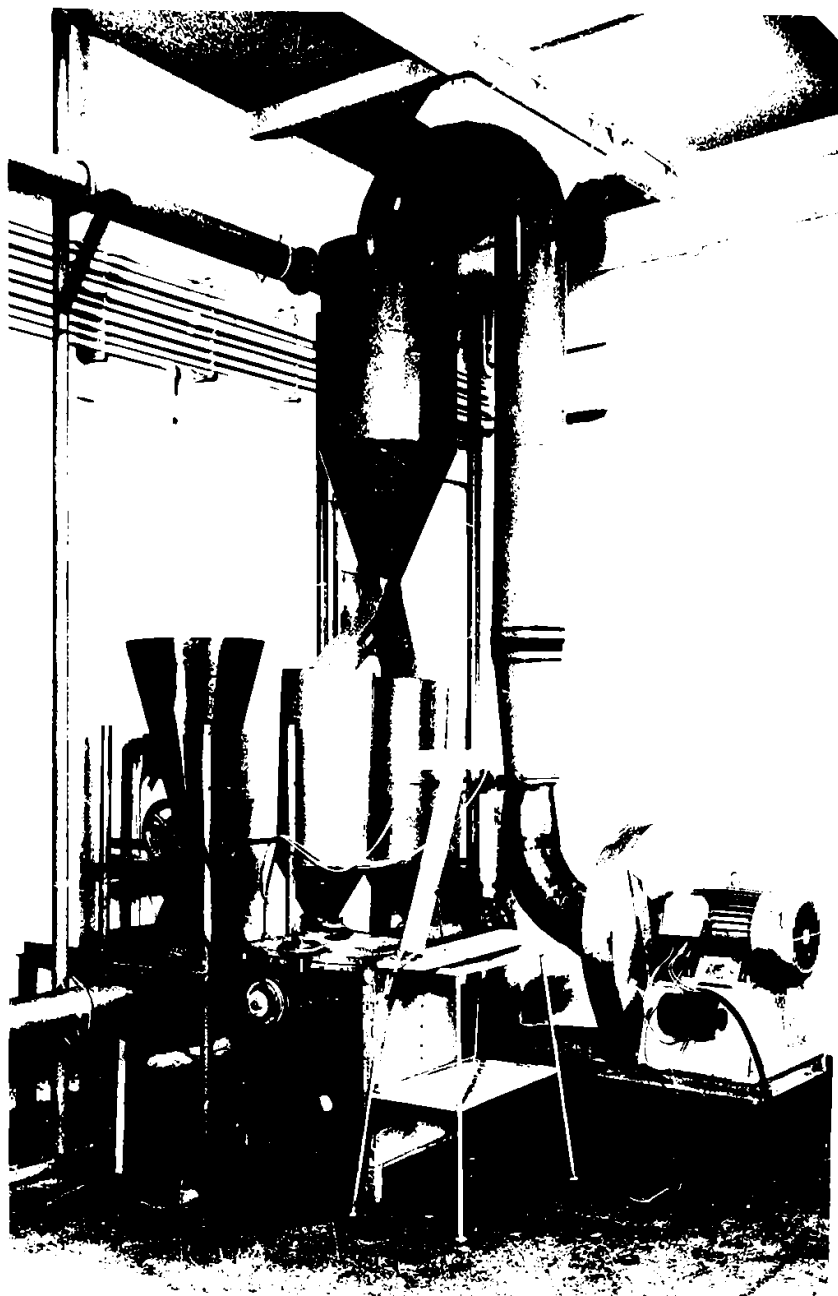


Fig.III.7. Instalația experimentală

conducta cu secțiune dreptunghiulară 8 și tronsonul 9 de trecere de la secțiunea dreptunghiulară la secțiunea circulară. Pe această conductă din metru în metru sînt montate cîte patru prize pentru măsuraarea presiunii statice. Prizele sînt fixate una pe fiecare perete al conductei și sînt reoordate la un inel de legătură și prin intermediul acestuia la bateria

de piezometre.

Cicloul pentru separarea semințelor (7, fig.III.1) are la partea inferioară o ramificație prin intermediul căreia este legat cu două colectoare cilindrice 9. În ramificație se află clapeta 8 care servește la dirijarea semințelor alternativ către unul din colectoarele 9. Clapeta 8 este manevrată prin intermediul unui mecanism cu pârghii cu autoblocare.

Colectoarele de semințe 9 sînt prevăzute la partea inferioară cu capace demontabile și jghiaburi pentru evacuarea semințelor. În fig.III.7 este prezentată o vedere generală a instalației de transport pneumatic.

Pentru cîntărirea probelor de semințe în cadrul experiențelor s-a folosit o basculă română model „Balanța” Sibiu de 500 kg tip MB-L-01/21.

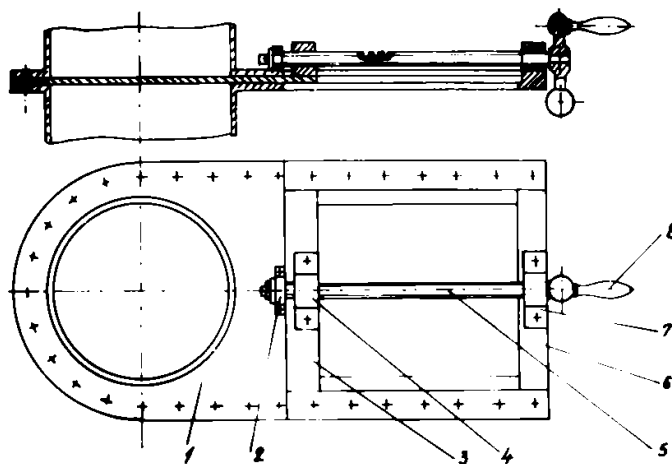


Fig.III.8. Vană

Conducta de aspirație (10, fig.III.1) face legătura între cicloul pentru separarea semințelor și orificiul de aspirație al ventilatorului. Conducta este confecționată din tablă de oțel, are diametrul interior  $D = 300$  mm și este prevăzută la partea superioară cu un cot de  $\pi$  rad cu o rasă

de curbură  $R_c = 3D$ . Pe conducta de aspirație se află ecluze (11, fig.III.1) pentru reglarea debitului de aer. Vana (fig.III.8) cuprinde rama superioară 1, sertărașul 3, rama inferioară 6, șurubul 5, piulițe 4 fixată pe sertăraș, legărele 2 și 7 și manivela 8.

Ventilatorul folosit în cadrul experiențelor a fost de înaltă presiune de tip monoaspirant model V-454/2 FPVB cu debitul nominal  $Q_n = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$ , sarcina nominală  $H_n = 840 \text{ daN/m}^2$ , puterea de acționare de  $N = 17,0 \text{ kW}$  și turația rotorului  $n = 3000 \text{ rot/min}$ .



Fig.III.9. Baterie cu piezometre

Bateria de piezometre (fig.III.9) cuprinde un rezervor de lichid, o conductă de legătură prevăzută cu 38 de ramificații, 38 de tuburi de sticlă și un panou. Tuburile din sticlă sînt recordate la ramificațiile conductei de lichid și la inelele de legătură ale prizelor de presiune statică prin intermediul unor tuburi din cauciuc. Pe panoul bateriei este fixată o coală de hîrtie milimetrică pe care sînt înregistrate numerele de ordine a fiecărui piezometru și cotele relative. În cadrul experiențelor bateria cu piezometre a fost iluminată continuu cu ajutorul a două lămpi, fiecare lampă avînd cîte trei tuburi fluorescente. De asemenea pe panou este fixată o tăbliță pe care sînt înscrise simbolurile fiecărei experiențe pentru identificarea lor ulterioară. Lichidul din piezometre a fost colorat pentru fotografierea bateriei în timpul experiențelor.

## CAPITOLUL II

### APARATURA FOLOSITA LA CERCETARILE EXPERIMENTALE

In cadrul efectuării determinărilor experimentale cu privire la stabilirea regimului optim de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale a fost necesar determinarea parametrilor de stare ai aerului, a proprietăților fizico-mecanice a semințelor, omogenizarea vracului de semințe și sortarea acestora precum și determinarea parametrilor caracteristici procesului de transport pneumatic.

Determinarea parametrilor de stare ai aerului:

- temperatura s-a măsurat de către autor, înainte de începerea experienței, folosind un termometru cu mercur;
- umiditatea relativă s-a măsurat în aceleași condiții, folosind un psihrometru ASMAN;
- presiunea barometrică s-a obținut de la Centrul meteorologic din Timișoara.

Pregătirea semințelor pentru experiențe a cuprins sortarea acestora după lățime, grosime, lungime și după proprietățile aerodinamice. În acest scop s-au folosit standuri speciale, concepute și proiectate de autor în cadrul altor cercetări și realizate la Catedra de mașini agricole.

Sortarea semințelor după lățime s-a făcut cu ajutorul standului pentru experimentarea sitelor plane (fig.III.10).

Sortarea semințelor după lățime s-a făcut cu site cu orificii circulare. Site superioară s-a ales cu orificii cu diametrul  $d_g = (b + 0,25)$  mm iar site inferioară cu orificii cu diametrul  $d_f = (b - 0,25)$  mm ( $b$  reprezintă lățimea medie a semințelor). Sortarea semințelor după grosime s-a făcut cu site cu orificii alungite. Lățimea orificiilor s-a ales: pentru site

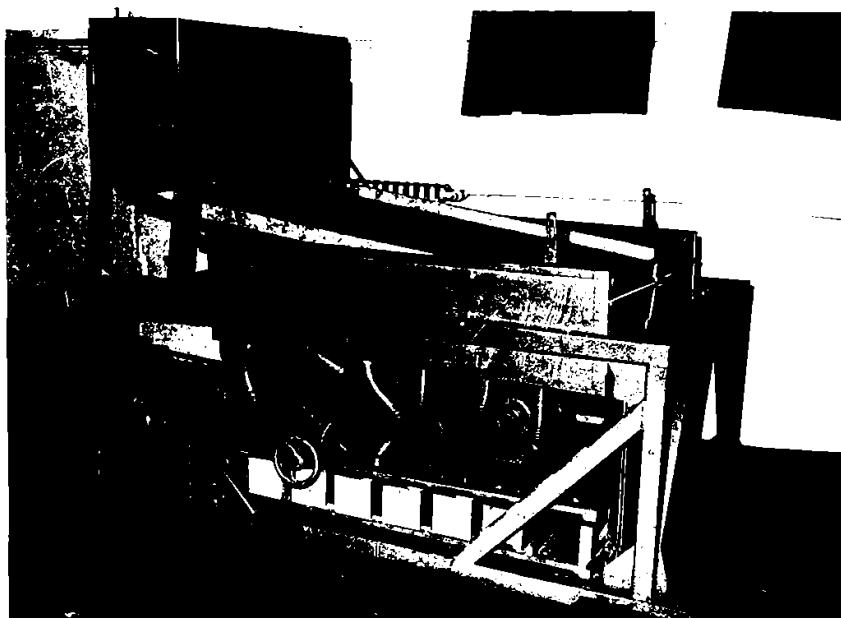


Fig.III.10. Stand pentru experimentarea sitelor plane

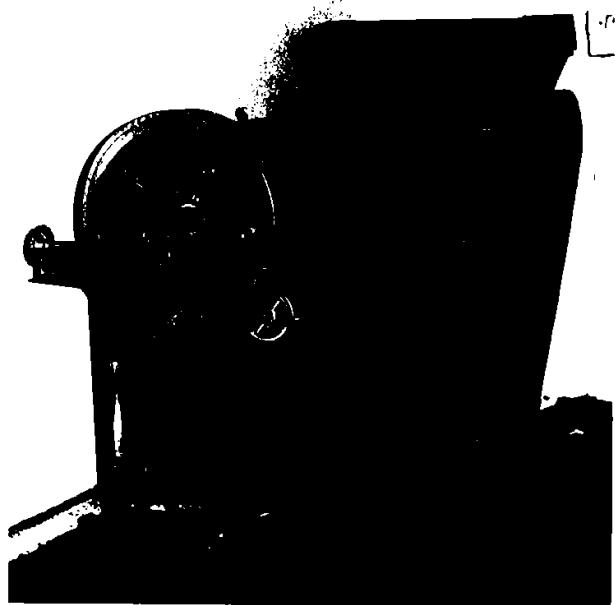


Fig.III.11. Stand pentru experimentarea trioarelor cilindrice

superioară  $t_g = (a + 0,25)$  mm iar pentru site inferioară  $t_i = (a - 0,25)$  mm (  $a$  reprezintă lățimea medie a semințelor).

Semințele de grâu au fost sortate și după lungime folosindu-se în acest scop standul pentru experimentarea trioarelor cilindrice (fig.III.11). Pentru sortare s-au folosit două mantale cilindrice; prima cu alveole cu  $d_g = 7,0$  mm și a doua cu alveole cu  $d_i = 5,25$  mm.



Fig.III.12. Clasificator aerodinamic de semințe

Pentru sortarea semințelor după proprietățile aerodinamice autorul a conceput și proiectat un stand special (fig. III.12) care s-a realizat în cadrul Catedrei de mașini agricole. Acest stand este reprezentat schematic în fig.III.13 și cuprinde: jghiabul 1 pentru colectarea semințelor cu viteza de plutire mai mare decât viteza curentului de aer din canal, canalul de separare 2 (cu secțiunea dreptunghiulară), coșul de alimen-

tare 3, camera de sedimentare 4, conducta de descărcare 5, conducta de aspirație 6, tubul Pitot 7, micromanometrul 8, clapeta 9 și ventilatorul 10. Standul este echipat cu un ventilator centrifugal, monoaspirant de înaltă presiune.

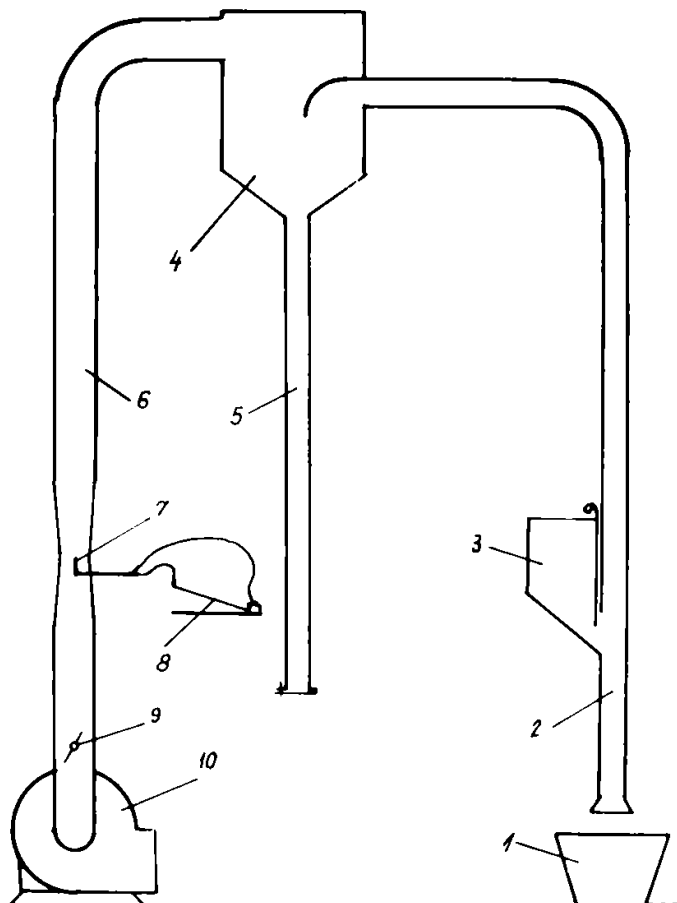


Fig.III.13. Schema clasificatorului aerodinamic de semințe

Coeficientul de frecare a semințelor s-a determinat cu ajutorul standului pentru determinarea coeficientului dinamic de frecare, stand conceput și proiectat de autor și realizat în cadrul Catedrei de mașini agricole. Standul este echipat cu un variator de turații cu ajutorul căruia se pot obține viteze de deplasare a suprafețelor de frecare față de semințe cuprinse între 0,5 și 15,0 m/s.



Massa specifică a semințelor s-a determinat cu ajutorul picnometrului după metodele cunoscute din fizică.

Pentru determinarea umidității semințelor s-a folosit unidometrul UT-1.

În scopul determinării apăsării semințelor asupra conductei în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, autorul a conceput o metodă specială, a proiectat și realizat un dispozitiv original reprezentat schematic în fig. III.14.

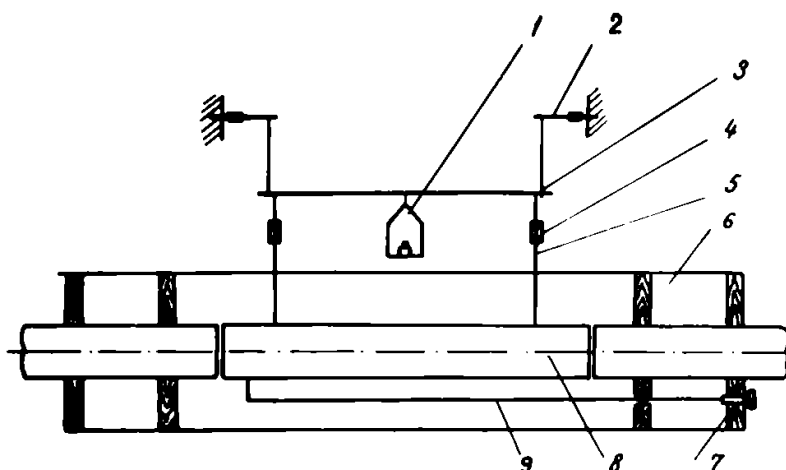


Fig. III.14. Schema dispozitivului pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă

Dispozitivul cuprinde: tronsonul de conductă 8 cu lungimea de 1 m, situat în zona mișcării stabilizate la distanța de 12 m față de dispozitivul de alimentare, cilindrul de protecție 6, firele 5 și 9, bara de legătură 3, celulele dinamometrice 2, talerul 1, manșonșele filetate 4, șuruburile de reglaj 7 și aparatură electronică pentru măsurare alcătuită dintr-un amplificator și un oscilograf.

Tronsonul de conductă 8 este separat de restul conductei de transport și suspendat cu ajutorul a două fire inexten-

sibile 5, astfel că se poate deplasa liber față de restul conductei. Intre capetele tronsonului 8 și capetele conductei de transport este lăsată o distanță de cca 0,7 mm pentru a evita contactul și frecarea cu conducta. Pentru a evita deplasarea tronsonului 8 în sensul de curgere a aerului în timpul funcționării instalației și pentru a înlătura eventuale rezemare a acestuia pe capătul conductei de transport, tronsonul de conductă 8 s-a legat cu trei fire inextensibile 9. Firele 9 s-au legat la tronsonul 8 la capătul posterior al acestuia pe o ramă metalică în așa fel ca să nu incomodeze deplasarea tronsonului în plan vertical. Firele 9 sînt prevăzute la capetele anterioare cu dispozitive de reglare cu filet 7.

Pentru verificarea coaxialității tronsonului 8 cu conducta de transport, pe capetele tronsonului și ale conductei s-au trasat repere atât în plan vertical cît și în plan orizontal.

Cilindrul de protecție 6 este realizat din tablă de oțel dublu decapată și este fixat pe conducta de transport prin intermediul a patru inele de etanșare din lemn. Spațiul cuprins în cilindrul de protecție nu comunică cu mediul înconjurător. În peretele cilindrului sînt practicate două orificii cu diametrul  $d = 1$  mm prin care trec firele de suspendare 5 și două ferestre de control în dreptul capetelor tronsonului mobil. Ferestrele din peretele cilindrului sînt acoperite cu stiplax. Prin aceste ferestre se vizează reperele de pe capetele conductei și ale tronsonului mobil în vederea alinierii lor.

Telesul 1 servește la susținerea greutăților în cadrul operației de etalonare a dispozitivului.

Celula dinamometrică este alcătuită dintr-un captor elastic realizat sub forma unei grinzii de egală rezistență în-

castrată la un capăt după modelul captorilor fabricați de firma Philips. Pe fiecare grindă sînt lipiți cîte doi traductori tensometrici rezistivi.

Dispozitivul cuprinde două grinzi tensometrice identice (verificate în prealabil) fixate pe o bară rigidă comună. La capătul liber al fiecărui captor este legat cîte unul din firele de susținere a tronsonului de conductă. Pe fiecare fir de suspendare este montat cîte un dispozitiv de reglare a poziției tronsonului în plan vertical, dispozitiv format dintr-un manșon dublu filetat și două tije filetate prevăzute cu inele de legătură.

Captorul elastic (fig.III.15) este confecționat din

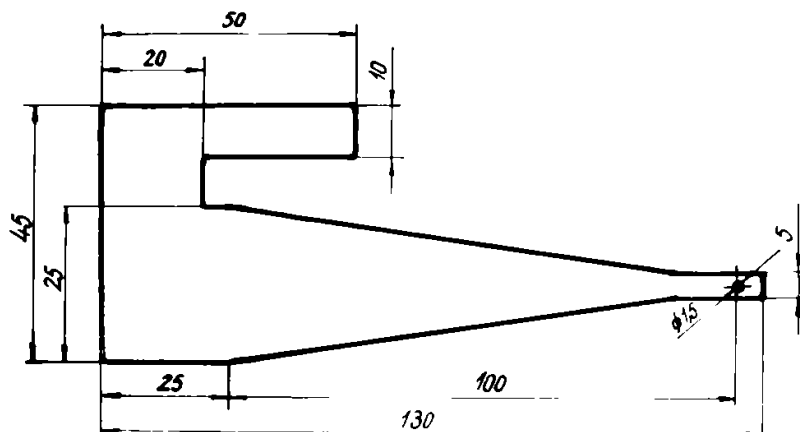


Fig.III.15. Schema captorului

tablă de oțel 34 MoCN 20X - STAS 791-66 cu  $\sigma_{02} = 100 \text{ daN/mm}^2$ . Dimensiunile captorului s-au stabilit pentru domeniul optim de măsurare cu captori elastici care corespunde [183] la valoarea tensiunii la încovoiere  $\sigma_{ef} = (1/4 - 1/3) \sigma_e$  ( $\sigma_e$  este tensiunea specifică la încovoiere la limita de elasticitate).

Pe captori s-au lipit traductori tensometrici rezistivi marca Orion EMAG tip 2359-TH/120/20 seria 541 cu rezisten-

ța  $R = 124,6 \pm 2\% \Omega$  și constanta  $k = 2,02 \pm 0,3\%$ . Lipirea traductorilor s-a făcut cu adeziv marca BLAG 2358-14-III după tehnologie indicată de fabricant. Pe un captor s-au lipit doi traductori câte unul pe fiecare față a lui. Capetele traductorilor s-au conectat la un contactor intermediar model Baldwin-Lima-Hamilton. Contactorul intermediar s-a fixat alături de captor



Fig.III.16. Montarea captorilor și a contactorului intermediar

(fig.III.16). Conexiunea traductorilor în circuitul de măsură s-a făcut cu conductori ecranați. Cei patru traductori de la cei doi captori ai dispozitivului pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă s-au montat în punte Wheatstone completă asigurându-se în acest fel compensarea termică cât și creșterea semnalului de ieșire. Pentru amplificarea, măsurarea și înregistrarea semnalelor traductorilor datorită deformării captorilor s-au utilizat: o punte tensometrică tip 4D3 și un oscilograf cu bucle 4 SO-1F2 RFT.

Schema bloc a circuitului de măsură este reprezentată în fig. III.17 și cuprinde: traductorii activi  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ , puntea de amplificare și oscilograf.

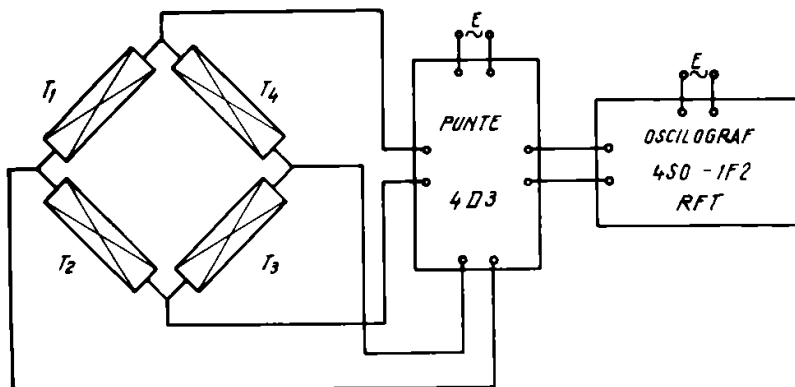


Fig.III.17. Schema bloc a circuitului de măsură

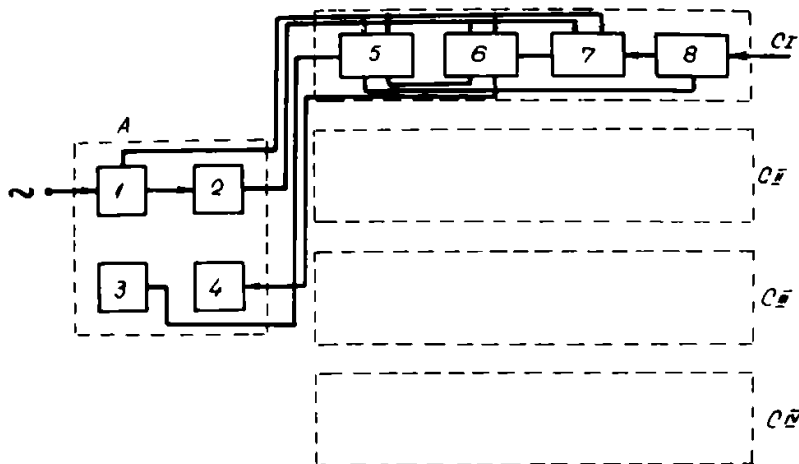


Fig.III.18. Schema bloc a punții 4D3

Puntea tensometrică cu tuburi tip 4D3 (fig.III.18) cuprinde un bloc de alimentare comun A și patru canale  $C_I$ ,  $C_{II}$ ,  $C_{III}$ ,  $C_{IV}$  de măsurare DV-3 cu frecvență pulsatorie și poate efectua măsurători static-dinamice.

Blocul de alimentare A conține redresorul și sistemul de alimentare al filamentelor 1, stabilizatorul electronic al tensiunii anodice 2, un oscilator pilot 3 și un instrument

de măsurare 4, comutabil pe fiecare din cele patru canale. Fiecare canal DV-3 cuprinde o punte de măsură cu sistemul de echilibrare respectiv 8, un amplificator de putere 5, un demodulator în inel 6 și un amplificator de măsură 7.

Oscilograful 4 SO-1F2 RFT este prevăzut cu patru bucle de măsură și înregistrează mărimile măsurate pe bandă de hirtie fotosensibilă cu lățimea de 120 mm. Lungimea oscilogramelor înregistrate poate fi reglată continuu între 0,2 și 2 m sau se poate obține oscilograma egală cu lungimea benzii de hirtie (15 m). Fiecare oscilogramă este marcată mecanic la sfârșit de un cui electromagnetic. Pe oscilogramă în afara celor patru curbe ale buclelor se înregistrează două repere de poziție în raport cu care se determină mărimile înregistrate de bucle și un reper de timp. Inregistratorul reperului de timp poate funcționa pe două frecvențe de 50 Hz și 500 Hz. Mărimile măsurate se pot aplica buclelor ca tensiuni respectiv ca intensități de curent. Viteza de deplasare a benzii înregistratoare se poate regla între 0,4 și 14,0 m/s.

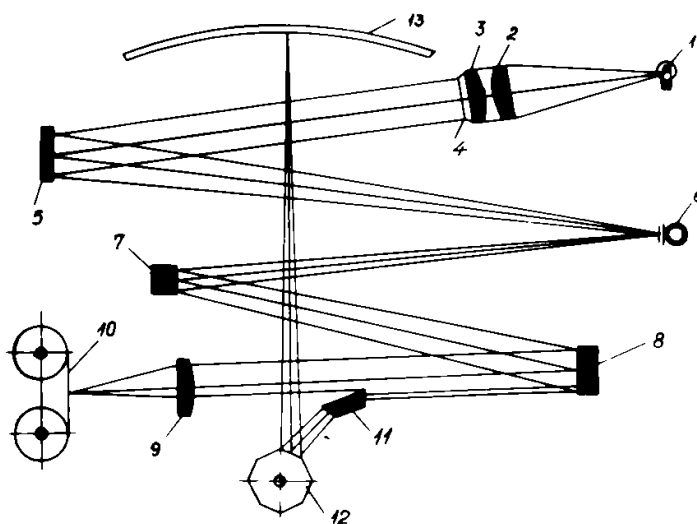


Fig.III.19.Schema de funcționare a oscilografului 4 SO-1F2

Schema de principiu a oscilografului 4 SO-1F2 este reprezentată în fig.III.19 și cuprinde: sursa de lumină 1

constituită dintr-o lampă de 6 V și 25 W, lentilele de condensare 2 și 3, diafragma 4 cu fanta reglabilă, sistemul de oglinzi 5, bucelele 6, oglinzile 7 și 8, lentila cilindrică 9, hârtia fotosensibilă 10, prisma 11, oglinda poligonală 12, ecranul 13.

Buclele care s-au folosit de autor la determinările experimentale au fost de tip MSA-8 având următoarele caracteristici: rezistența  $9 \Omega$ , sensibilitatea 48 mA/mA; frecvența 1600 Hz; constanta de curent cea 1,021 mA/mm; deplasarea admisibilă față de zero 72 mm; curentul maxim 1,5 A.

Dispozitivul pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă împreună cu aparatura de măsurare sînt prezentate în fig.III.20.

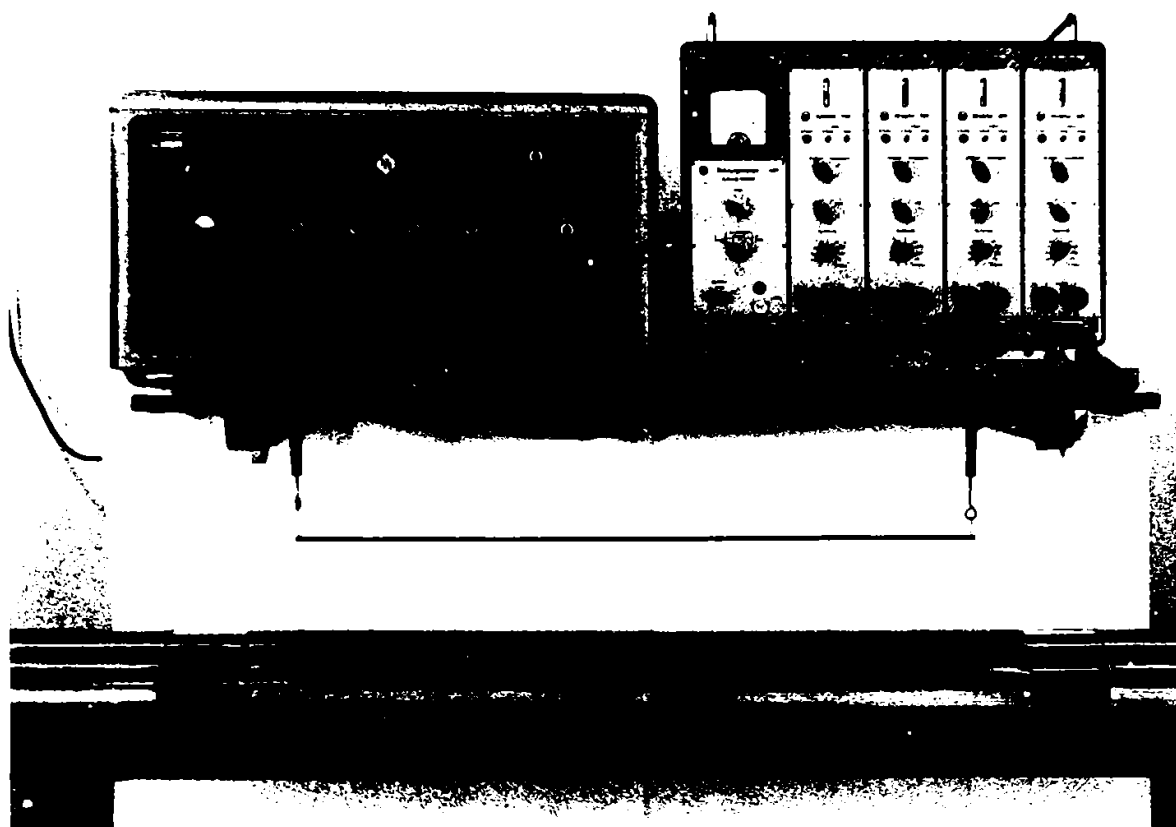


Fig.III.20. Dispozitiv pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă

## CAPITOLUL III

### METODICA EXPERIMENTALA PRIVIND STABILIREA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SEMINTELOR

Cercetările experimentale efectuate de autor cu privire la stabilirea regimului optim de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale au cuprins un complex de operații preliminare ca: rodajul instalației de transport pneumatic, pregătirea semințelor pentru experiențe, etalonarea diverselor aparate și dispozitive, reglarea și verificarea instalației de transport pneumatic precum și determinările experimentale referitoare la parametrii procesului de transport pneumatic.

#### §1. Rodajul instalației de transport pneumatic

Rodajul instalației s-a făcut în scopul verificării funcționării fiecărui ansamblu și curățirii conductelor în interior, a reducerii rugozității rămase în urma fabricației și aducerii conductelor în starea de netezime corespunzătoare condițiilor normale de transport pneumatic al semințelor. Rodajul conductelor a cuprins două etape. În prima etapă s-a făcut rodajul cu nisip timp de cinci ore. În a doua etapă s-a făcut rodajul standului prin funcționarea timp de 20 ore transportându-se semințe de grâu.

#### §2. Pregătirea semințelor pentru experiențe

În cadrul cercetărilor experimentale autorul a folosit trei feluri de semințe: semințe de grâu, semințe de porumb și semințe de mazăre. Fiecare lot de semințe a fost curățit de impurități prin trecerea de trei ori prin mașina MCS-5/2,5.



După curățire semințele au fost sortate după dimensiuni cu ajutorul sitelor plane. Pentru a realiza sortarea semințelor pe dimensiuni fiecare lot de semințe s-a trecut de trei ori pe fiecare sită. Dimensiunile orificiilor au fost:  $d_2 = 4,0$  mm;  $d_1 = 3,5$  mm;  $t_2 = 3,0$  mm;  $t_1 = 2,5$  mm pentru semințe de grâu;  $d_2 = 7,0$  mm;  $d_1 = 6,5$  mm;  $t_2 = 4,5$  mm;  $t_1 = 4,0$  mm pentru semințe de porumb și  $d_2 = 7,5$  mm;  $d_1 = 7,0$  mm pentru semințe de mazăre.

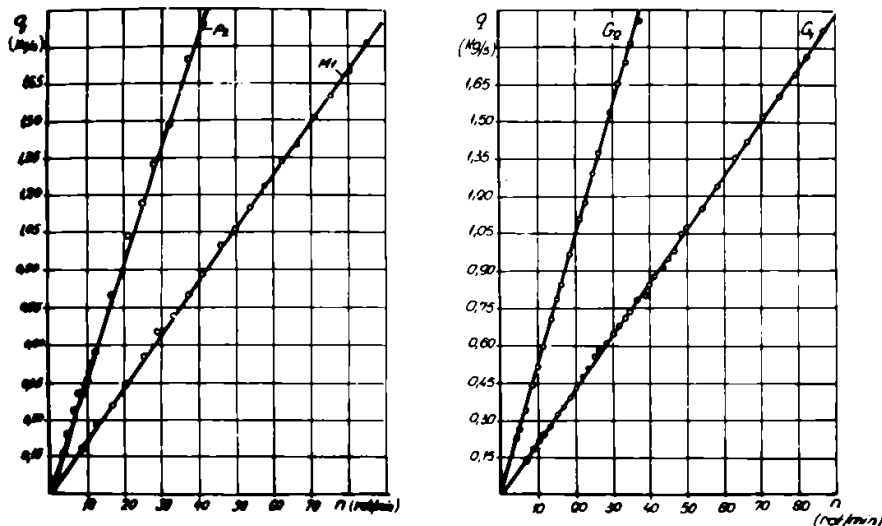
Separarea semințelor după proprietățile aerodinamice s-a făcut folosind clasificatorul aerodinamic realizat de autor. Modul de lucru a fost următorul (fig. III.13):

- s-a pornit ventilatorul 10, punându-se sub tensiune motorul electric pentru acționarea acestuia;
- s-au introdus semințe în coșul de alimentare 3, și s-a deschis șibărul acestuia cu 35 mm astfel ca să se scurgă în conductă 2 un strat continuu și uniform de semințe;
- s-a reglat viteza curentului de aer din conducta 2 cu ajutorul clapetei 9. Viteza curentului de aer a fost reglată repetat pentru două valori, inferioară și superioară pentru fiecare fel de semințe și anume: pentru semințe de grâu 8 și 9 m/s, pentru semințe de porumb 13,0 și 14,0 m/s iar pentru semințe de mazăre 15,0 și 16,0 m/s.
- s-au colectat separat semințele antrenate de curentul de aer în camera de sedimentare 4 și semințele care nu au fost antrenate de curentul de aer, în ighiabul 1. Pentru valorile inferioare ale vitezei curentului de aer semințele colectate în camera 4 s-au îndepărtat având viteze de plutare mică. Pentru valorile superioare ale vitezei curentului de aer s-au îndepărtat semințele colectate în ighiabul 1 având viteze de plutare mare. Fiecare lot de semințe a fost trecut prin canalul 2 de trei ori pentru fiecare valoare a vitezei

curentului de aer reglată. În felul acesta s-au separat semințele care au avut viteza de plutire între limitele reglate.

**83. Determinarea caracteristicilor de debit ale distribuitorilor cu palete**

În scopul asigurării unui anumit debit de semințe necesar cercetărilor experimentale a trebuit să se cunoască în prealabil caracteristicile de debit ale distribuitorilor de semințe. S-au determinat pe cale experimentală caracteristicile de debit a celor două distribuitoare și s-au stabilit pentru fiecare fel de semințe domeniul distribuției uniforme, alegându-se numai zonele rectilinii ale caracteristicilor de debit. Rezultatele experimentale sînt trecute în graficele din fig.III.21. Curbe de debit pentru semințe de grâu cu distribuitorul cu  $D = 142$  mm este reprezentată prin linie  $G_1$  pentru



**Fig.III.21. Caracteristicile de debit ale distribuitorilor de semințe**

semințe de mazăre prin linia  $M_1$  iar cu distribuitorul cu  $D = 200$  mm prin linia  $G_2$  pentru semințe de grâu și prin li-

nia  $P_2$  pentru semințe de porumb. La determinările experimentale s-au folosit probe de 200 kg din fiecare fel de semințe. Fiecare determinare a constatat în cronometrarea timpului de trecere a probei de semințe prin distribuitor. S-au făcut câte cinci repetiții pentru fiecare valoare a vitezei de rotație a rotorului distribuitorului. În graficele din fig. III-21 sînt reprezentate prin cerceulețe valorile medii ale celor cinci determinări.

§4. Metodica de lucru privind determinarea coeficientului echivalent de rezistență datorită frecării semințelor cu conductă

Coeficientul de rezistență  $\beta$ , după analize teoretică făcută de autor, reprezintă produsul între coeficientul de frecare  $f$  al semințelor și raportul între masa semințelor care se reazemă pe conductă și masa totală de semințe aflată în conductă. Determinarea directă pe cale experimentală a coeficientului  $\beta$  nu se poate face. Autorul a conceput și folosit două metode de determinare a coeficientului  $\beta$  pe cale indirectă. Ambele metode se bazează pe ipoteza că în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, la un debit de alimentare constant, stît cantitatea totală de semințe aflată în conductă cît și cantitatea de semințe care se reazemă pe conductă sînt constante întrucît viteza semințelor este constantă.

Prima metodă se referă la determinarea pierderilor specifice de presiune  $\Delta H_m$  cauzate de transportul pneumatic al semințelor în zone mișcării stabilizate. Dacă se are în vedere relația (II.31) pierderile specifice de presiune  $\Delta H_m$  se scriu:

$$\Delta H_m = \Delta H_c + \Delta H_f \quad (\text{III.2})$$

în care pentru situația mișcării stabilizate, ținînd seama

de relațiile (II.63) și (II.64) pierderile specifice de presiune  $\Delta H_p$  cauzate de frecarea semințelor cu conducta sînt date de relația:

$$\Delta H_p = \beta q/A v_m \quad (\text{III.3})$$

Din relațiile (III.2) și (III.3) rezultă:

$$\beta = (\Delta H_m - \Delta H_c) v_m A/q \quad (\text{III.4})$$

Pierderile specifice de presiune  $\Delta H_m$  și viteza  $v_m$  se determină pe cale experimentală. Pierderile specifice de presiune  $\Delta H_c$  se calculează cu relația:

$$\Delta H_c = \lambda q v_m/2DA \quad (\text{III.5})$$

în care coeficientul  $\lambda$  este determinat de Muschelkneutz [137].

A doua metodă folosită de autor pentru determinarea coeficientului  $\beta$  constă în determinarea cantității de semințe  $G_1$  aflată momentan în conductă și a cantității de semințe  $G_2$  care se reazemă pe conductă. Conform definiției coeficientului  $\beta$  se poate scrie:

$$\beta = f G_2/G_1 \quad (\text{III.6})$$

Cantitatea  $G_1$  de semințe aflată în conductă se determină prin închiderea simultană a două sertărașe situate la distanțe de 1 m pe conducta de transport în zona mișcării stabilizate.

Cantitatea  $G_2$  de semințe se determină ca diferența între greutatea unui tronson de conductă cu lungimea de 1 m în timpul transportului pneumatic și greutatea inițială a acestuia.

#### §5. Metodica de lucru cu dispozitivul pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă

În cadrul cercetărilor făcute de autor a fost necesar să se determine creșterea greutății conductei de transport pneumatic în timpul procesului de lucru. În acest scop

s-a procedat în felul următor:

- s-a pornit ventilatorul instalației de transport pneumatic și s-a reglat viteza curentului de aer corespunzătoare unei anumite determinări. S-au făcut determinări pentru valori ale vitezei curentului de aer cuprinse între 16 și 32 m/s modificându-se din 2 în 2 m/s;

- s-a lăsat să funcționeze instalația în gol și s-au verificat și reglat poziția tronsonului de conductă. Reglajele s-au făcut astfel ca reperele stît verticale cît și orizontale ale tronsonului să fie în continuarea reperelor omoloage de pe conductă, iar jocul între tronson și conductă să fie de 0,7 mm la fiecare capăt;

- s-au pus sub tensiune puntea tensometrică și oscilograful și s-a echilibrat puntea de măsură aducându-se acul aparatului de măsurare la zero;

- s-a reglat poziția reperului de nul al oscilografului astfel ca să se așeze în mod convenabil pe banda de hîrtie;

- s-a reglat poziția spotului luminos de la bucla de măsurare pentru situația de echilibru a punții să se suprapună pe reperul nul;

- s-a etalonat celula dinamometrică prin așezarea unor greutăți convenționale pe talerul dispozitivului de cîntărire. Curba de etalonare privind deviația spotului  $h$  în mm pe hîrtia fotosensibilă, funcție de suprasarcina  $G$  în N așezată pe talerul dispozitivului este reprezentată în fig.III.22. La poziția spotului buclei de măsurare nr.1 corespunzătoare unei încărcări de 0,25 N s-a fixat spotul buclei nr.2, la poziția spotului buclei de măsurare corespunzătoare unei încărcări de 0,50 N s-a fixat spotul buclei nr.3,

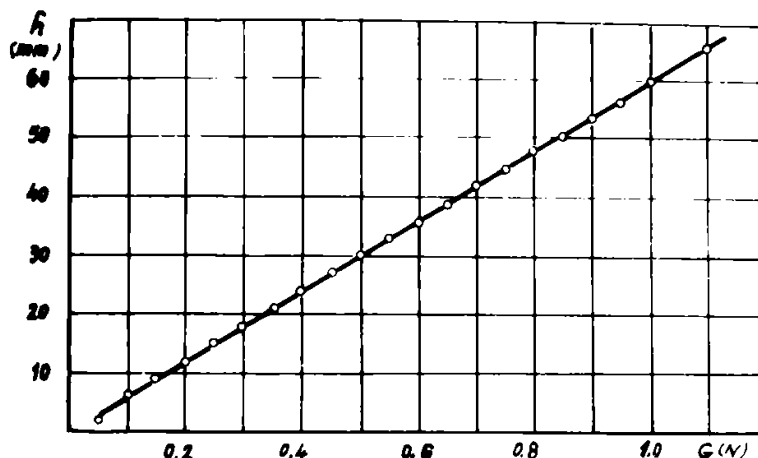


Fig. III.22. Curba de etalonare a celulei dinamometrice

la încărcarea de 0,75 N s-a fixat spotul buclei nr.4 iar la încărcare de 1,0 N s-a fixat spotul celui de al doilea reper marginal. S-a reglat astfel sensibilitatea montajului ca la modificarea sarcinii de la 0 la 1,0 N, spotul buclei de măsurare să cuprindă întreaga zonă activă. S-au ridicat greutatea de etalonare și s-a urmărit revenirea spotului buclei de măsurare la poziția inițială. Operația s-a repetat de trei ori înainte de fiecare experiență. A fost necesar acest lucru pentru a elimina la timp eventualele înțepeniri ale tronsonului datorită pătrunderii accidentale a semințelor între acesta și conductă;

- S-a alimentat cu semințe instalația de transport pneumatic și s-a reglat deschiderea ecluzei de aer astfel ca să se asigure viteza curentului de aer impusă;

- S-a marcat pe hârtia fotosensibilă indicativul de terminării și s-a lăsat instalația de transport să funcționeze în regim normal timp de trei minute;

- S-a comandat înregistrarea oscilogrammei și s-a urmărit deplasarea spotului buclei de măsurare pe ecranul oscilo-

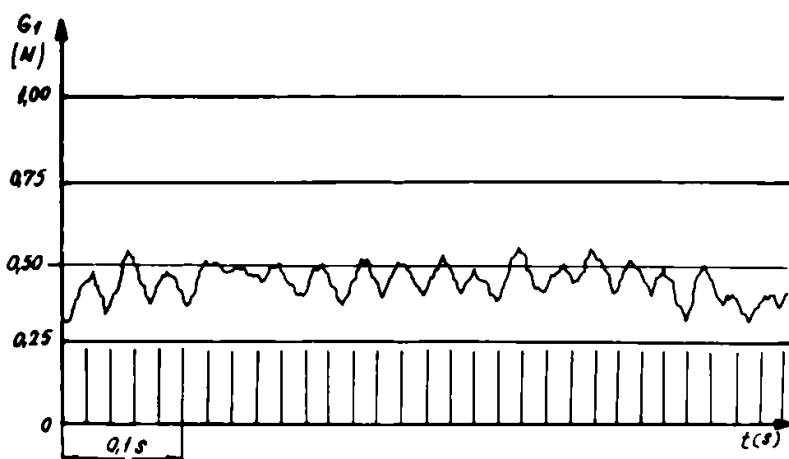


Fig.III.23. Copie după un fragment de oscilogramă

grafului. Lungimea unei oscilograme a fost de 1,2 m. Viteza de deplasare a benzii de hirtie a fost de 0,4 m/s;

- s-au făcut determinări experimentale cu semințe de grâu pentru două concentrații gravimetrice  $\mu = 1$  și  $\mu = 3$  folosindu-se două benzi de hirtie de înregistrare tip RR-92 a 15 m lungime fiecare bandă.

În fig.III.23 este prezentată o copie după un fragment de oscilogramă pentru determinarea A-7 corespunzătoare vitezei carentului de aer  $v_g = 18$  m/s și concentrației gravimetrice  $\mu = 3$ .

### §6. Metodica determinării parametrilor procesului de transport pneumatic

Încercările experimentale cu privire la parametrii procesului de transport pneumatic în vederea stabilirii condițiilor optime de transport s-au făcut cu semințe de grâu, semințe de porumb și cu semințe de mazăre. Debitul de semințe a fost diferit după cum urmează: la încercările cu semințe de grâu respectiv cu semințe de mazăre s-au realizat câte patru grupe de debite de 0,300; 0,600; 0,900 și 1,200 kg/s iar la încercările

cu semințe de porumb s-au realizat trei debite de 0,300; 0,900; 1,500 kg/s.

Determinarea pierderilor de presiune la transportul pneumatic al semințelor în conducte dispuse orizontal s-a făcut pentru fiecare din semințele și valorile debitului indicate corespunzător la șase trepte de viteze ale curentului de aer de la  $v_a = (14,0 \pm 0,5)$  m/s la  $v_a = (32,0 \pm 0,5)$  m/s din 2 în 2 m/s.

Modul de lucru la fiecare experiență a fost următorul:

- S-a verificat funcționarea fiecărui ansamblu;
- S-a reglat turația dispozitivului de alimentare corespunzătoare debitului de semințe indicat;
- S-a reglat viteza medie a curentului de aer la valoarea indicată;
- S-a lăsat să funcționeze instalația până la stabilizarea regimului, după care au început determinările propriuzise;
- S-au colectat alternativ semințele transportate, în cite unul din colectoarele de sub ciclon și s-a cronometrat timpul în care au fost transportate semințele colectate pentru a se stabili debitul real. La fiecare experiență s-au făcut cite cinci repetiții de determinare a debitului de semințe. Repetițiile s-au făcut fără oprirea instalației prin descărcarea alternativă a celor două colectoare de semințe. Fiecare probă de semințe a fost cântărită separat;
- S-au efectuat cite 12 citiri ale nivelului lichidului din micromanometrul. Viteza curentului de aer în conducta de transport s-a determinat ca medie celor 12 citiri ale sarcinii de stagnare. Tubul micromanometrului s-a fixat la înclinarea  $i = 1/5$  ceea ce s-a făcut ca eroarea de 1 mm la citirea nivelului lichidului să corespundă o eroare de cotă de 0,2 mm coloană de



lichid;

- S-au făcut cîte cinci fotografii a bateriei cu piezometre în cadrul unei experiențe. Nivelul lichidului din fiecare piezometru s-a citit ulterior prin proiectarea filmului pe un ecran special liniot, care a permis citirea nivelului lichidului cu o eroare de 0,2 mm. Pierderile totale de presiune în mm coloană de lichid, între două secțiuni ale conductei de transport situate la o distanță determinată s-au stabilit ca medie diferenței nivelelor piezometrelor la cele cinci citiri;

- După efectuarea fiecărei experiențe s-a lăsat instalația să funcționeze în gol pentru autocurățire și apoi s-a verificat dacă nu s-au infundat prizele pentru măsurarea presiunii statice. Pierderile de presiune cauzate de frecarea aerului cu pereții conductei s-au determinat, în cadrul funcționării în gol a instalației tot prin fotografierea repetată a bateriei cu piezometre.

### CONCLUZII

În vederea verificării rezultatelor cercetărilor teoretice efectuate de autor asupra regimului optim de transport pneumatic al semințelor în conducte orizontale, s-au făcut cercetări experimentale laborioase prin care s-a urmărit influența diferiților parametri ai procesului de transport ( $v_a$ ,  $D$ ,  $d$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_m$ ,  $q$  ș.a.) asupra mișcării semințelor, pierderilor de presiune și a consumului specific de energie. În acest scop a fost necesar să se conceapă instalații, dispozitive și aparate adecvate cercetărilor, să se stabilească tehnici de lucru originale care să asigure individualizarea riguroasă și determinarea cu acuratețe a factorilor care caracterizează procesul de

transport pneumatic, astfel:

1. Autorul a conceput, proiectat și realizat o instalație originală pentru transportul pneumatic al semințelor alcătuită din două ramuri dispuse orizontal, fiecare ramură având lungimea de 15 m. În cadrul fiecărei ramuri s-au realizat succesiv atât o zonă cu mișcare tranzitorie cât și o zonă cu mișcare stabilizată. Concepută astfel, instalația a permis să se efectueze simultan măsurători în paralel a unor parametri (pierderi specifice de presiune, consum specific de energie ș.a), compararea valorilor acestora, depistarea la timp a eventualelor nereguli de măsurare sau înregistrare. Instalația a fost realizată în patru variante, două cu conducte cu secțiune circulară și două cu conducte cu secțiunea dreptunghiulară. Parametrii funcționali ai instalației s-au stabilit astfel încât să fie asigurat transportul pneumatic cu deplasarea semințelor în suspensie. De asemenea s-au proiectat și realizat un dispozitiv pentru reglarea fină a vitezei curentului de aer și un dispozitiv pentru modificarea continuă a debitului de semințe, dispozitive care au echipat instalația de transport pneumatic. Modul de colectare al semințelor transportate pneumatic, alternativ în două colectoare care se pot descărca separat în timpul funcționării instalației, reprezintă o soluție originală a autorului, de mare importanță pentru cercetările experimentale, întrucât astfel se pot face determinări de debit, cu mare precizie, fără întreruperea funcționării instalației și modificării procesului de curgere a amestecului de aer și semințe;

2. Înregistrarea simultană a presiunii statice în toate secțiunile de măsurare, prin fotografizarea panoului cu piezometre, constituie o soluție bine aleasă de autor, întrucât

numai în asemenea condiții se pot compara valorile măsurate, în secțiuni hidrodinamic omoloage, ale aceluiași parametri;

3. Autorul a conceput, proiectat și realizat un dispozitiv pentru determinarea apăsării semințelor pe conducta de transport pneumatic. Un astfel de dispozitiv nu a mai fost folosit în cadrul cercetărilor experimentale de către alți cercetători. Dispozitivul realizat după concepția autorului este original, constituie o noutate și deschide noi posibilități de cercetare a fenomenelor ce au loc în cadrul procesului de transport pneumatic. Dispozitivul este simplu, sigur în funcționare, ușor de manevrat și este dotat cu aparate de măsurare și înregistrare de înaltă precizie ca celule dinamometrice tensometrice, punte tensometrică de măsură și oscilograf pentru înregistrare;

4. Metodica de lucru cu dispozitivul pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă, concepută de autor, este originală, clară, ușor de însușit, permite prelucrarea și interpretarea datelor după metodele matematicii-statistice;

5. Autorul a conceput, proiectat și realizat un clasificator aerodinamic cu ajutorul căruia s-au sortat semințele după proprietățile aerodinamice. Clasificatorul realizat de autor asigură reglarea fină a vitezei curentului de aer, respectiv sortarea cu precizie a semințelor pe clase situate în intervale foarte mici;

6. Autorul a elaborat o metodică experimentală minuțioasă care cuprinde o succesiune de operații premergătoare cercetărilor experimentale referitoare la pregătirea semințelor destinate încercărilor privind omogenizarea acestora sub aspectul dimensiunilor și a proprietăților aerodinamice. De asemenea autorul a efectuat cu atenție, rodajul instalației de transport

pneumatic înainte de cercetările experimentale în vederea reducerii rugozității conductelor și aducerii lor în starea de netezime corespunzătoare situației existente la instalațiile aflate în exploatare, eliminându-se în acest fel eventualele erori care ar fi putut apărea din această cauză.

7. Autorul a verificat și etalonat înainte de cercetărilor experimentale, fiecare dispozitiv folosit la determinări și a stabilit pentru fiecare dintre acestea domeniul optim de măsurare în vederea evitării eventualelor erori;

8. Pentru fiecare determinare experimentală autorul a efectuat un număr satisfăcător de repetiții iar valorile măsurilor măsurate trecute în grafice și tabele reprezintă media măsurărilor respective;

9. În cadrul determinării vitezei curentului de aer în conducta de transport pneumatic prin determinarea sarcinii de stagnare cu ajutorul unui tub Pitot și a unui micromanometru cu lichid cît și la determinarea pierderilor specifice și totale de presiune, autorul a făcut corecțiile corespunzătoare legate de densitatea efectivă a lichidului din piezometru și din micromanometru, de temperatura și densitatea aerului și de presiunea barometrică efectivă.

## PARTEA IV- a

### CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA REGIMULUI

#### OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SEMINTELOR

##### CAPITOLUL I

#### PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE SEMINTELOR

În cadrul experiențelor efectuate de autor s-au folosit semințe de grâu, porumb și mazăre. Proprietățile fizico-mecanice ale acestor semințe sînt indicate în anexa IV.1.

Diametrul echivalent al semințelor unei culturi s-a determinat cu ajutorul relației (II.50) ca medie a cinci probe a cîte 100 semințe fiecare probă. Cîntărirea probelor de semințe s-a făcut cu ajutorul unei balanțe analitice. Tot în urma acestor determinări a rezultat și masa unei semințe ca raportul între suma maselor celor cinci probe și numărul de semințe din aceste probe. Alegerea probelor de semințe s-a făcut conform STAS 1633-66 și STAS 7713-66.

Masa specifică a semințelor s-a determinat prin metoda picnometrului ca medie a cinci determinări la fiecare fel de semințe. Probe de semințe pentru o determinare a cuprins 100 semințe în cazul semințelor de grâu și 40 semințe în cazul semințelor de porumb respectiv de mazăre. Calculul masei specifice în cadrul unei determinări s-a făcut cu relația:

$$\rho_m = G_1 / (G_1 - G_2) \quad (IV.1)$$

unde:

$G_1$  și  $G_2$  - greutatea probei de semințe în aer respectiv în apă.

Coefficientul de frecare dinamic s-a determinat pe un

stand special existent la Catedra de mașini agricole, pentru viteza relativă de 10,5 m/s.

## CAPITOLUL II

### DETERMINAREA PROFILULUI VITEZEI CURENTULUI DE AER

Profilul vitezei curentului de aer în conducte de transport s-a determinat prin măsurarea variației presiunii de staționare cu ajutorul unui tub Pitot pe două diametre perpendiculare, orizontal și vertical. Pe fiecare diametru s-au făcut măsurători din cinci în cinci milimetri, în 21 puncte pe conducta cu  $D = 106$  mm și respectiv în 23 puncte pe conducta cu  $D = 142$  mm. La o determinare tubul Pitot s-a trecut de două ori de-a lungul unui diametru astfel încât în fiecare punct s-au făcut câte două citiri. Valoarea vitezei curentului de aer la anumită distanță față de axa conductei s-a stabilit ca media celor opt măsurători separate. S-au făcut măsurători pentru variații ale vitezei medii a curentului de aer între 8,4 și 32 m/s.

La fiecare determinare s-au făcut corecțiile corespunzătoare în raport cu temperatura aerului și densitatea lichidului din piezometru. De asemenea pentru fiecare punct în care s-au făcut măsurători s-au calculat: abaterea medie patetică, coeficientul de variație și indicile de precizie.

Viteza curentului de aer s-a calculat ca media ponderată a vitezelor medii a punctelor de măsurare cu relația:

$$v_a = \frac{\sum A_1 v_1}{A} \quad (\text{IV.2})$$

unde:

$A_1$  - reprezintă suprafața coroanei circulare în care

viteza curentului de aer este  $v_1$ .

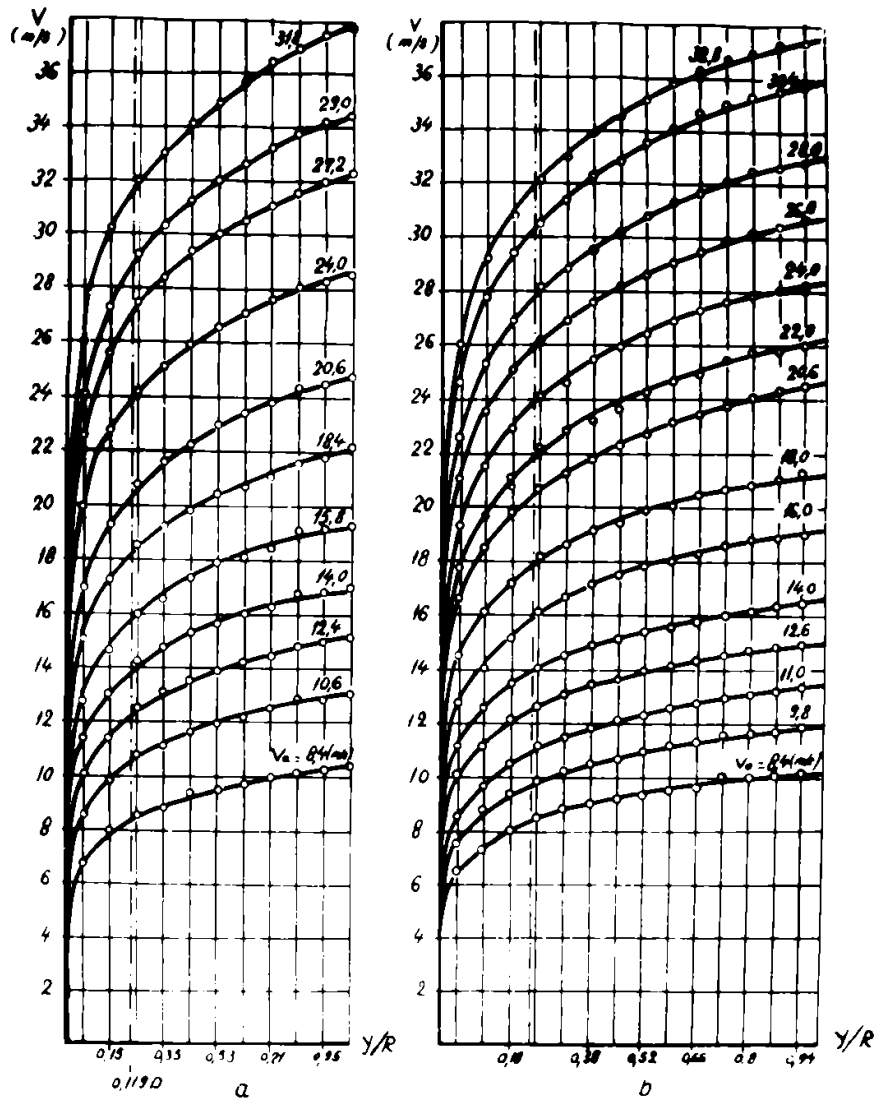


Fig.IV.1. Variația vitezei curentului de aer funcție de  $Y/R$ ; a- conducta cu  $D=106$  mm; b- conducta cu  $D=142$  mm

Variația vitezei curentului de aer în funcție de raportul între distanța  $Y$  de la pereții conductei și raza  $R$  a conductei s-a reprezentat în fig.IV.1.

### CAPITOLUL III

#### DETERMINAREA PIERDERILOR DE PRESIUNE LA FUNCTIONAREA IN GOL A INSTALATIEI DE TRANSPORT PNEUMATIC

##### §1. Determinarea pierderilor specifice de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei

Pierderile specifice de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei  $\Delta H_g$  reprezintă o componentă însemnată din totalul pierderilor de presiune în cadrul transportului pneumatic. Pierderile specifice de presiune  $\Delta H_g$  determinate de autor la instalațiile experimentale folosite s-au repre-

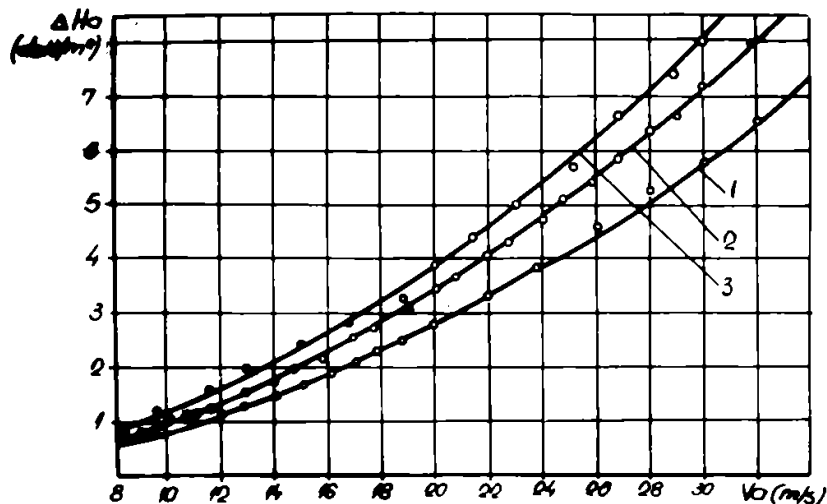


Fig.IV.2. Pierderile specifice de presiune funcție de viteza curentului de aer

zentat cu cerușe în graficul din fig.IV.2. În același grafic s-a reprezentat cu linie continuă pierderile specifice de presiune calculate cu relația lui Darcy-Weisbach pentru care  $\lambda_g$  s-a calculat cu relația lui Nicuradze (poz.7 din anexa I.1) co-

BUPT  
TIMISOARA  
BIBLIOTECA CENTRALA



ser la care s-au făcut determinările experimentale. Concordanța între valorile determinate experimental și valorile calculate este foarte bună. În graficul din fig. IV.2 curba 1 este pentru conducta metalică cu diametrul interior  $D = 142 \text{ mm}$ , curba 2 pentru conducta din tablă cu secțiunea dreptunghiulară de  $90 \times 179 \text{ mm}^2$ , iar curba 3 este pentru conducta circulară din PVC cu diametrul interior  $D = 106 \text{ mm}$ .

Pentru conducta cu secțiunea dreptunghiulară coeficientul de rezistență  $\lambda_g$  s-a calculat corespunzător razei hidraulice a secțiunii.

### §2. Determinarea pierderilor de presiune în colectorul de aspirație

Autorul a efectuat determinări experimentale asupra pierderilor de presiune în colectorul de aspirație  $H_{ac}$  pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer. Rezultatele determinărilor experimentale sînt reprezentate în fig. IV.3. De

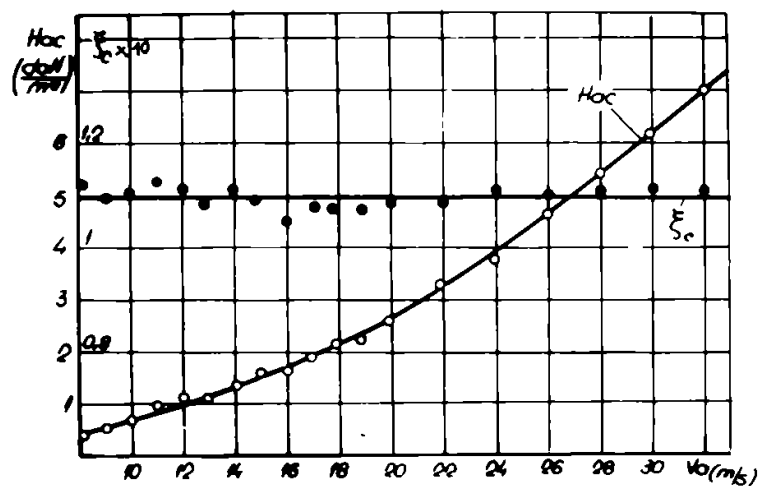


Fig. IV.3. Pierderile de presiune și coeficientul de rezistență în funcție de viteză curentului de aer în colectorul de aspirație

asemenea în același grafic s-a reprezentat și variația coeficientului de rezistență  $\xi_c$  funcție de viteza curentului de aer rezultat ca raportul între  $H_{sc}$  și sarcina de stagnare. Din analiza acestui grafic rezultă că valoarea coeficientului de rezistență  $\xi_c$  rămâne aproximativ constantă;  $\xi_c = 0,4096$  la variația vitezei curentului de aer între 8 și 32 m/s.

Pentru prelucrarea datelor experimentale în vederea calculului coeficientului de rezistență  $\xi_c$  și pentru calculul valorii medii a coeficientului de rezistență  $\xi_m$  a abaterii medii patricecă  $\sigma$ , a coeficientului de variație  $\sigma_v$  și a indicelui de precizie  $i_p$  s-a folosit un calculator IRIS-50 de la centrul de calcul din Timișoara. Programul de calcul a fost înlocuit în limbaj FORTRAN. Organigrama este prezentată în fig. IV.4.

Valorile indicilor statistici au fost:

$$\sigma = 0,0051; \sigma_v = 0,5\%; \sigma_m = \pm 0,0012; i_p = 1,1\%$$

### §5. Determinarea pierderilor de presiune în secțiunea de alimentare

La trecerea curentului de aer prin secțiunea orificiului de alimentare apar turbioni care produc pierderi de presiune. Cunoașterea acestor pierderi de presiune este necesară pentru a stabili ulterior pierderile de presiune suplimentare cauzate de introducerea semințelor în conducta de transport pneumatic.

Pierderile de presiune  $H_{a1}$  la trecerea curentului de aer prin secțiunea de alimentare s-au determinat pentru diferite valori ale vitezei medii  $v_g$  a curentului de aer. Rezultatele experimentale s-au reprezentat grafic în fig. IV.5.

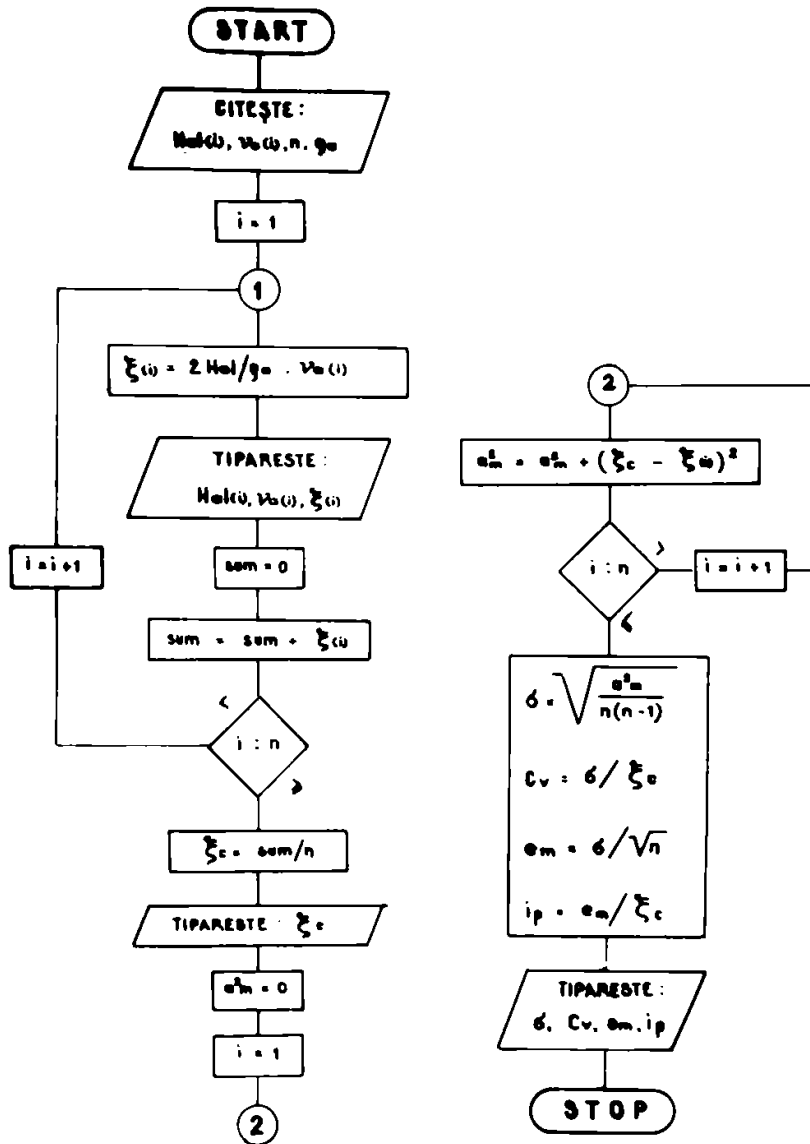


Fig.IV.4. Organigramă

Pierderile de presiune  $H_{a1}$  cresc o dată cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de ser. Se admite că pierderile de presiune  $H_{a1}$  sînt proporționale cu sarcina de stagnare corespunzătoare vitezei medii a curentului de ser  $v_a$  din conducta de transport pneumatic se obține astfel coeficientul de rezistență locală  $\xi_{a1}$  în secțiunea de alimentare ca raport între  $H_{a1}$  și sarcina de stagnare. În graficul din fig.IV.5 s-a repre-

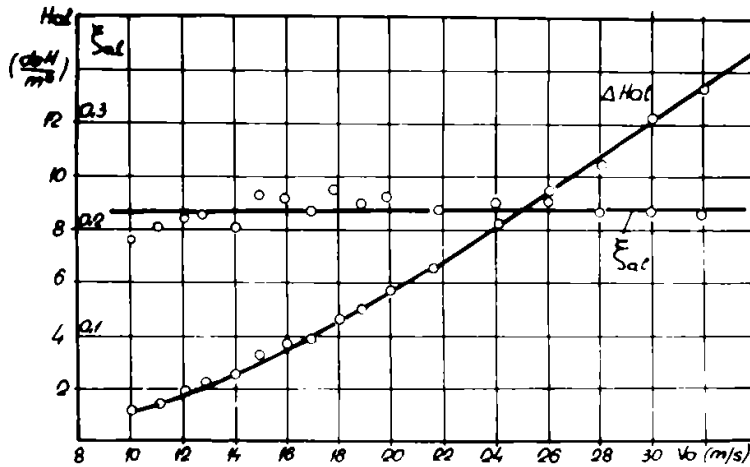


Fig.IV.5. Pierderile de presiune și coeficientul de rezistență funcție de viteza curentului de aer în secțiunea de alimentare

zentat și variația coeficientului de rezistență  $\xi_{al}$  funcție de viteza curentului de aer, obținut după prelucrarea datelor experimentale. Coeficientul de rezistență  $\xi_{al}$  are o valoare constantă:  $\xi_{al} = 0,219$ . Calculele necesare s-au făcut la un calculator IRIS-50 după organigrama din fig.IV.4. Valorile indicilor statistici au fost:

$$\sigma = 0,0118 \quad \sigma_v = 5,04\%; \quad \sigma_m = \pm 0,00275; \quad i_p = 1,25\%$$

## CAPITOLUL IV

### ANALIZA COEFICIENTULUI ECHIVALENT DE REZISTENȚA DATORITA

#### EPĂCĂRII SEMINTELOR CU PEREȚII CONDUCTEI

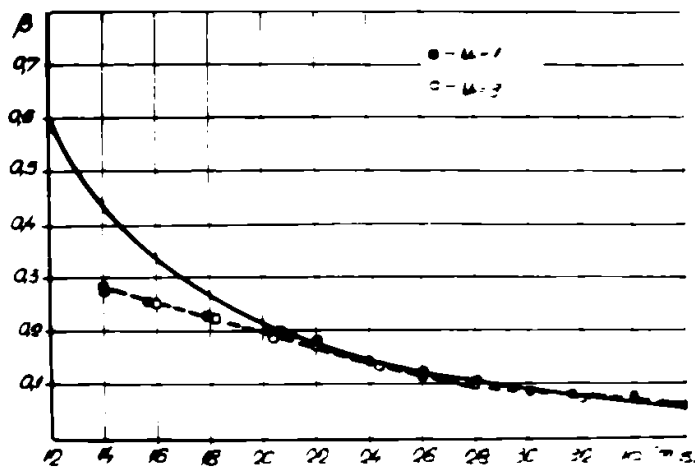
Coeficientul  $\beta$  s-a determinat de autor, atât prin metoda măsurării pierderilor de presiune în conductă cu diametrul interior  $D = 142$  mm folosind relația (III.4) cât și prin metoda măsurării epăcării semințelor pe conductă.

În cadrul primei metode s-au făcut câte 12 citiri atât pentru sarcina de stagnare cât și pentru pierderile de presiune. La prelucrarea rezultatelor s-au făcut corecțiile corespunzătoare pentru temperatura reală a aerului, densitatea lichidelor din piezometru și din micromanometru.

În cadrul celei de a doua metodă, epăcarea semințelor pe conductă s-a înregistrat pe bandă fotosensibilă cu ajutorul oscilografului 4 SO-1 F 2. Oscilogramele obținute la diferite valori ale vitezei curentului de aer și ale concentrației gravimetrice s-au prelucrat prin metoda minimelor și maximelor. Din fiecare oscilogramă s-au citit câte 160 valori.

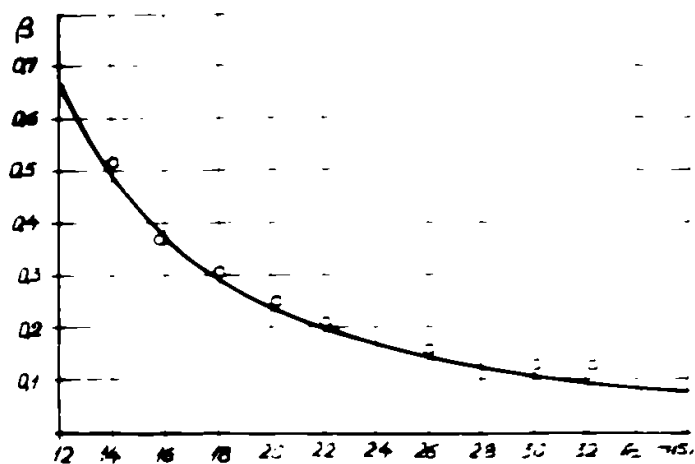
#### 51. Influența vitezei curentului de aer asupra coeficientului $\beta$

Dependența coeficientului echivalent de rezistență  $\beta$  funcție de viteza medie a curentului de aer rezultată în baza măsurărilor prin metoda determinării epăcării semințelor pe conductă în cazul conductei cu diametrul interior  $D = 106$  mm, s-a reprezentat în fig. IV.6. Curba trasată cu linie continuă reprezintă variația teoretică a coeficientului  $\beta$  funcție de viteza curentului de aer  $v_g$ , după relația (II.63) iar curba tra-



**Fig.IV.6. Dependenta coeficientului  $\beta$  funcție de viteza curentului de aer  $v_a$  în conducte cu  $D = 106$  mm**

astă cu linie întreruptă reprezintă variația reală rezultată în urma determinărilor experimentale, cu scărițe de  $\mu$  gră.



**Fig.IV.7. Dependenta coeficientului  $\beta$  funcție de viteza curentului de aer  $v_a$  în conducte cu  $D = 142$  mm**

În fig.IV.7 s-a reprezentat dependența coeficientului  $\beta$  funcție de viteza curentului de aer determinată prin măsurarea pierderilor de presiune la transportul scărițelor de  $\mu$  gră

în conducta cu diametrul  $D = 142$  mm. Curba trasată cu linie continuă reprezintă valori teoretice iar cerceulețele valori obținute pe cale experimentală.

Din analiza fig. IV.6 și IV.7 rezultă o creștere monotonă a coeficientului  $\beta$  cu micșorarea vitezei  $v_a$  a curentului de aer. Creșterea coeficientului  $\beta$  cu scăderea vitezei curentului de aer  $v_a$  se datorează reducerii capacității de transport a curentului de aer.

O dependență similară este dată de mulți cercetători [68, 194, 197, 202] pentru coeficientul de rezistență  $k$  respectiv [1, 17, 27, 85, 108, 137, 153, 171] pentru coeficientul de rezistență  $\lambda_m$ , coeficienți care includ coeficientul  $\beta$ . În condițiile coeficientului  $\lambda = \text{const.}$  [137] coeficienții  $k$  și  $\lambda_m$  depind de viteza curentului de aer numai prin termenii aferenți coeficientului  $\beta$ . Așa dar pentru anumite valori ale vitezei curentului de aer  $v_a$  la care rezistențele produse de frecarea semințelor cu pereții conductei sînt preponderante variația coeficienților  $k$  și  $\lambda_m$  funcție de  $v_a$  este asemănătoare cu a coeficientului  $\beta$ .

Autorul explică acest aspect al dependenței pierderilor de presiune funcție de viteza curentului de aer prin faptul că în cadrul zonei cu mișcare uniformă, la valori ridicate ale vitezei curentului de aer, semințele sînt distribuite aproape uniform în secțiunea conductei orizontale det fiind valoarea ridicată a forței portante și apăsarea lor pe pereții conductei este mică. O dată cu micșorarea vitezei curentului de aer, forța portantă scade, distribuția semințelor în conductă se modifică, crește concentrația către peretele inferior, o parte din semințe vor aluneca pe peretele inferior al conductei pierzînd din energia lor cinetică datorită frecării cu

conducta. Antrenarea mai departe și reaccelerarea acestor semințe pe direcția de curgere se face pe baza energiei potențiale a curentului de aer, așa dar pierderile de presiune cresc cu micșorarea vitezei curentului de aer. Acestea explică faptul că unii cercetători [103] consideră pierderile de presiune la transportul pneumatic în conducte orizontale la valori mici ale vitezei curentului de aer, că sînt cauzate numai de frecarea semințelor cu pereții conductei.

### §2. Influența diametrului semințelor asupra coeficientului $\beta$

Variația coeficientului  $\beta$  funcție de diametrul mediu echivalent  $d$  al semințelor, dată de relația (II.63) stabilită de autor, este prezentată în graficul din fig.IV.8.

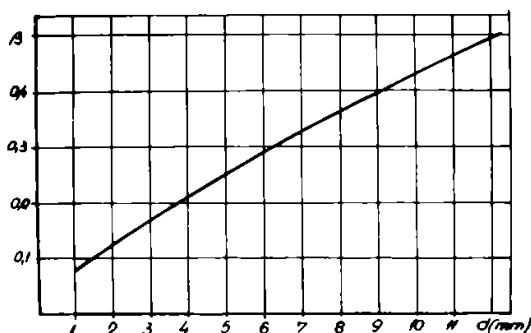


Fig.IV.8. Dependența coeficientului  $\beta$  de diametrul echivalent al semințelor  $d$ .

Coeficientul  $\beta$  crește o dată cu creșterea diametrului echivalent  $d$  al semințelor. Această dependență teoretică după relația II.63 coincide cu datele experimentale ale altor cercetători. Astfel Dziadzio [60] a stabilit că pierderile de presiune  $H_m$  cauzate de prezența semințelor în curentul de aer în cadrul transportului pneumatic în zone mișcării stabilizate cresc cu creșterea diametrului mediu al acestora. Ori, dat fiind faptul că pierderile de presiune  $H_c$  cauzate de ciocnirea



semințelor cu pereții conductei, așa cum rezultă din relația (III.5), nu depind de diametrul acestora deci variația pierderilor de presiune  $H_m$  funcție de diametrul  $d$  este cea corespunzătoare variației componentei pierderilor de presiune  $H_p$  funcție de diametrul  $d$ .

În lucrarea [202] este analizată dependența coeficientului  $k$  funcție de diametrul  $d$  a semințelor și se arată creșterea coeficientului  $k$  o dată cu creșterea diametrului  $d$ .

Așa dar, dependența coeficientului  $\beta$  stabilită teoretic de către autor, este justificată întrucât este în concordanță cu cercetările altor autori.

### §3. Influența diametrului conductei asupra coeficientului $\beta$

Variația coeficientului  $\beta$  funcție de diametrul  $D$  al conductei de transport pneumatic este prezentată în graficul din fig.IV.9. Coeficientul  $\beta$  respectiv pierderile de presiune

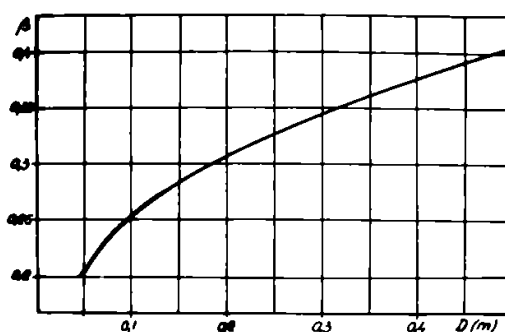


Fig.IV.9. Dependența coeficientului  $\beta$  funcție de  $D$

cauzate de frecarea semințelor cu pereții conductei cresc o dată cu creșterea diametrului  $D$  al conductei de transport pneumatic. Această dependență stabilită teoretic prin relația (II.63) concordă cu rezultatele experimentale ale altor cercetători. Astfel Uspenski [197] efectuând cercetări asupra

transportului pneumatic a cenușei cu diametrul particulelor  $d = 0,82$  mm la viteza medie a curentului de aer  $v_g = 22$  m/s, a stabilit creșterea coeficientului de rezistență  $k$  proporțional cu radical indice 0,8 din diametrul  $D$  a conductei de transport. Dziadzio [68] prelucrând rezultatele experimentale ale lui Gasterstaedt, Seglar, Zuiev și ale sale, a stabilit creșterea coeficientului  $k$  proporțional cu radical indice 0,75 din  $D$ . Vávra [202] indică creșterea liniară a coeficientului  $k$  cu creșterea diametrului  $D$  a conductei.

Uspenskii [197] explică principial variația coeficientului  $k$  funcție de diametrul  $D$  al conductei ca efect al structurii profilului vitezei curentului de aer în secțiunea transversală a conductei asupra posibilității de antrenare a semințelor de către curentul de aer.

Relația (II.63) stabilită de autor cuprinde în mod cantitativ explicațiile calitative ale lui Uspenskii.

#### §4. Influența masei specifice a semințelor asupra coeficientului $\beta$

După relația (II.63) stabilită de autor, rezultă o creștere liniară a coeficientului  $\beta$  cu creșterea masei specifice  $\rho_m$  a semințelor. Această dependență este în concordanță cu datele din lucrările [68, 194, 197]. Uspenskii [197] și Dziadzio [68] nu stabilesc explicit această dependență dar situează masa specifică printre factorii principali care influențează valoarea coeficientului  $k$ .

#### §5. Influența masei specifice a aerului asupra coeficientului $\beta$

Variația teoretică a coeficientului  $\beta$  funcție de masa specifică a aerului  $\rho_a$  este reprezentată în fig. IV.10.

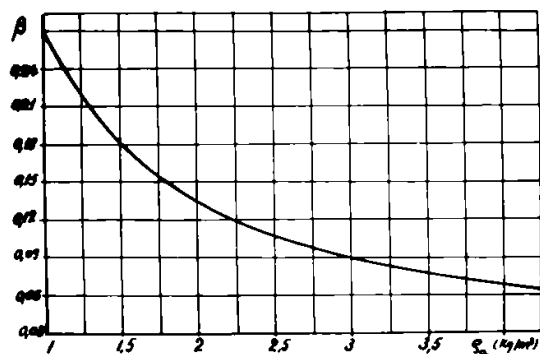


Fig. IV.10. Dependența coeficientului  $\beta$  funcție de  $\rho_s$

Coeficientul  $\beta$  descrește o dată cu creșterea masei specifice a aerului. Aceasta înseamnă că este mai avantajos sub aspectul pierderilor de presiune cauzate de frecarea semințelor cu conducta, să se folosească transportul pneumatic a semințelor la presiuni ridicate decât la presiuni reduse, întrucât la creșterea presiunii în conducta de transport crește masa specifică a aerului, coeficientul  $\beta$  se micșorează iar pierderile de presiune datorate semințelor scad. Este justificată descreșterea pierderilor de presiune  $H_m$  o dată cu creșterea masei specifice  $\rho_s$  a aerului deoarece capacitatea de transport a aerului crește proporțional cu  $\rho_s$ .

Cu toate că justetea acestui raționament este evidentă, alți cercetători, în afară de Vávra [202] nu au semnalat explicit influența variației masei specifice a curențului de aer asupra pierderilor de presiune în cadrul transportului pneumatic. Totuși, dacă se analizează relațiile experimentale ale unor cercetători, se deduce aceeași dependență a pierderilor de presiune  $H_m$ , respectiv a coeficientului  $\beta$ , funcție de  $\rho_s$  stabilită în mod logic de autor.

Astfel Dziadzio [68] a stabilit că pierderile de presiune  $H_m$  cresc cu creșterea vitezei de plutire a semințelor, dar consideră constantă valoarea vitezei de plutire. Dacă

se are în vedere că viteza de plutire a semințelor se micșorează o dată cu creșterea masei specifice a aerului, așa cum bine demonstrează Vávra în lucrarea [200], rezultă și după relațiile experimentale ale lui Dainizio descreșterea pierderilor de presiune  $H_m$  la creșterea masei specifice  $\rho_a$  a aerului.

#### §6. Influența coeficientului de frecare asupra coeficientului $\beta$

Coeficientul  $\beta$  crește liniar cu creșterea coeficientului  $f$  de frecare a semințelor cu pereții conductei. Creșterea pierderilor de presiune  $H_m$  cu creșterea coeficientului  $f$  de frecare este semnalată de toți cercetătorii [68, 108, 137, 157, 171, 202] care au cercetat acest aspect al transportului pneumatic. În consecință dependența teoretică stabilită de autor pentru coeficientul  $\beta$  funcție de coeficientul de frecare  $f$  este în concordanță cu rezultatele experimentale ale altor cercetători.

## CAPITOLUL V

### ANALIZA VITEZEI SEMINTELOR IN CONDITIILE TRANSPORTULUI

#### PNEUMATIC IN CONDUCTE ORIZONTALE

##### 51. Variația vitezei semintelor de-a lungul conduc- ței de transport

In calculele analitice ale autorului nu s-au putut stabili sub formă explicită dependența vitezei  $v_m$  a semințelor funcție de lungimea  $L$  a conductei. Legătura între acești parametri s-a făcut prin intermediul timpului  $t$  de mișcare a semințelor în conducta de transport pneumatic prin relațiile (II.78) și (II.84).

Variația spațiului parcurs de semințe în funcție de timpul de mișcare  $t$ , conform relației (II.84) pentru diferite valori ale vitezei  $v_m$  a curentului de aer s-a reprezentat în graficul din fig.IV.11. Calculele după relațiile autorului s-au făcut la un calculator IRIS-50 după organigrama prezentată în fig.IV.26.

Din analiza fig.IV.11 rezultă că spațiul  $L$  parcurs de semințe crește pentru același timp  $t$  de mișcare o dată cu creșterea vitezei  $v_m$  a curentului de aer.

Variația vitezei  $v_m$  a semințelor funcție de spațiul  $L$  parcurs în timpul  $t$  pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer rezultă prin rezolvarea ecuațiilor (II.78) și (II.84) și este reprezentată în graficul din fig.IV.12.

Viteza medie  $v_m$  a semințelor crește rapid după secțiunea de alimentare în zona de accelerare după care treptat tinde către o valoare aproximativ constantă.

Din fig.IV.12 rezultă că viteza  $v_m$  a semințelor creș-

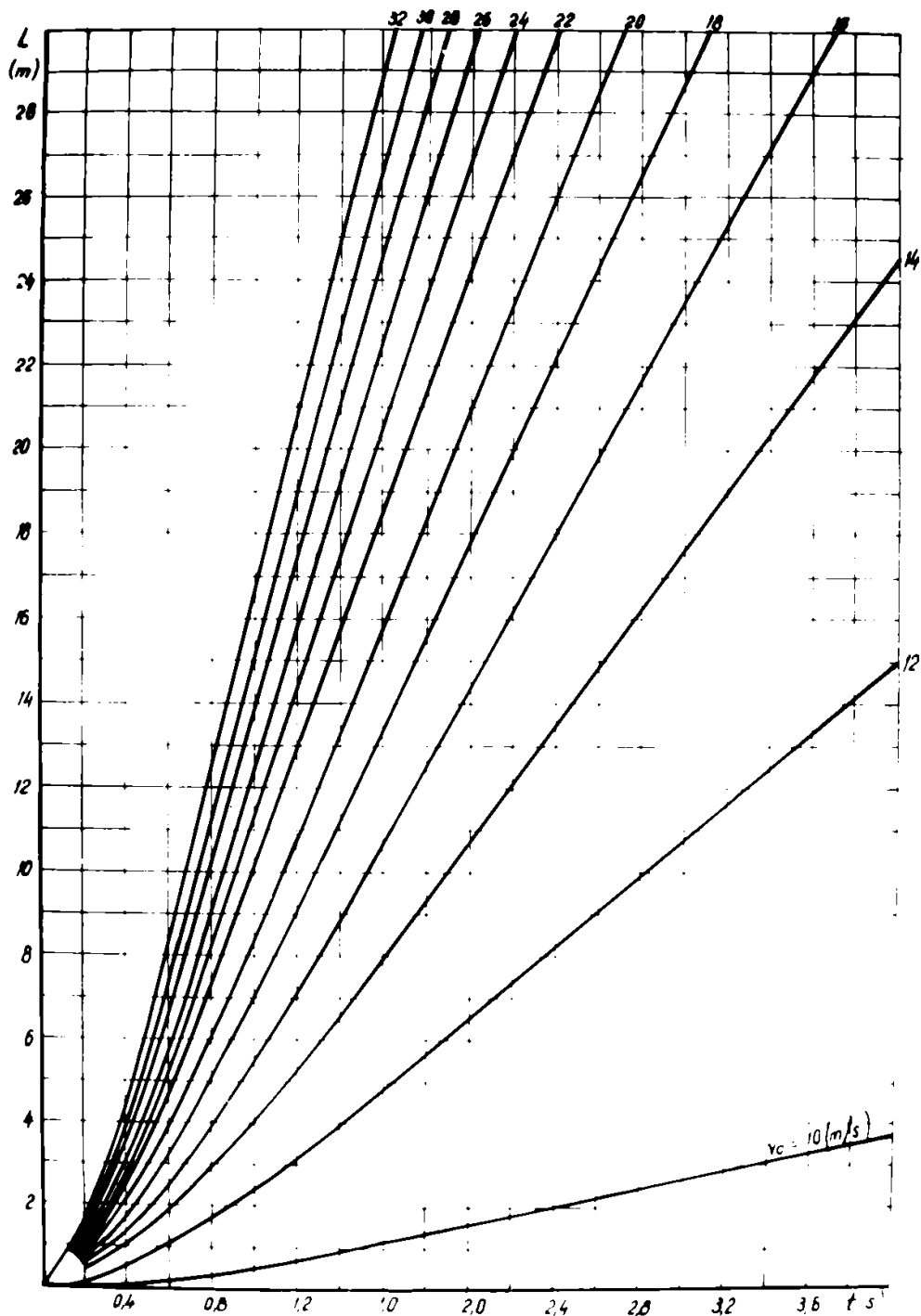


Fig.IV.11. Spațial parcurs de semințe funcție de timpul de mișcare

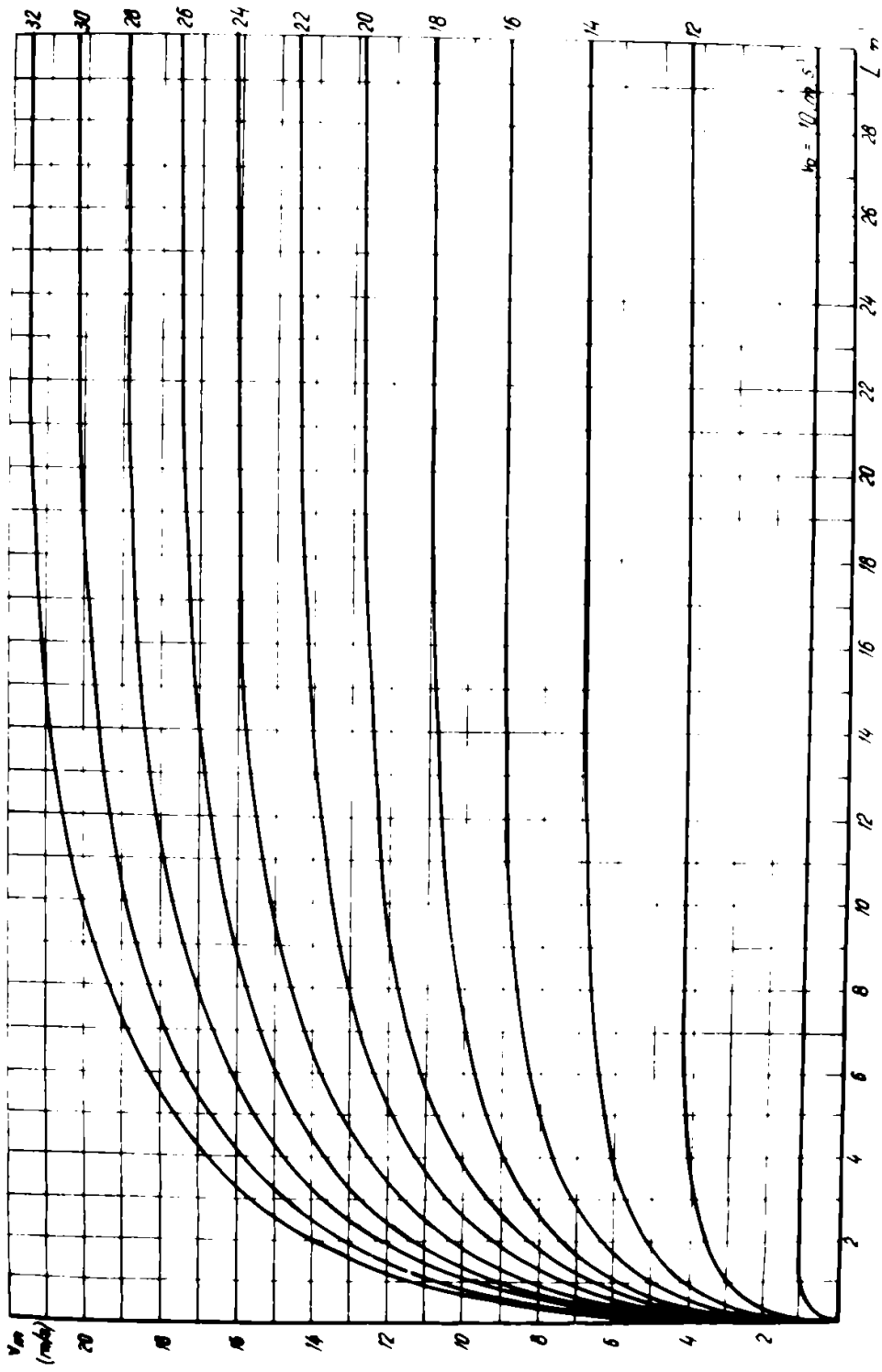


Fig.IV.12. Variația vitezei  $V_m$  a semințelor funcție de spațiul  $L$

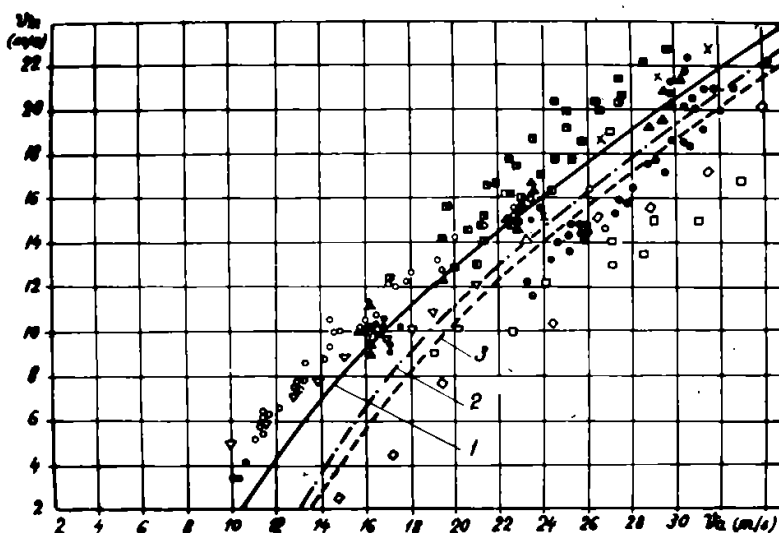
te o dată cu creșterea vitezei medii  $v_g$  a curentului de aer. Zona de accelerare este mai scurtă pentru valori mici ale vitezei curentului de aer și crește o dată cu creșterea vitezei  $v_g$ . În cazul semințelor de grâu cu diametrul mediu echivalent  $d = 4,3$  mm la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm, zona de accelerare este de aproximativ 1,0 m la viteza curentului de aer  $v_g = 10,0$  m/s și de aproximativ 12,8 m la viteza curentului de aer  $v_g = 30$  m/s. Timpul de accelerare pentru aceste condiții este  $t = 1,4$  s la viteza  $v_g = 10,0$  m/s și de  $t = 0,86$  s la viteza  $v_g = 30$  m/s. Prin urmare la valori reduse ale vitezei curentului de aer  $v_g$ , accelerarea semințelor are loc pe o lungime mică de conductă în schimb durează o perioadă de timp relativ mare comparativ cu același proces în condițiile unor valori ridicate ale vitezei curentului de aer  $v_g$ . În consecință la valori reduse ale vitezei curentului de aer și la un debit de alimentare  $q = \text{const.}$  are loc în zona de accelerare aglomerarea semințelor. Aglomerarea semințelor este mai accentuată la începutul mișcării unde viteza medie a lor este foarte mică. Densitatea semințelor scade ajungînd la o distribuție constantă în zona mișcării uniforme unde viteza  $v_m$  este aproximativ constantă. În cazul unor debite de alimentare mari și unor viteze ale curentului de aer reduse, aglomerarea semințelor în zona de accelerare este atât de intensă încît se infundă conducta.

Pentru a se putea studia și pune în evidență influența celorlalți parametri, caracteristici procesului de transport pneumatic în conducte orizontale, asupra vitezei medii a semințelor  $v_m$  se analizează în continuare zona mișcării stabilizate în care concentrația semințelor, respectiv influența lor reciprocă sînt constante.



**§2. Influența vitezei curentului de aer asupra vitezei semințelor**

Variația vitezei  $v_m$  a semințelor funcție de viteza curentului de aer  $v_a$  pentru faze mișcării stabilizate la transportul pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm s-a reprezentat în graficul din fig.IV.13. Curbele trase pe baza datelor rezultate din calcule folosind relația



**Fig.IV.13. Dependența vitezei  $v_m$  a semințelor funcție de viteza  $v_a$  a curentului de aer**

teoretică (II.80) stabilită de autor sînt după cum urmează: curba 1 pentru semințe de grîu, curba 2 pentru semințe de mazăre și curba 3 pentru semințe de porumb. Calculele s-au făcut la un calculator electronic tip IRIS-50 după organigrama din fig. IV.52. Rezultatele teoretice ale autorului sînt comparate cu rezultatele experimentale ale altor cercetători. Surse bibliografică a acestor rezultate și modul de marcarea a lor sînt prezentate în tabelul IV.1.

Din analiza rezultatelor prezentate în fig.IV.13, rezultă că viteza medie  $v_m$  a semințelor în zona mișcării stabili-

Tabel cu parametrii procesului de transport pneumatic și metodele de determinare a vitezei  $v_m$  a particulelor solide

Tabelul IV.1

Nr. Materialul de transportat	Diametrul echivelent al part. d (mm)	Mat.	Diam. conductei D (mm)	Viteza curentului de aer $v_a$ m/s	Masa specifică $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Sursa bibliografică	Metoda de determinare
1. Grâu	3,9	Al.	40	9 la 22	1400	Barth [17]	○ Metoda impulsului
2. Mei	1,63	PVC	28,8	9 la 25	1090	Uematu [177]	▽ Filmare rapidă
3. Orez Ng	3,48			21 la 30	1045	Cbaud [42]	■ Filmare rapidă
4. Orez Dular	3,39			18,9 la 27,4	1080	Cbaud [42]	▣ Filmare rapidă
5. Orez Patane <sup>23</sup>	3,56			19,8 la 28	1145	Cbaud [42]	▤ Filmare rapidă
6. Nisip	2,3			19 la 35	1440	Cbaud [42]	□ Filmare rapidă
7. Mei	3,41			20 la 27	1130	Cbaud [42]	▥ Filmare rapidă
8. Mazăre	7,1	Oțel	50,8	15,7 la 30,2	1380	Hitchcock [78]	▲ Filmare rapidă
9. Mazăre	7,1	Oțel	76,2	17 la 30,6	1380	Hitchcock [78]	● Filmare rapidă
10. Pulbere de plumb	0,305	Alamă	25,4	23 la 30	11020	Richardson [149]	○ Inchid. cond.
11. Soia	7,2	Oțel	119	15 la 31		Dziedzio [58]	◇ Idem
12. Grâu	3,9	Oțel	119	15 la 35		Dziedzio [58]	× Idem

sate crește o dată cu creșterea vitezei medii  $v_a$  a curentului de aer. Această dependență este în concordanță cu observațiile tuturor cercetătorilor [1, 10, 17, 36, 37, 50, 51, 54, 63, 66, 67, 68, 70, 85, 89, 94, 101, 115, 124, 137, 145, 157, 160, 170, 171, 178, 184, 188, 194, 195, 200, 211, 215, 216]. Creșterea vitezei  $v_m$  a semințelor în raport cu viteza  $v_a$  a curentului de aer este mai accentuată în domeniul valorilor reduse ale vitezei  $v_a$  și devine aproape liniară în domeniul valorilor ridicate ale vitezei  $v_a$ . Această dependență a vitezei  $v_m$  funcție de viteza  $v_a$  concordă cu rezultatele altor cercetători.

Majoritatea cercetătorilor apreciază, în urma prelucrării datelor experimentale că viteza medie  $v_m$  a semințelor în zona mișcării stabilizate, variază liniar cu viteza  $v_a$  a curentului de aer. Dacă se face o analiză atentă a acestor rezultate se constată că ele nu contravin cu rezultatele teoretice ale autorului, obținute în baza relației (II.80).

Astfel experiențele lui Karpov [101] făcute cu particule convenționale sferice cu diametrul  $d = 5,8$  mm, masa specifică  $\rho_m = 1180$  kg/m<sup>3</sup> într-o conductă de oțel cu diametrul  $D = 94$  mm la variația vitezei  $v_a$  a curentului de aer între 19,0 m/s și 25,0 m/s arată că raportul  $v_m/v_a = \text{const.}$  Pentru acest domeniu de variație a vitezei  $v_a$  a curentului de aer, așa cum rezultă din fig. IV.13, viteza  $v_m$  dată de relația (II.80) crește practic liniar cu viteza  $v_a$  a curentului de aer.

Datele experimentale ale lui Chaud [51] asupra vitezei  $v_m$  a semințelor se situează foarte bine pe o dreaptă față de viteza  $v_a$ . După relația autorului (II.80) aplicată pentru domeniul de variație a vitezei curentului de aer, corespunzătoare acestor determinări se obține o dependență similară a vitezei  $v_m$  funcție de viteza  $v_a$ . Extinderea variației liniare a vitezei

$v_m$  funcție de viteză  $v_a$  în afara domeniului de variație a vitezei  $v_a$  la care s-au efectuat determinări experimentale, așa cum face Chaud este greșită, deoarece panta dreptei  $v_m = f(v_a)$  se modifică pentru diferite domenii de variație a vitezei  $v_a$ . Modificarea pantei dreptei  $v_m = f(v_a)$  o dată cu modificarea domeniului variației vitezei  $v_a$  a fost demonstrată și de experimentele lui Zuev [216]. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de viteză  $v_a$  este bine dată de relația autorului. Curba de variație a vitezei  $v_m$  funcție de viteză  $v_a$  după relația (II.80) pe porțiuni restrinse poate fi asimilată cu o dreaptă. Această asimilare este posibilă într-un domeniu restrâns de variație a vitezei  $v_a$  la valori mici ale vitezei  $v_a$  și într-un domeniu mai larg de variație a vitezei  $v_a$  pentru valori mai ridicate ale acestei viteze.

Zuev [216] a determinat experimental viteză semințelor de grâu cu ajutorul filmării rapide în condițiile transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 100$  mm și a stabilit că raportul dintre viteză medie  $v_m$  a semințelor și viteză medie  $v_a$  a curentului de aer este de 0,65 la 0,68 pentru  $v_a \in [21 ; 25]$  m/s. Rezultatele calculate în baza relației (II.80) stabilită de autor dau aceleași valori cu ale lui Zuev pentru raportul  $v_m/v_a$  corespunzătoare domeniului respectiv de variație a vitezei curentului de aer și pentru aceleași caracteristici ale semințelor și aceeași valoare a diametrului conductei.

Pentru valori reduse ale vitezei curentului de aer rezultatele teoretice obținute în baza relației (II.80) se suprapun foarte bine cu datele experimentale ale lui Barth [17]. Dacă se are în vedere că metoda de determinare a vitezei medii  $v_m$  a semințelor folosită de Barth corespunde sensului fizic definit

de autor pentru viteza medie  $v_m$  rezultă că relația (II.30) este foarte bună.

### 33. Influența diametrului $d$ asupra vitezei semințelor

Variația vitezei medie  $v_m$  a semințelor funcție de diametrul  $d$  a acestora dată de relația (II.30) în cadrul zonei de mișcare stabilizată, pentru conducta de transport pneumatic dispusă orizontal cu diametrul  $D = 142$  mm și masa specifică a semințelor  $\rho_m = 1350$  kg/m<sup>3</sup> s-a reprezentat în fig.IV.14.

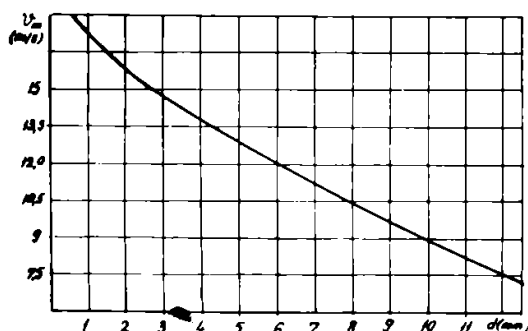


Fig.IV.14. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de diametrul  $d$  a semințelor

Analizînd graficul din fig.IV.14 rezultă că viteza medie  $v_m$  a semințelor descrește o dată cu creșterea diametrului  $d$  a acestora. Această dependență, stabilită pe cale teoretică de autor, este în concordanță cu rezultatele experimentale ale altor cercetători.

Astfel Karpov [101] a stabilit că viteza medie  $v_m$  a particulelor solide convenționale descrește liniar cu creșterea diametrului  $d$  a acestora. Karpov a făcut experiențe cu particule convenționale cu  $d \in [6; 12]$  mm. Pentru aceste valori ale diametrului  $d$  a particulelor și din graficul din fig.IV.14 se constată aproximativ o descreștere liniară a vitezei  $v_m$  funcție de diametrul  $d$ . De asemenea din datele experimentale ale lui Barth [17] rezultă creșterea vitezei medie  $v_m$  o dată cu micșo-

rarea diametrului  $d$  al particulelor pentru un domeniu larg de variație a vitezei  $v_a$  a curentului de aer. Mișcarea vitezei medii  $v_m$  a particulelor solide cu creșterea diametrului  $d$ , a fost subliniată și de Jubarev [95].

Dziadzio [68] a constatat creșterea vitezei medii  $v_m$  o dată cu depășirea diametrului  $d$  al semințelor și arată că particulele solide oricât de mici ar fi nu vor avea aceeași viteză cu a curentului de aer întrucît întotdeauna există rezistențe suplimentare care împiedică deplasarea lor în curentul de aer. De asemenea, Dziadzio, preluorînd datele experimentale ale lui Palțev a constatat că particulele cu diametrul  $d$  mic, ajung la viteza de regim (pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer) mai repede decît particulele cu diametrul  $d$  mare. Îndee-sebi se remarcă faptul că zona cu mișcare accelerată este foarte redusă în cazul pulberilor fine (făină, ciment, cenușe ș.a.). Această constatare a lui Dziadzio, deosebit de importantă pentru proiectarea instalațiilor de transport pneumatic, rezultă și din calculele analitice ale autorului. Pentru aceasta se folosește în continuare noțiunea de coeficient de viteză notat cu  $c_v$ . Coeficientul de viteză  $c_v$  se definește de autor ca raportul între viteze medii a semințelor la timpul  $t$  de la începutul mișcării și viteza medie  $v_m$  a semințelor în cadrul zonei cu mișcare stabilizată.

În fig. IV.15 s-a reprezentat variația coeficientului de viteză  $c_v$  funcție de timpul de mișcare  $t$  pentru semințe cu  $d = 8,0 \text{ mm}$  <sup>și  $d = 4,3 \text{ mm}$</sup>  transportate pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142 \text{ mm}$  la viteza curentului de aer  $v_a = 20 \text{ m/s}$ . Din analiza acestui grafic rezultă o creștere mai accentuată a coeficientului de viteză la începutul mișcării pentru particulele cu diametrul  $d = 4,3 \text{ mm}$  față de creșterea coeficientului

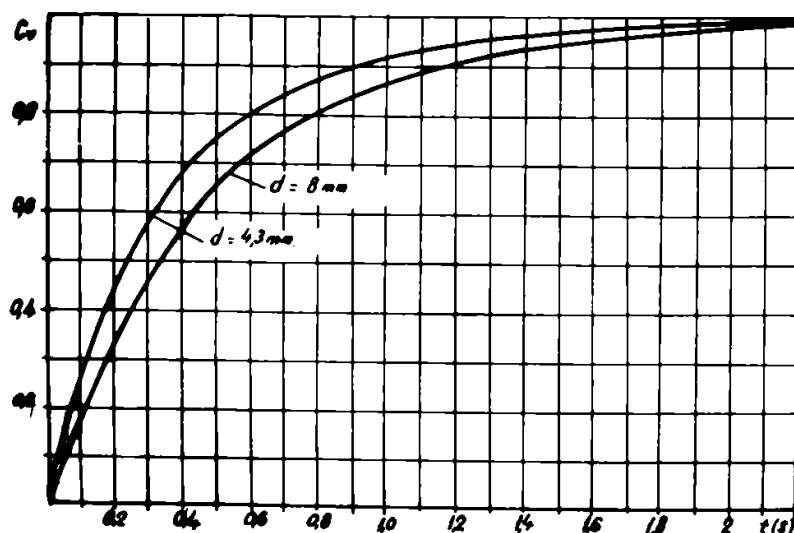


Fig. IV.15. Variația coeficientului  $c_v$  funcție de timpul de mișcare  $t$

de viteză pentru particulele cu  $d = 8 \text{ mm}$ , ceea ce înseamnă că particulele cu diametrul mic sînt accelerate mai repede decît cele cu diametrul mai mare.

#### 54. Influența masei specifice $\rho_B$ asupra vitezei semințelor

Masa specifică a semințelor are un rol deosebit de important asupra vitezei acestora în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale. Pe de o parte pentru semințele cu dimensiuni identice, la aceeași viteză  $v_m$  a acestora cele cu masa specifică mai mare au o energie cinetică mai mare. În timpul ciocnirii cu pereții conductei aceste semințe sînt frînate mai mult întrucît forța de frînare (relația II.61) este proporțională cu energia cinetică a semințelor. Pericolul de vătămare a semințelor cu masa specifică mai mare este deci mai iminent decît la semințele cu masa specifică mai mică. Pe de altă parte în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale, semințele cu masa specifică mai mare vin mai

des în contact cu pereții inferior ai conductei întrucît coeficientul  $\beta$  crește proporțional cu masa specifică  $\rho_m$ .

Variația vitezei  $v_m$  a semințelor funcție de masa specifică  $\rho_m$  dată de relația (II.30) pentru cazul transportului pneumatic a semințelor cu diametrul  $d = 4,3$  mm în conducte cu diametrul  $D = 142$  mm la viteză medie a curentului de aer  $v_g = 20$  m/s, s-a reprezentat în fig.IV.16.

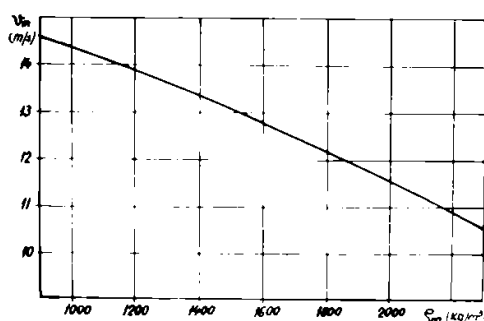


Fig.IV.16. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de  $\rho_m$

Viteza medie  $v_m$  a semințelor în cadrul zonei cu mișcare stabilizată scade o dată cu creșterea masei specifice  $\rho_m$  a acestora. Astfel Karpov [101] a determinat influența masei specifice  $\rho_m$  asupra vitezei medii  $v_m$  a particulelor solide. El a confecționat particule sferice convenționale din materiale cu masa specifică  $\rho_m \in [800; 2200]$  kg/m<sup>3</sup> și cu diametrul  $d = 5,8$  mm și a măsurat viteza medie  $v_m$  a acestora în condițiile transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 94$  mm la viteză medie a curentului de aer  $v_g = 25,8$  m/s. În baza rezultatelor experimentale Karpov a stabilit că raportul  $v_m/v_g$  crește invers proporțional cu masa specifică a particulelor la puterea 0,286. Rezultatele experimentale ale lui Karpov se suprapun în mod satisfăcător cu rezultatele teoretice ale autorului.



**§5. Influența coeficientului de formă asupra vitezei semintelor**

Variația vitezei medii  $v_m$  a semintelor funcție de coeficientul de formă  $k_f$  în cazul transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm și viteza medie a curentului de aer  $v_a = 20$  m/s, s-a reprezentat în fig.IV.17.

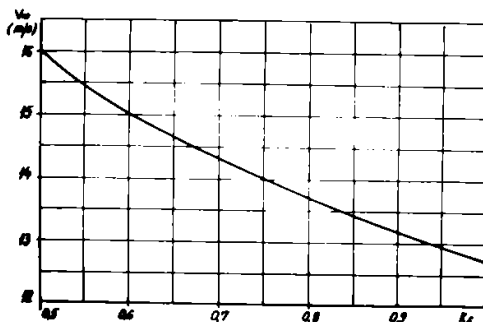


Fig.IV.17. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de coeficientul  $k_f$

Viteza medie  $v_m$  a semintelor crește cu descreșterea coeficientului de formă  $k_f$  ceea ce înseamnă că după datele teoretice ale autorului semințele colțuroase sînt transportate mai ușor decît cele sferice. Această concluzie dedusă pe cale teoretică de autor este susținută de cercetările lui Uspenski [195] care, în baza determinărilor experimentale, a stabilit că particulele de formă neregulată sînt antrenate în curentul de aer mai ușor decît particulele sferice.

**§6. Influența diametrului conductei asupra vitezei semintelor**

Diametrul conductei are, după aprecierea autorului, o influență bilaterală asupra mișcării semintelor în cadrul transportului pneumatic în conducte dispuse orizontal. În primul rînd viteza semintelor în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, crește o dată cu creșterea diametrului  $D$  al conductei întrucît

se micșorează forțele de rezistență datorită ciocnirii acestora cu pereții conductei. Pentru a pune în evidență în general influența creșterii diametrului conductei  $D$  asupra vitezei  $v_m$  a semințelor, în fig.IV.18 s-a reprezentat variația vitezei  $v_m$  funcție de raportul  $D/d$ .

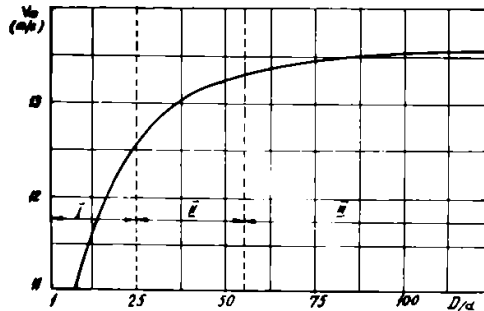


Fig.IV.18. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de raportul  $D/d$

În al doilea rând în cadrul zonei de accelerare semințele sînt antrenate mai ușor de curentul de aer în conductele cu diametrul mic întrucît forța portantă maximă crește cu descreșterea diametrului  $D$  al conductei.

Din analiza graficului din fig.IV.18 rezultă că viteza medie  $v_m$  a semințelor crește o dată cu creșterea raportului  $D/d$  adică cu creșterea diametrului conductei. Creșterea vitezei medie  $v_m$  este mai accentuată pentru valori reduse ale raportului  $D/d$ . Pentru valori mari ale raportului  $D/d$  creșterea vitezei  $v_m$  a semințelor este neînsemnată.

Cantitativ cîmpul de variație a vitezei medie  $v_m$  funcție de  $D/d$  se poate împărți în trei zone caracteristice și anume:

- Zona I-a corespunde raportului  $D/d \in [1; 25]$  în cadrul căreia viteza  $v_m$  a semințelor scade brusc o dată cu micșorarea raportului  $D/d$  datorită ciocnirii acestora cu pereții conductei. Această situație nu se recomandă deoarece dato-

rită vitezei reduse a semințelor crește concentrația acestora în interiorul conductei și apare pericolul de înfundare;

- Zona a II-a corespunzătoare raportului  $D/d \in [25; 50]$

În această zonă viteza semințelor crește moderat cu creșterea raportului  $D/d$ , totuși ciocnirea semințelor cu conducta este însemnată. Această situație se recomandă pentru distanțe de transport scurte, conducte rectilinii și debite de semințe mici;

- Zona a III-a corespunzătoare raportului  $D/d > 55$  în cadrul căreia creșterea vitezei  $v_m$  a semințelor o dată cu creșterea raportului  $D/d$  este neînsemnată. Această situație corespunde pentru transportul pneumatic al semințelor cu deplasarea acestora în suspensie, pentru toate variantele de debite și distanțe de transport cu utilitate practică.

Creșterea vitezei medii  $v_m$  a semințelor o dată cu creșterea diametrului  $D$  a conductei de transport pneumatic în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, așa cum rezultă din analiza teoretică a autorului, este în concordanță cu rezultatele experimentale ale altor cercetători [10, 17, 51, 68, 201].

#### §7. Influența masei specifice a aerului asupra vitezei semințelor

Variația vitezei  $v_m$  a semințelor de grâu funcție de masa specifică a aerului în condițiile transportului pneumatic într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm și viteza medie a curentului de aer  $v_a = 20$  m/s, după rezultatele teoretice ale autorului, este prezentată în fig. IV.19. Viteza medie  $v_m$  a semințelor crește o dată cu creșterea masei specifice  $\rho_a$  a curentului de aer. Autorul explică această creștere prin faptul că forța de rezistență a aerului asupra seminței este

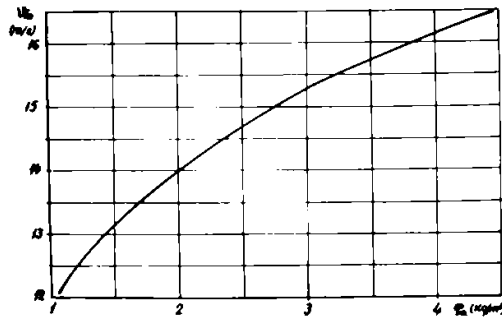


Fig.IV.19. Dependența vitezei  $v_m$  funcție de  $\rho_a$

proporțională cu masa specifică a curentului de aer, deci creșterea masei specifice a curentului de aer duce implicit și la creșterea forței motoare care acționează asupra seminței în consecință are loc creșterea vitezei acesteia.

Prin urmare, pentru aceleași valori ale parametrelor procesului de transport pneumatic ( $v_a$ ,  $D$ ,  $\nu$ ,  $q$ ,  $n$ ) viteza medie a semințelor se modifică în raport cu modul în care se realizează transportul pneumatic respectiv în suprapresiune (prin refulare) sau în depresiune (prin aspirație). Rezultă o viteză mai mare a semințelor în cazul transportului pneumatic în suprapresiune (prin refulare) față de transportul în depresiune. Aceasta înseamnă că semințele sînt antrenate mai ușor cînd masa specifică a aerului crește, deci rezistențele la deplasarea lor sînt mai mici, în consecință pierderile de energie din partea mediului fluid scad.

## CAPITOLUL VI

### DETERMINAREA PIERDERILOR DE PRESIUNE IN SECTIUNEA DE ALIMENTARE

#### §1. Influenta concentratiei gravimetrice asupra pierderilor de presiune in sectiunea de alimentare

Pierderile de presiune  $H_{mt}$  cauzate de trecerea semințelor în conducta de transport pneumatic în secțiunea de alimentare la o anumită viteză  $v_a$  a curentului de aer s-au determinat de autor ca diferența între pierderile de presiune totale  $H_1$  în secțiunea de alimentare și pierderile de presiune  $H_{a1}$  datorate trecerii aerului curat prin aceeași secțiune.

Variația pierderilor de presiune  $H_{a1}$  funcție de viteza  $v_a$  a curentului de aer obținută de autor în urma determinărilor experimentale, s-a reprezentat în graficul din fig.IV.5.

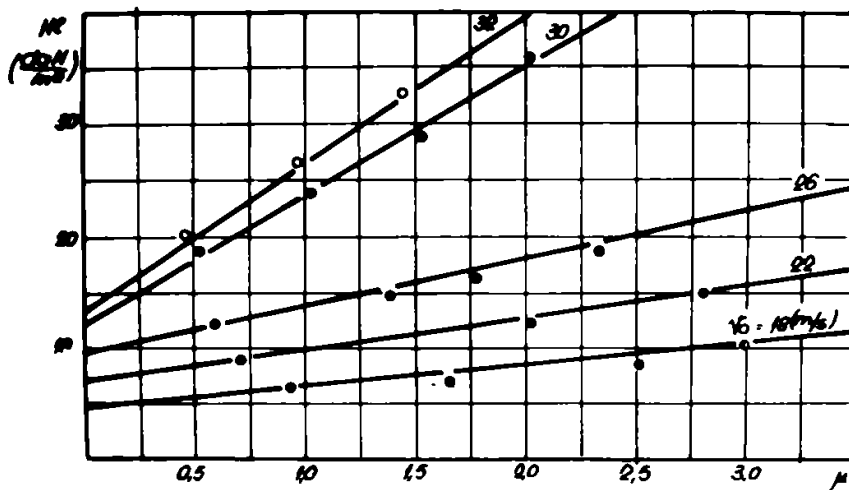


Fig.IV.20. Dependența pierderilor de presiune  $H_1$  funcție de concentrația gravimetrică pentru semințe de grâu

Pierderile de presiune totale  $H_1$  determinate de autor pe cale experimentală s-au reprezentat în funcție de concentrația gravimetrică pentru diferite valori ale vitezei curentului după cum urmează: în fig.IV.20 pentru semințe de grâu, în fig. IV.21 pentru semințe de porumb și în fig.IV.22 pentru semințe de mazăre.

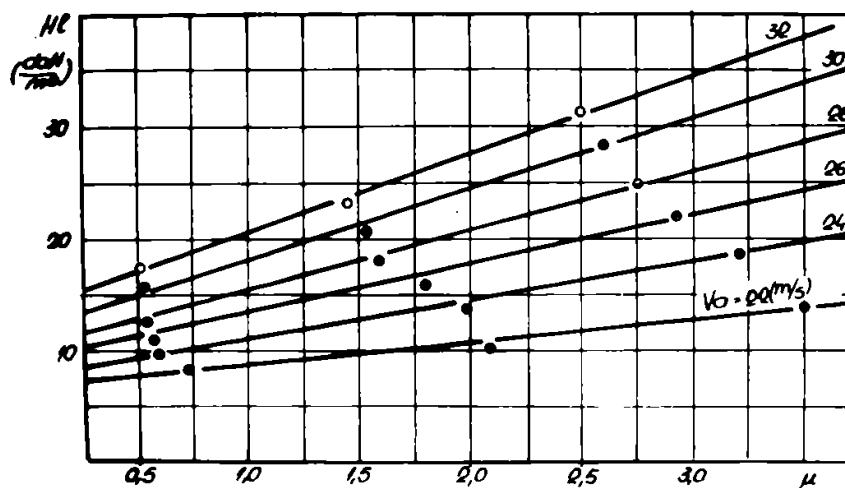


Fig.IV.21. Dependența pierderilor de presiune  $H_1$  funcție de concentrația gravimetrică pentru semințe de porumb

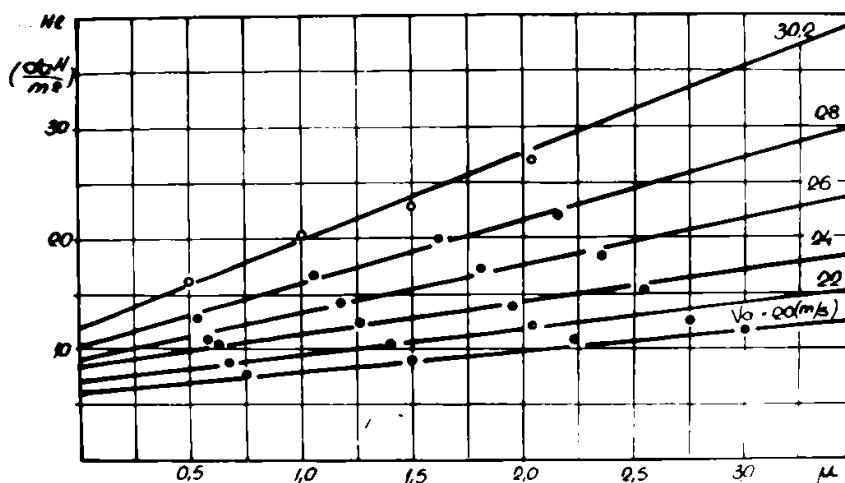


Fig.IV.22. Dependența pierderilor de presiune  $H_1$  funcție de concentrația gravimetrică pentru semințe de mazăre

Din analiza acestor grafice rezultă că pierderile de

presiune totale  $H_1$  cresc liniar cu creșterea concentrației gravimetrice.

Acest mod de variație a pierderilor de presiune totale  $H_1$  funcție de concentrația gravimetrică  $\mu$  obținut pe baza rezultatelor experimentale ale autorului este în concordanță cu datele experimentale ale lui Uenatu [189] .

### §2. Ecuația experimentală a coeficientului de rezistență locală

Coeficientul de rezistență locală  $\xi_m$  pentru secțiunea de alimentare cu semințe se obține din relația:

$$\xi_m = (H_1 - H_{al}) / \mu H_{al} \quad (IV.3)$$

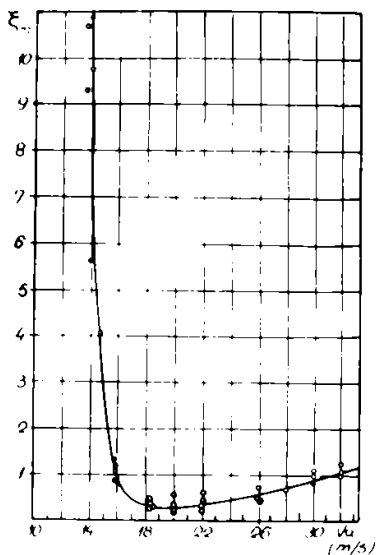


Fig.IV.23. Dependența coeficientului  $\xi_m$  funcție de  $v_g$  pentru semințe de grâu

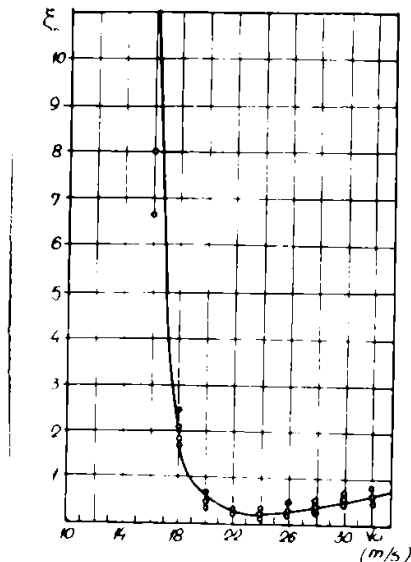


Fig.IV.24. Dependența coeficientului  $\xi_m$  funcție de  $v_g$  pentru semințe de porumb

Datele experimentale obținute de autor în urma experiențelor cu semințe de grâu, porumb și mazăre s-au prelucrat cu relația (IV.3), iar valorile coeficientului de rezistență locală  $\xi_m$  s-au prezentat în funcție de viteza  $v_g$  după cum urmează: în fig.IV.23 pentru semințe de grâu, în fig.IV.24 pentru semințe

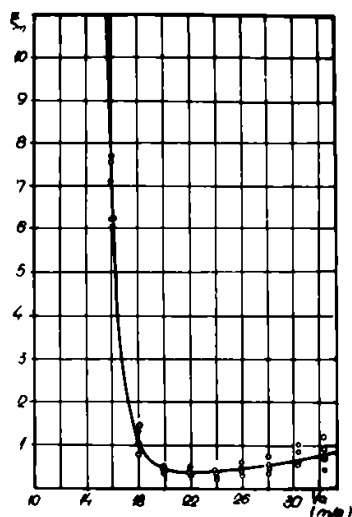


Fig.IV.25. Dependența coeficientului  $\xi_m$  funcție de  $v_a$  pentru semințe de mazăre

de porumb și în fig.IV.25 pentru semințe de mazăre. Din analiza acestor grafice rezultă că la valori mici ale vitezei curentului de aer coeficientul de rezistență  $\xi_m$  are valori foarte mari și scade brusc cu creșterea vitezei curentului de aer pînă la o valoare minimă după care crește lin cu creșterea vitezei  $v_a$ . Valorile ridicate ale coeficientului  $\xi_m$  la valori mici ale vitezei curen-

tului de aer denotă aglomerarea semințelor în secțiunea de alimentare.

Prelucrînd rezultatele obținute cu relația (IV.3) pe baza datelor experimentale, prin metoda celor mai mici pătrate, autorul a obținut următoarele relații experimentale pentru coeficientul de rezistență  $\xi_m$ :

$$\xi_m = \frac{10,60}{(v_a - 13)^2} + 0,081 v_a - 1,55 \quad (IV.4)$$

pentru semințe de grâu.

$$\xi_m = \frac{10,30}{(v_a - 15,8)^2} + 0,066 v_a - 1,473 \quad (IV.5)$$

pentru semințe de porumb și:

$$\xi_m = \frac{11,37}{(v_a - 14,75)^2} + 0,058 v_a - 1,089 \quad (IV.6)$$

pentru semințe de mazăre.

Conștiințele de condiție, în cadrul prelucrării datelor experimentale prin metoda celor mai mici pătrate, s-au scris pentru fiecare fel de semințe în parte corespunzător mediei valorilor coeficientului de rezistență  $\xi_m$  obținută în cadrul di-



feritelor determinări pentru diferite concentrații gravimetrice la aceeași valoare a vitezei curentului de aer.

Variația coeficientului de rezistență  $\xi_m$  funcție de viteza curentului de aer  $v_a$  după relațiile (IV.4), (IV.5) și (IV.6) stabilite de autor, s-a reprezentat cu linii continue în graficele fig. IV.23, IV.24 și IV.25. Cerculețele reprezintă valorile lui  $\xi_m$  obținute de autor pe cale experimentală.

## CAPITOLUL VII

### ANALIZA PIERDERILOR DE PRESIUNE LA TRANSPORTUL PNEUMATIC

#### AL SEMINTELOR IN CONDUCTE ORIZONTALE

Pierderile de presiune care au loc în condițiile transportului pneumatic al semințelor în conducte orizontale, după secțiunea de alimentare cuprind două componente: pierderile de presiune datorită frecării aerului cu conducta, care se pot calcula cu relația (I.45) și pierderile de presiune cauzate de antrenarea semințelor în mișcare de către aer, care se pot calcula cu relațiile (II.89) sau (II.90) stabilite de autor.

Pierderile totale de presiune de-a lungul conductei de transport pneumatic dispusă orizontal au fost determinate de autor pe cale experimentală în condițiile transportului diferitelor semințe, pentru diferite debite de alimentare și diferite valori ale vitezei curentului de aer. Rezultatele experimentale ale autorului au fost comparate cu valorile pierderilor de presiune calculate cu relațiile (I.45) și (II.90). Calculul pierderilor de presiune totale s-a făcut cu ajutorul unui calculator electronic de tip IRIS-50 de la Centrul teritorial de calcul

Finalizarea, după organigrama din fig.IV.26. Pentru restrângerea organigramei în blocurile operatorie s-au înscris numai simbolurile elementelor calculate, simboluri care coincid cu notațiile din text.

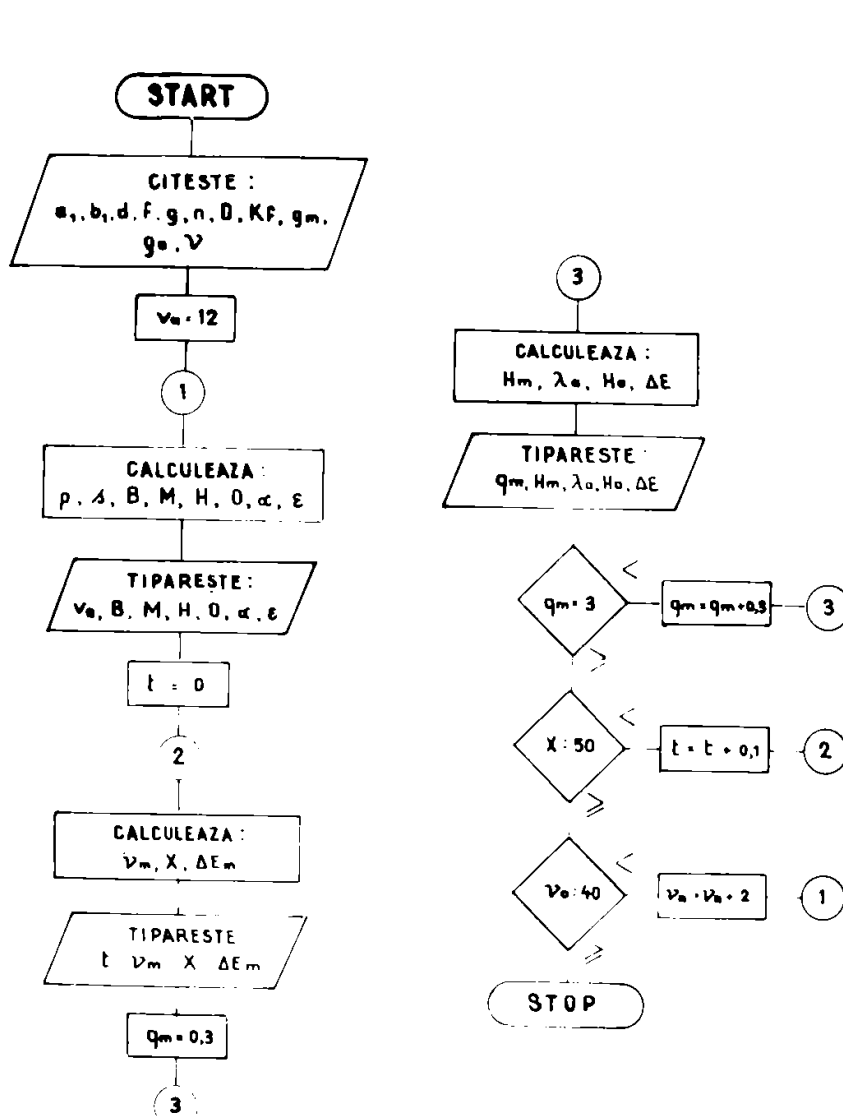


Fig.IV.26 Organigramă

§1. Influența lungimii conductei asupra pierderilor totale de presiune

Valorile pierderilor totale de presiune de-a lungul conductei de transport pneumatic s-au trecut în grafice după

cum urmează:

- In figurile de la IV.27 la IV.38 pierderile totale de presiune în cazul transportului pneumatic al semințelor de grâu, porumb și meșăre într-o conductă orizontală cu diametrul interior  $D = 142$  mm la diferite valori ale vitezei curentului de aer și diferite debite de alimentare. Valorile obținute pe cale experimentală s-au indicat cu cerceulețe iar valorile calculate s-au reprezentat cu linie continuă.

- In figurile de la IV.39 la IV.46 pierderile de presiune determinate experimental în cazul transportului pneumatic a semințelor de grâu în conducte cu secțiunea dreptunghiulară dispuse orizontal.

Din analiza graficelor din fig.IV.27 la IV.38 se constată în general o concordanță bună între rezultatele experimentale și cele teoretice ale autorului, ceea ce înseamnă că relațiile stabilite de autor țin seama de principalii factori care caracterizează transportul pneumatic în conducte orizontale.

Pierderile totale de presiune  $H$  cresc cu creșterea lungimii conductei. Creșterea pierderilor totale de presiune este mai accentuată imediat după secțiunea de alimentare și apoi treptat se uniformizează. In zona mișcării stabilizate pierderile totale de presiune cresc aproximativ liniar cu creșterea lungimii conductei. Această dependență a pierderilor totale de presiune în funcție de lungimea conductei obținută de autor pe cale analitică și experimentală, este în concordanță cu rezultatele experimentale din lucrările [17, 67, 68, 124, 137].

In cazul când lungimea conductei de transport pneumatic depășește zona mișcării tranzitorie, pierderile de presiune  $H_m$  se pot calcula mai ușor folosind relația (II.95).

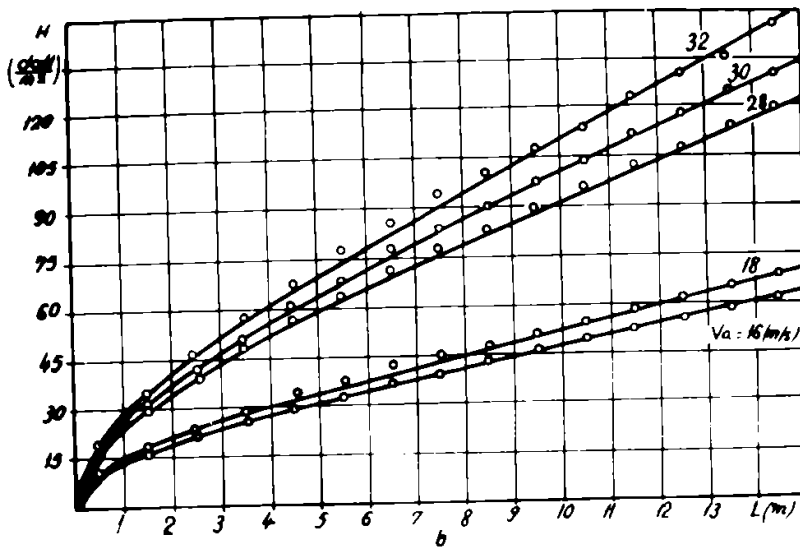
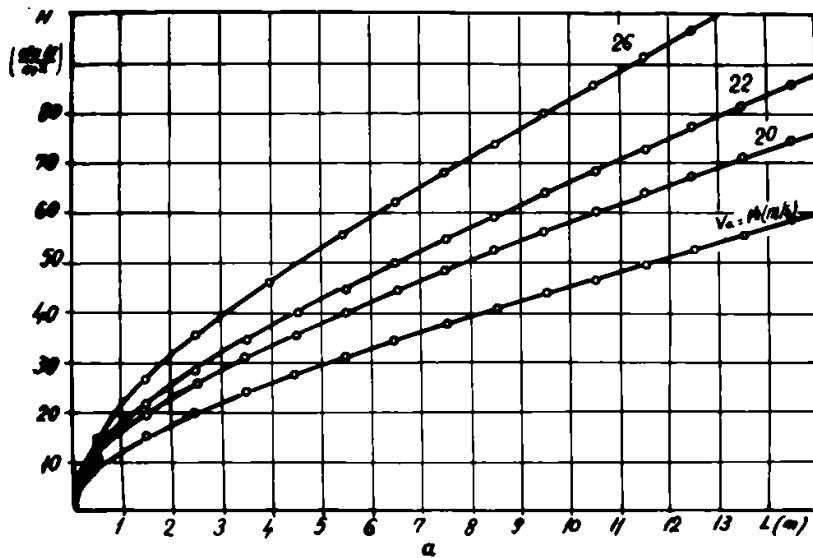


Fig.IV.27. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de grâu; diametrul  $D=142$  mm; debitul de alimentare  $q=0,300$  kg/s

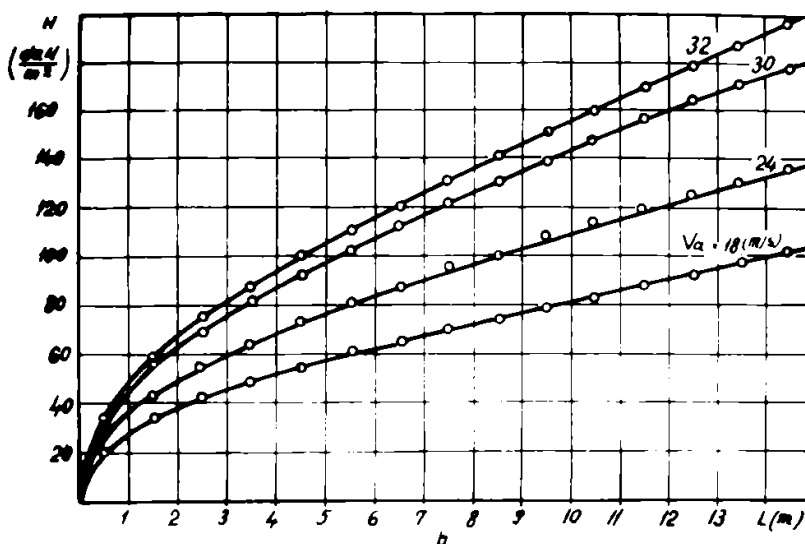
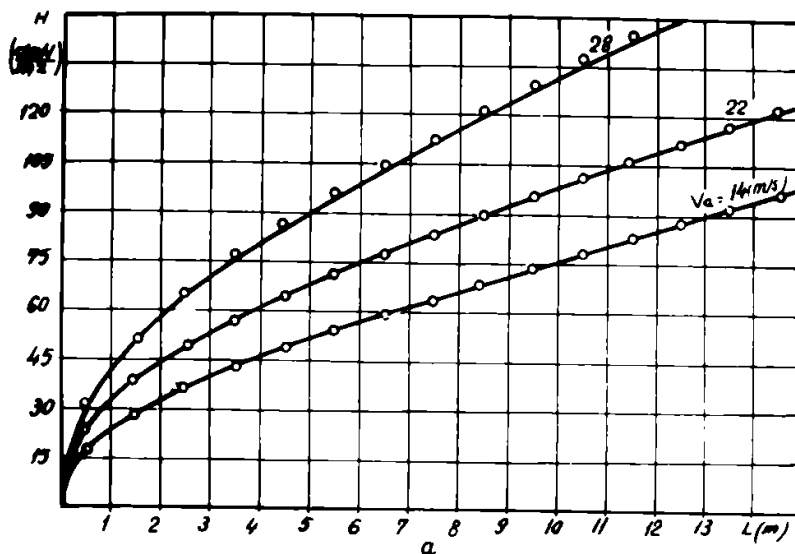


Fig.IV.28. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a,b - pentru semințe de grâu; diametrul conductei  $D=142$  mm; debitul de alimentare  $q = 0,600$  kg/s

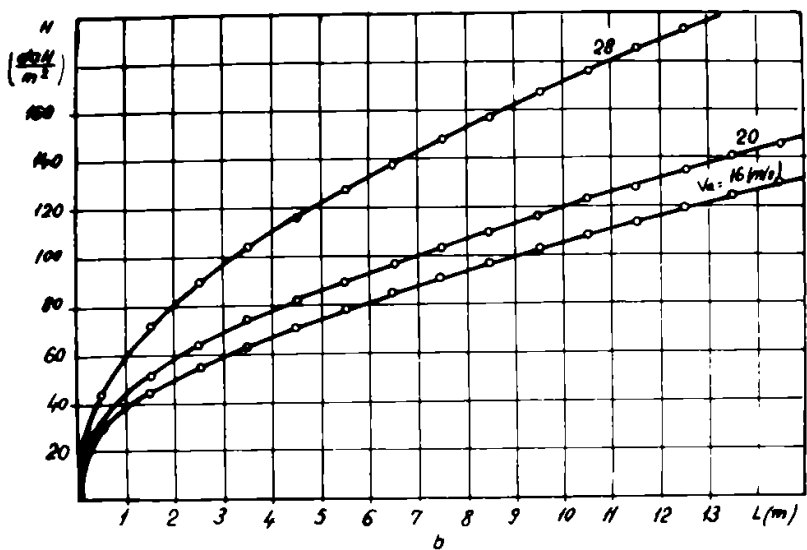
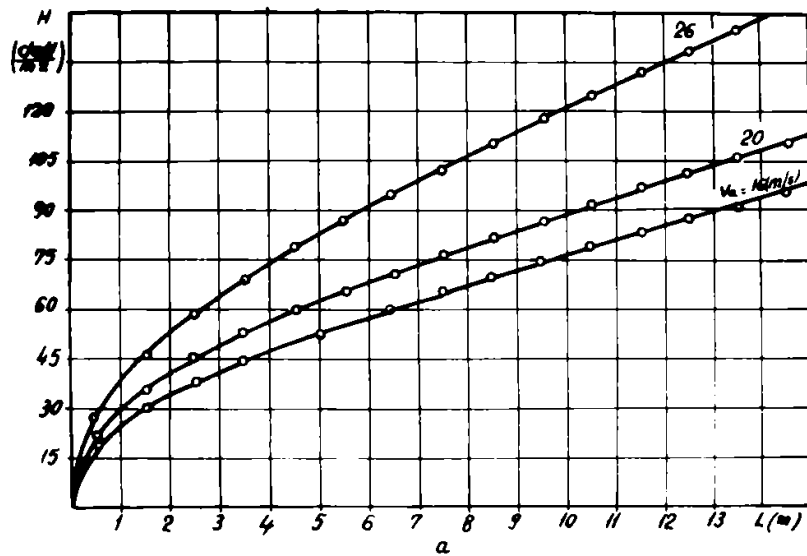


Fig.IV.29. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei, pentru semințe de grâu, diametrul conductei  $D = 142 \text{ mm}$ : a - pentru debitul de alimentare  $q = 0,600 \text{ kg/s}$ ; b - pentru debitul de alimentare  $q = 0,900 \text{ kg/s}$

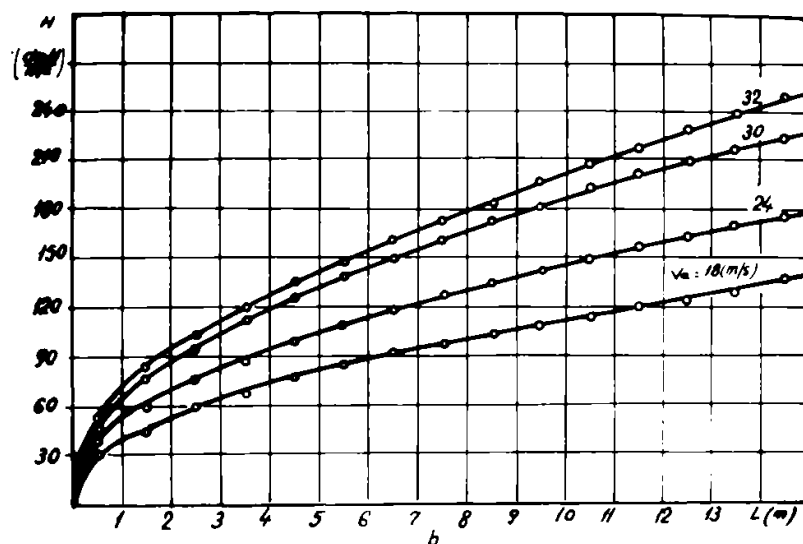
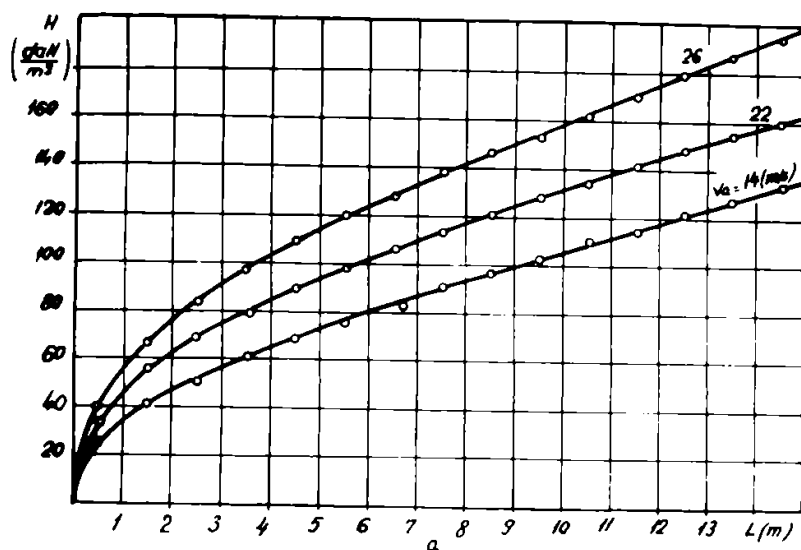


Fig. IV.30. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de grâu; diametrul conductei  $D = 142$  mm; debitul de alimentare  $q = 0,900$  kg/s

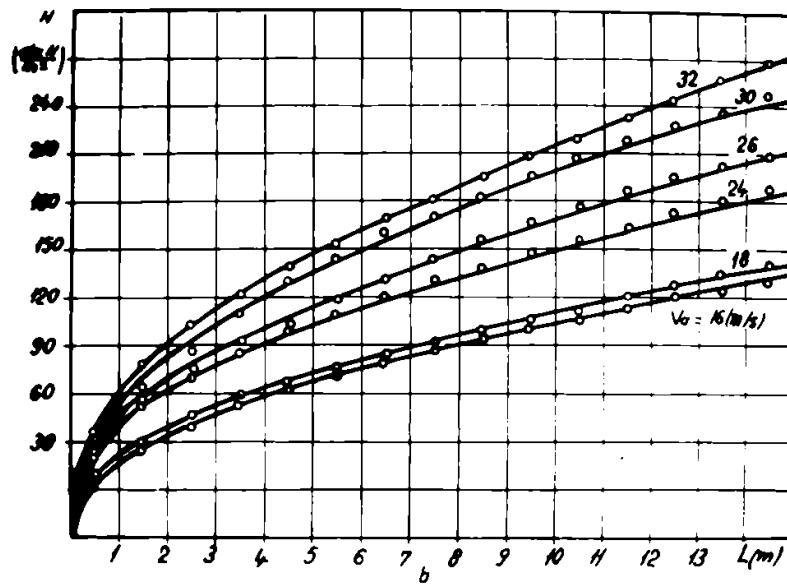
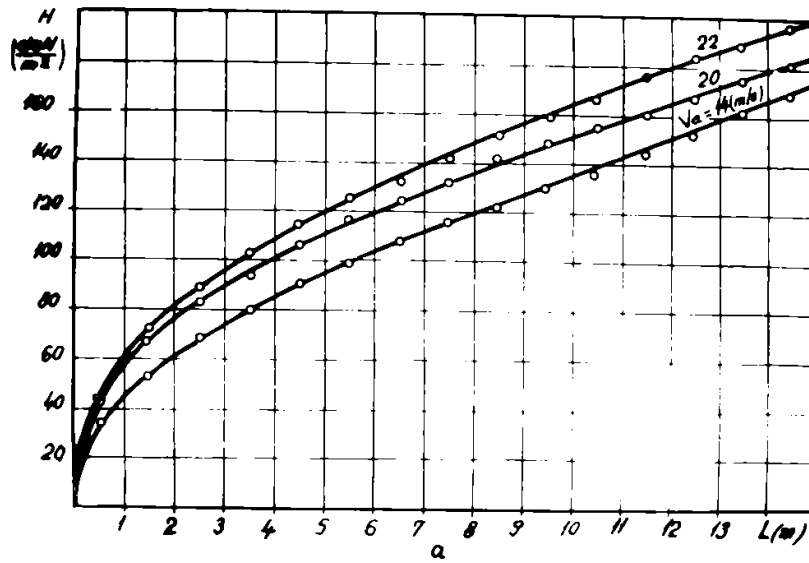


Fig. IV.31. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de grâu; diametrul conductei  $D = 142$  mm; debitul de alimentare  $q = 1,200$  kg/s



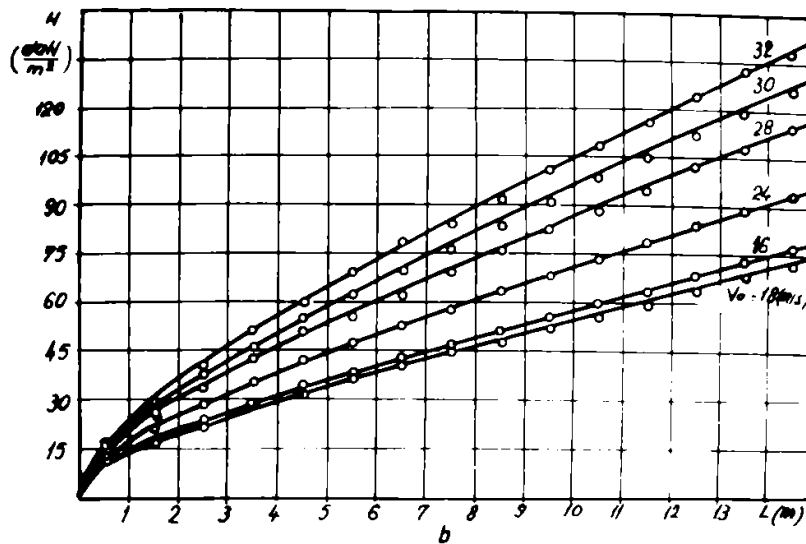
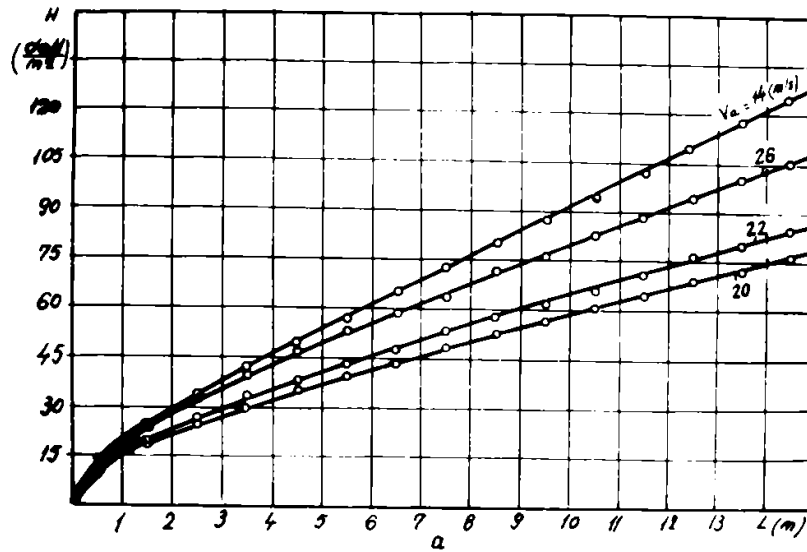


Fig.IV.32. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de porumb; diametrul conductei  $D = 142 \text{ mm}$ ; debitul de alimentare  $q = 0,300 \text{ kg/s}$

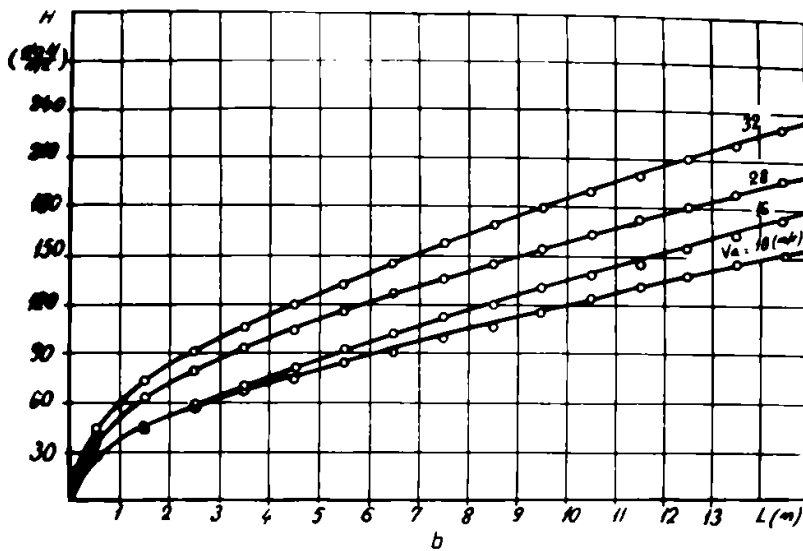
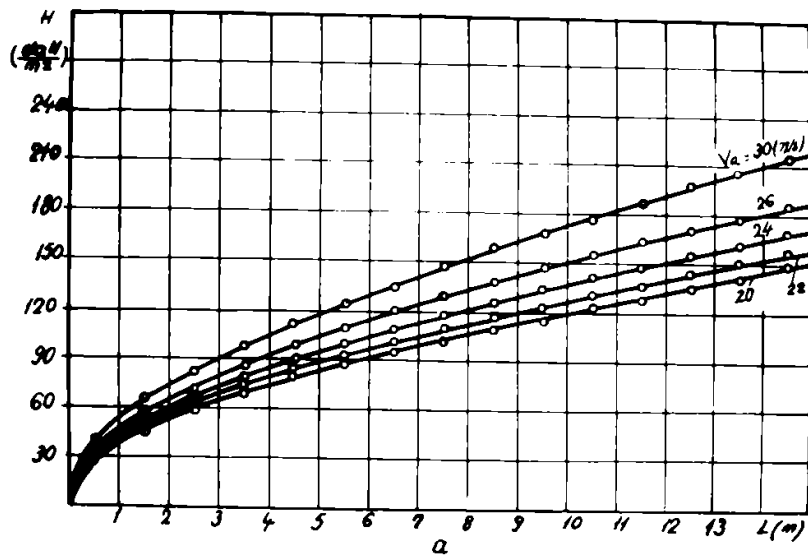


Fig. IV.35. Dependenta pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de porumb; diametrul conductei  $D = 142$  mm; debitul de alimentare  $q = 0,900$  kg/s

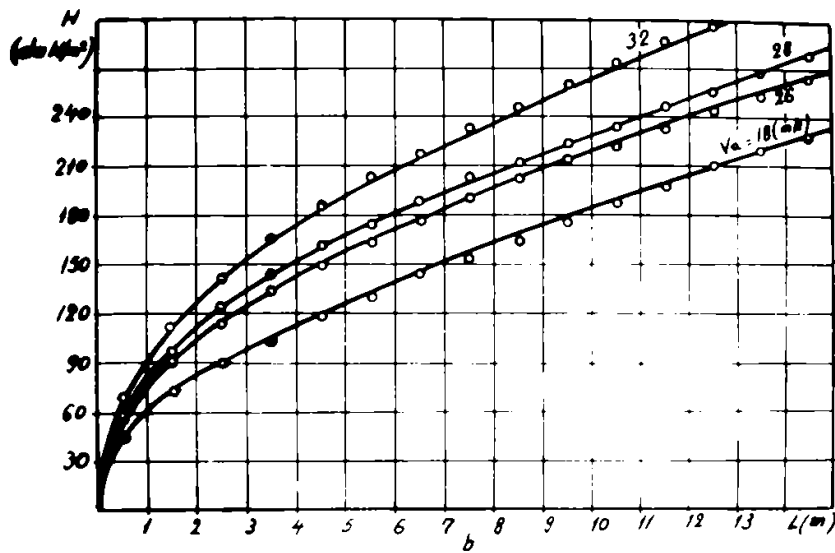
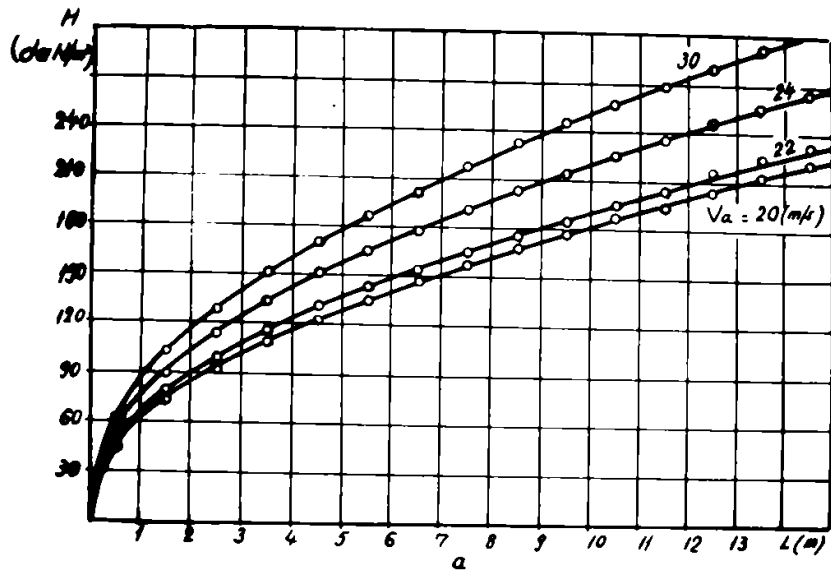


Fig.IV.34. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a,b - pentru semințe de porumb; diametrul conductei  $D = 142$  mm; debitul de alimentare  $q = 1,500$  kg/s

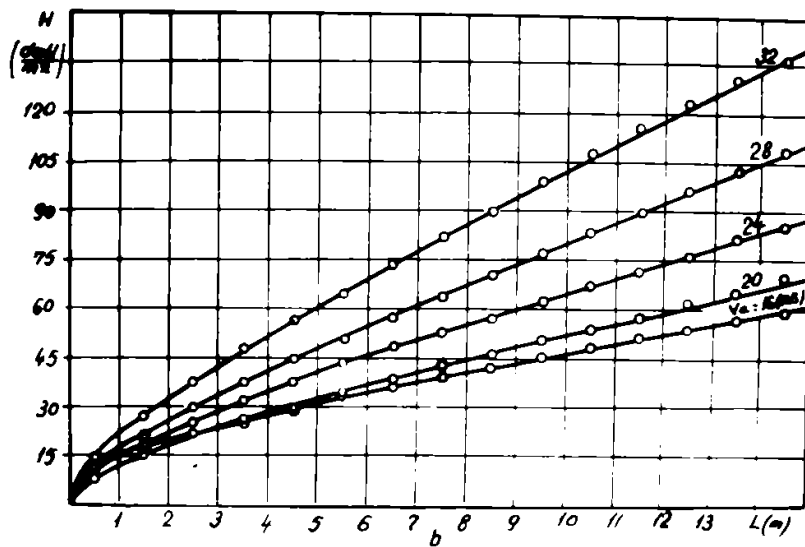
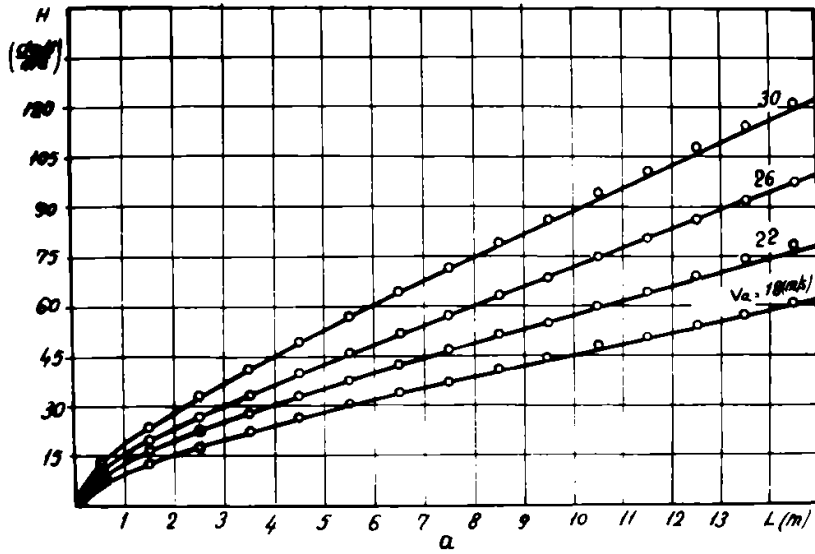


Fig. IV.35. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de mazăre; diametrul conductei  $D = 142 \text{ mm}$ ; debitul de alimentare  $q = 0,300 \text{ kg/s}$

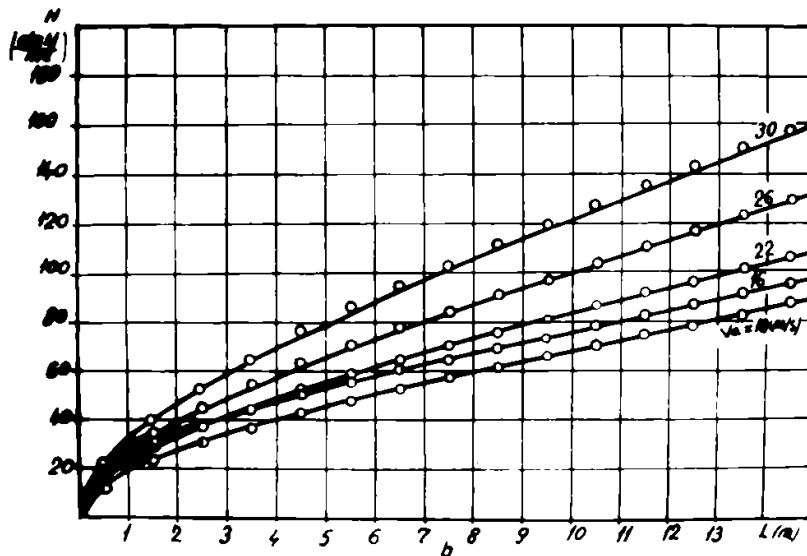
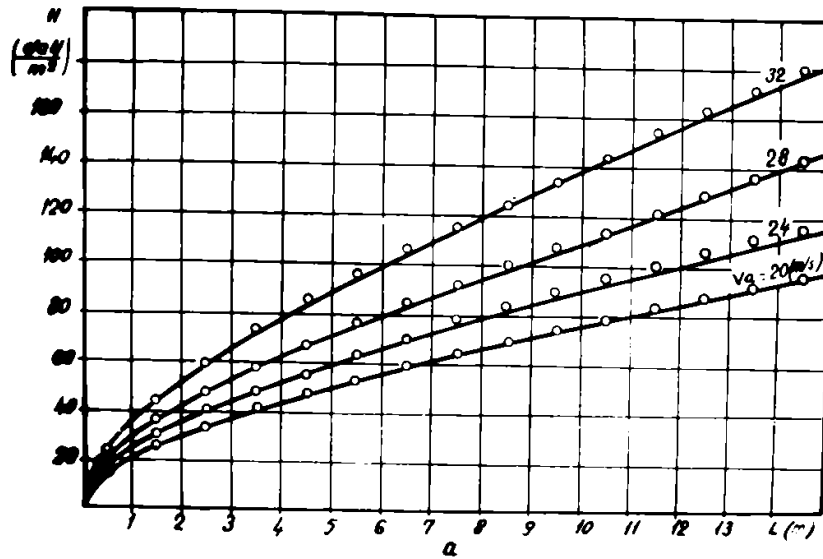


Fig.IV.36. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de mazăre; diametrul conductei  $D=142$  mm; debitul de alimentare  $q=0,600$  kg/s

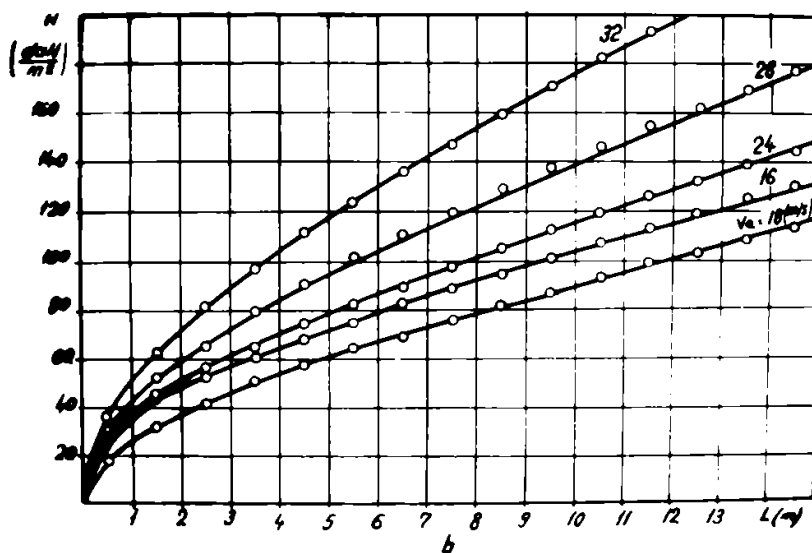
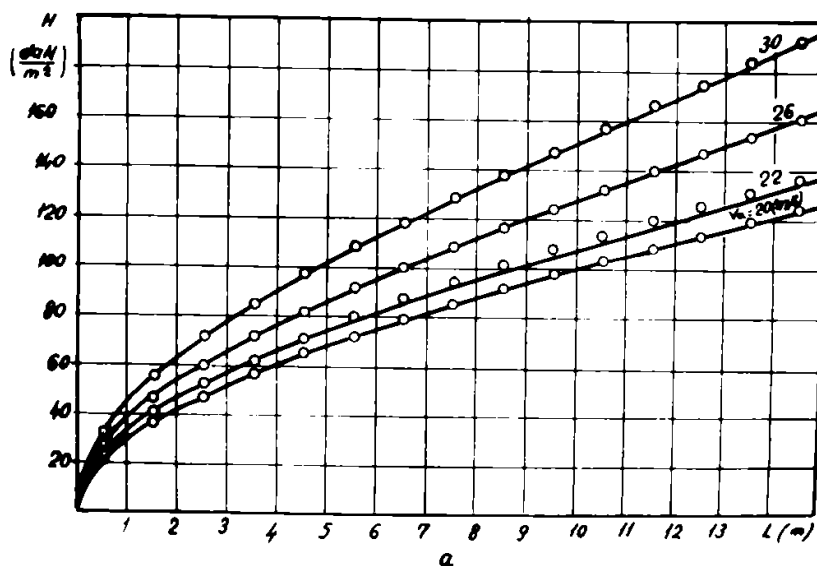


Fig. IV.37. Dependenta pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de mazăre; diametrul conductei  $D=142 \text{ mm}$ ; debitul de alimentare  $q=0,900 \text{ Kg/s}$

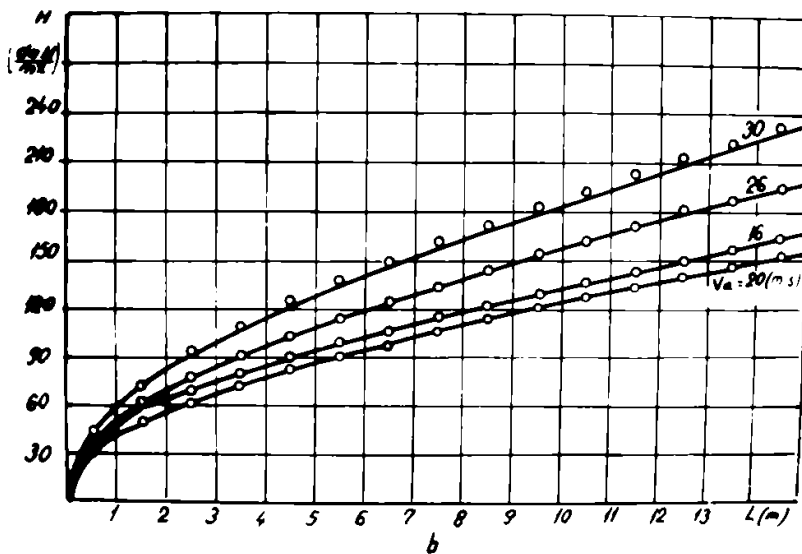
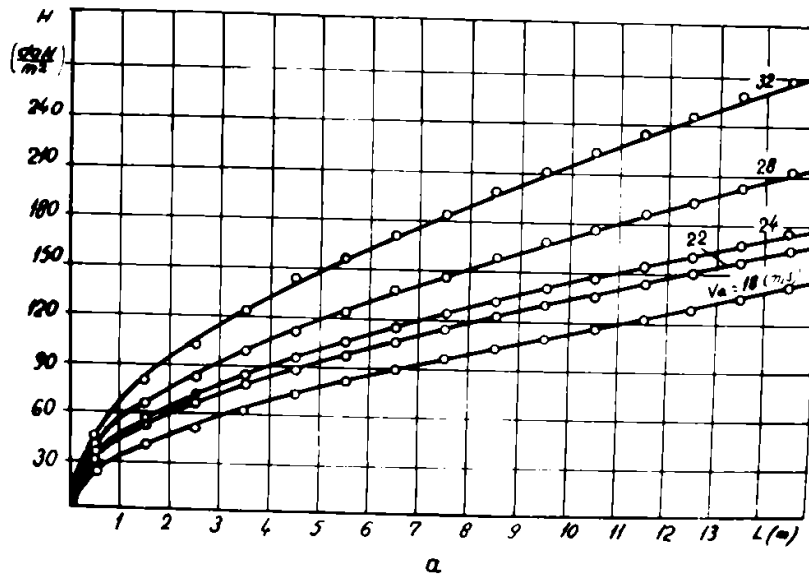


Fig. IV.38. Dependenta pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de mazăre; diametrul conductei  $D=142$  mm; debitul de alimentare  $q=1,200$  kg/s

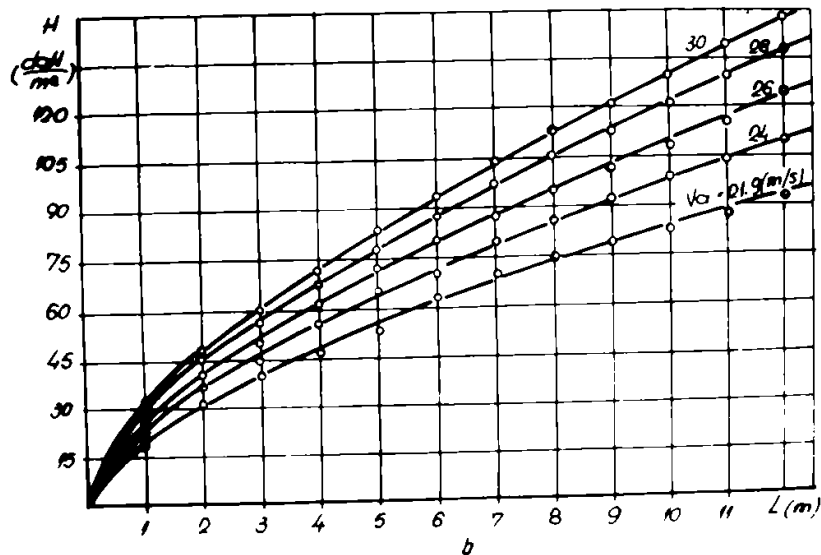
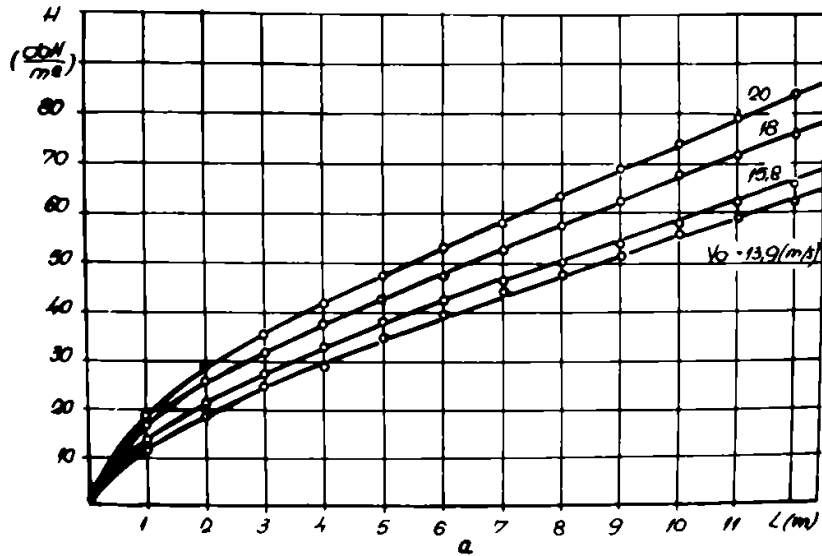


Fig. IV.39. Dependenta pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $179 \times 90$  mm<sup>2</sup>; debitul de alimentare  $q = 0,300$  kg/s



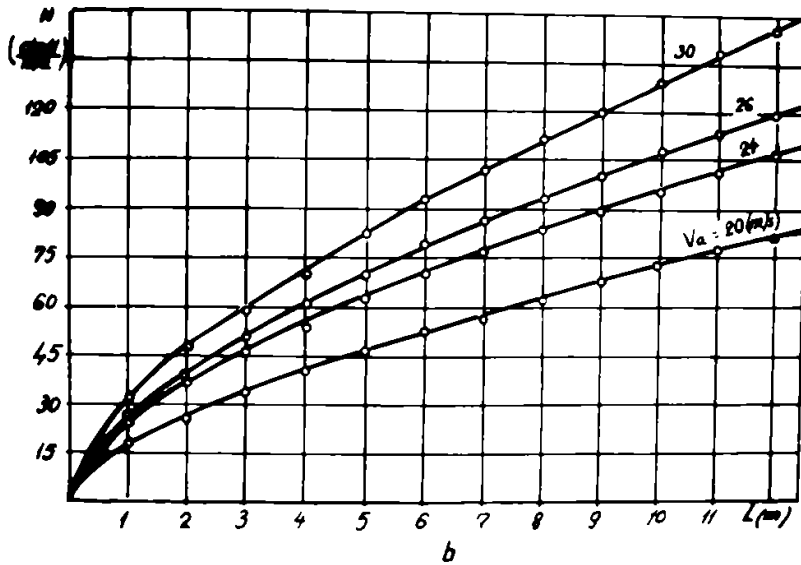
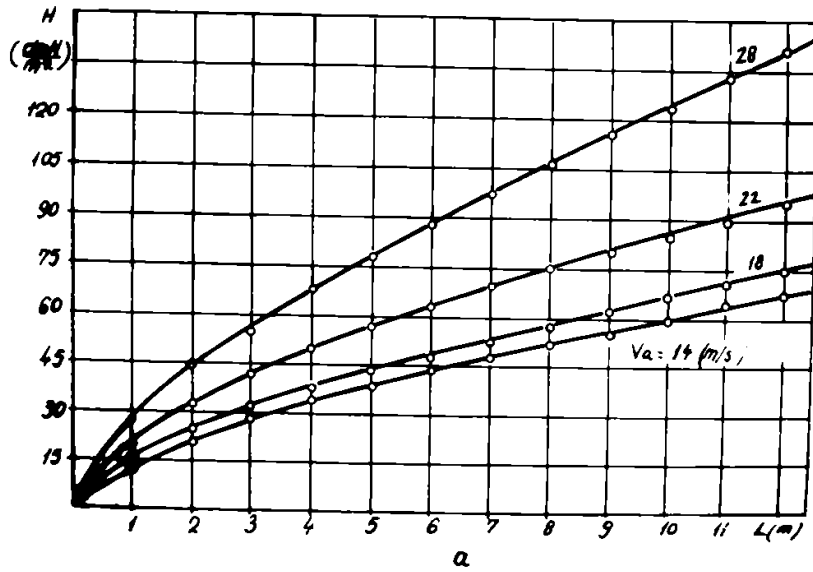


Fig.IV.40. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b - pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $90 \times 179 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q = 0,300 \text{ kg/s}$

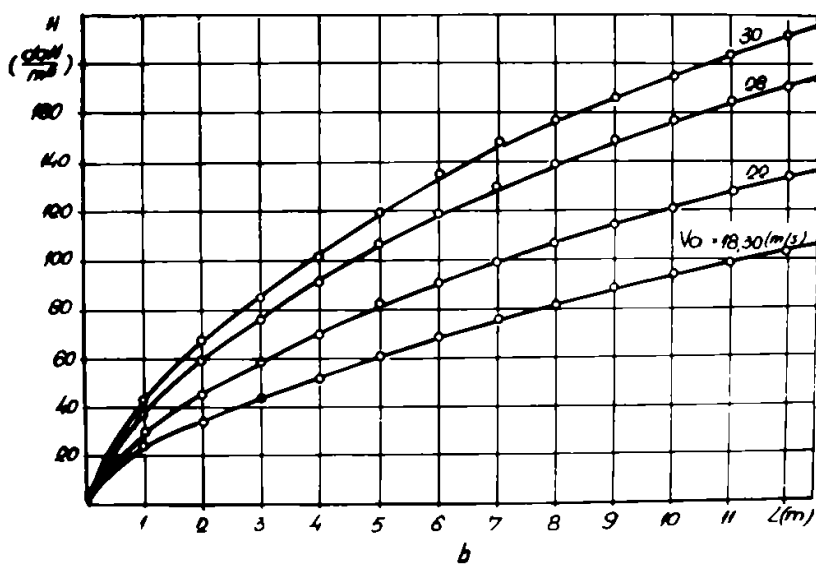
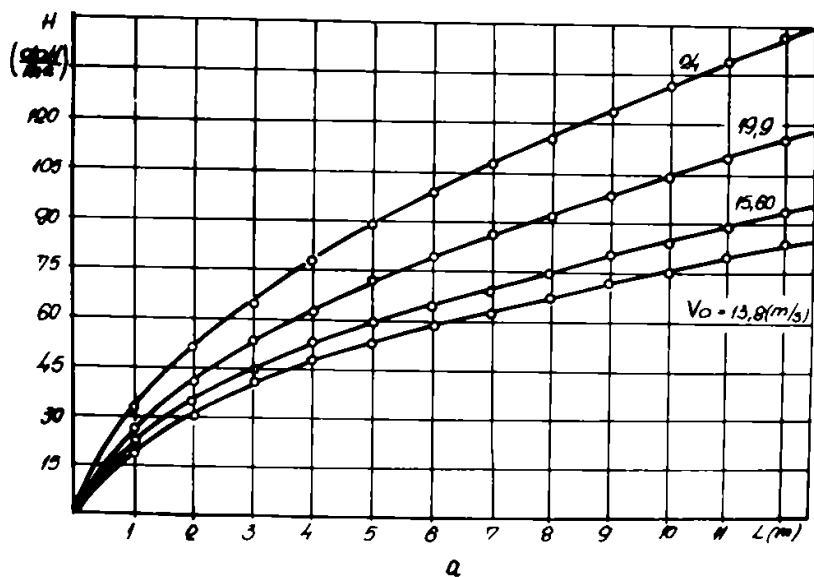


Fig.IV.41. Dependenta pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $179 \times 90 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q=0,600 \text{ kg/s}$

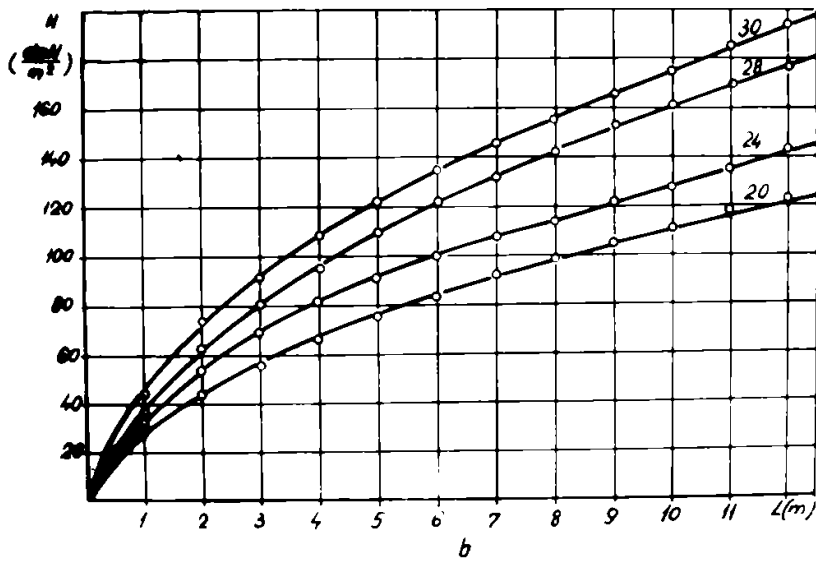
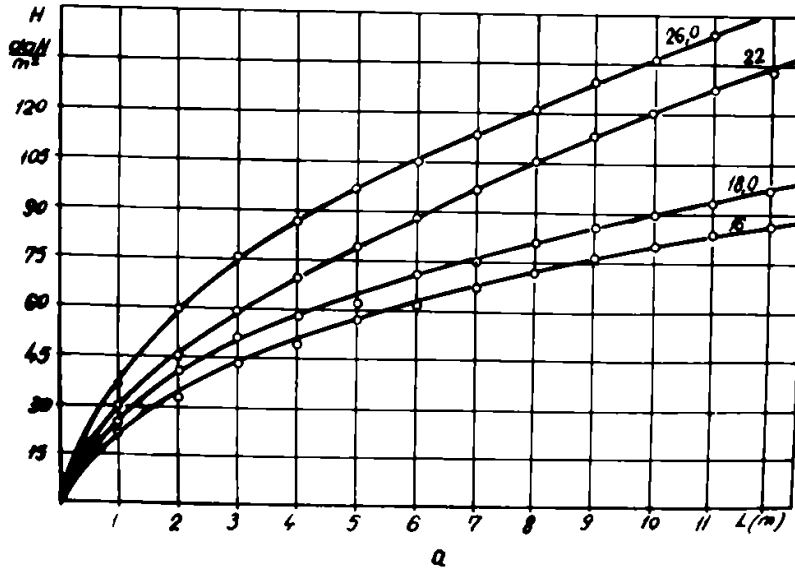


Fig. IV.42. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei: a, b- pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $90 \times 179 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q=0,600 \text{ kg/s}$

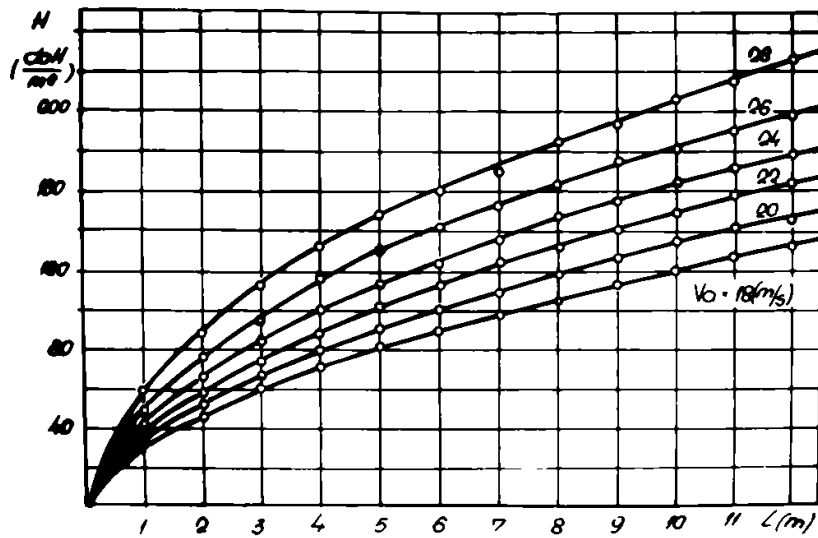


Fig.IV.43. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei, pentru semințe de grâu: secțiunea conductei  $179 \times 90 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q = 0,900 \text{ kg/s}$

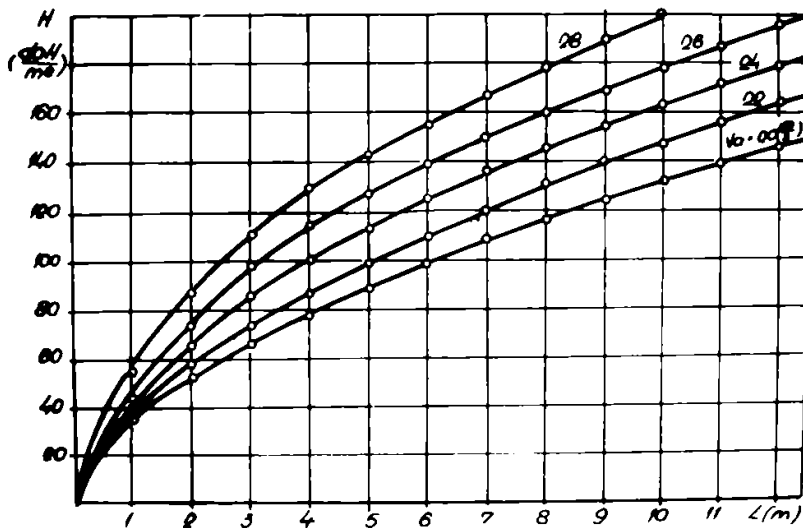


Fig.IV.44. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei, pentru semințe de grâu: secțiunea conductei  $90 \times 179 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q = 0,900 \text{ kg/s}$

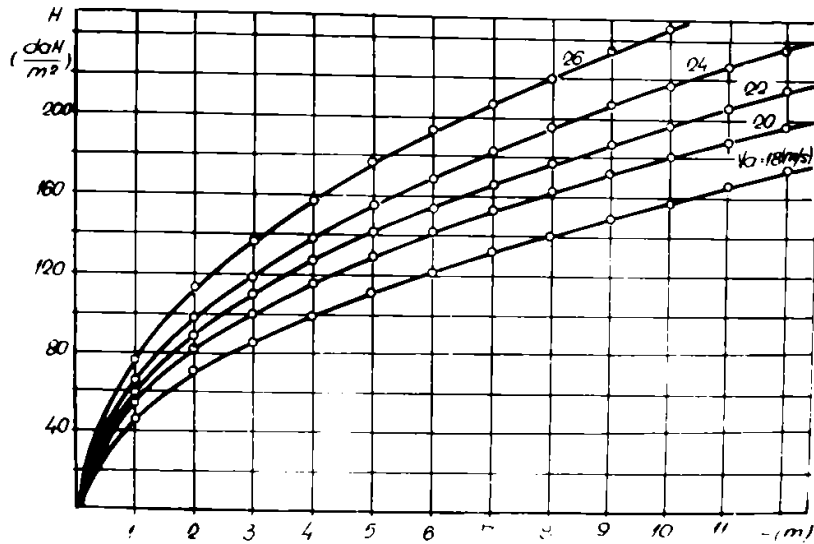


Fig.IV.45. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei, pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $179 \times 90 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q = 1,200 \text{ kg/s}$

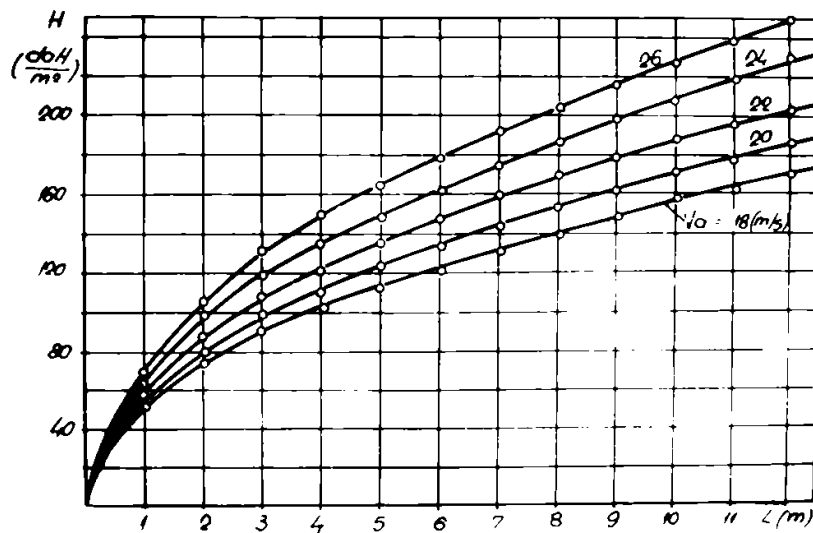


Fig.IV.46. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de lungimea conductei, pentru semințe de grâu; secțiunea conductei  $90 \times 179 \text{ mm}^2$ ; debitul de alimentare  $q = 1,200 \text{ kg/s}$

Pierderile de presiune totale  $H$  în această situație sînt date de relația:

$$H = H_a + H_{ac} + H_s \quad (IV.7)$$

Rezultatele teoretice obținute cu relația (IV.7) s-au comparat cu rezultatele experimentale obținute de autor în cazul transportului pneumatic a semințelor de grâu într-o conductă orizontală de formă cilindrică cu diametrul  $D = 142$  mm și lungimea  $L = 14,5$  m.

În anexa IV.2 sînt înscrise datele experimentale și cele teoretice ale autorului privind pierderile de presiune totale  $H$  numai pentru valori extreme ale vitezei curentului de aer  $v_a$  folosite în cadrul experiențelor. Rezultă o concordanță bună între datele experimentale și cele calculate.

## §2. Influența formei secțiunii conductei asupra pierderilor totale de presiune

Autorul a făcut cercetări comparative privind pierderile de presiune totale la transportul semințelor de grâu în conducte cu secțiune circulară și cu secțiune dreptunghiulară la diferite debite de alimentare și viteze ale curentului de aer pentru lungimea conductei  $L = 12$  m. Pierderile de presiune totale sînt mai mari în cazul transportului pneumatic al semințelor în conducte cu secțiunea dreptunghiulară decît în conducte cu secțiunea circulară. Pierderile de presiune cauzate de deplasarea semințelor  $H_m$ , determinate experimental de autor la transportul semințelor în conducte cu secțiunea circulară cu diametrul  $D = 142$  mm; cu secțiunea dreptunghiulară  $179 \times 90$  mm<sup>2</sup> și cu secțiunea dreptunghiulară  $90 \times 179$  mm<sup>2</sup> sînt înscrise în anexa IV.3.

Din analiza rezultatelor experimentale rezultă că pierderile de presiune  $H_m$  în conducte cu secțiunea  $179 \times 90$  mm<sup>2</sup> sînt mai mari decît în conducta cu secțiunea  $90 \times 179$  mm<sup>2</sup>, ceea ce

denotă că semințele, în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, vin mai des în contact cu pereții inferior și superior al conductei decât cu pereții laterali. Pentru aprecierea pierderilor de presiune  $H_m$  în conductele cu secțiunea dreptunghiulară în raport cu pierderile de presiune  $H$  în conducta circulară în condițiile echivalenței ariilor secțiunilor conductelor s-au calculat coeficienții  $k_0$  și  $k_v$  numiți coeficienți de formă a secțiunii conductei. Coeficientul  $k_0$  reprezintă raportul între pierderile de presiune  $H_m$  în conducta cu secțiunea dreptunghiulară cu latura mare a secțiunii dispusă orizontal și pierderile de presiune în conducta cilindrică. Coeficientul  $k_v$  reprezintă același raport dar pentru conducta dreptunghiulară cu latura mare a secțiunii conductei dispusă vertical. În anexa IV.3 s-a înscris și coeficientul  $k_1$  care reprezintă raportul între  $k_0$  și coeficientul  $k_v$ .

Se constată că valorile coeficienților  $k_0$ ,  $k_v$  și  $k_1$  variază în limite foarte restrânse o dată cu variația vitezei curentului de aer cât și cu variația debitului de alimentare. Aceasta înseamnă că forma conductei este cea care a determinat modificarea pierderilor de presiune  $H_m$ . Valorile medii ale coeficienților de formă ai secțiunii conductei sînt:  $k_0 = 1,133$ ;  $k_v = 1,142$  și  $k_1 = 1,036$ .

### §3. Influența debitului de semințe asupra pierderilor totale de presiune

Pierderile totale de presiune în cadrul transportului pneumatic calculate cu relațiile (I.45) și (II.90), cresc liniar cu creșterea debitului de alimentare. Această dependență se menține atît timp cît sînt satisfăcute ipotezele formulate la stabilirea relației (II.90). În condițiile creșterii continue a concentrației gravimetrice, acțiunea reciprocă între semințe se

intensifică și are o influență tot mai însemnată asupra mișcării acestora în consecință va avea loc și modificarea legii de variație a pierderilor totale de presiune.

În vederea stabilirii variației pierderilor de presiune totale  $H$ , funcție de debitul de alimentare  $q$ , autorul a efectuat experimente cu semințe de grâu, porumb și mazăre în condițiile transportului pneumatic într-o conductă cilindrică cu diametrul  $D = 142$  mm și lungimea  $L = 14,5$  m, dispusă orizontal și numai cu semințe de grâu folosind o conductă cu secțiunea dreptunghiulară, cu lungimea  $L = 12$  m. Rezultatele experimentale sînt înscrise în graficele din fig.IV.47 și IV.51.

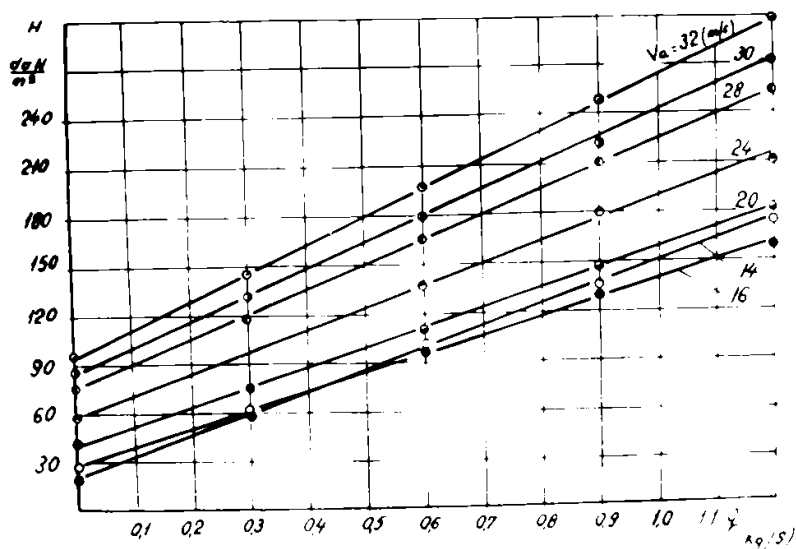
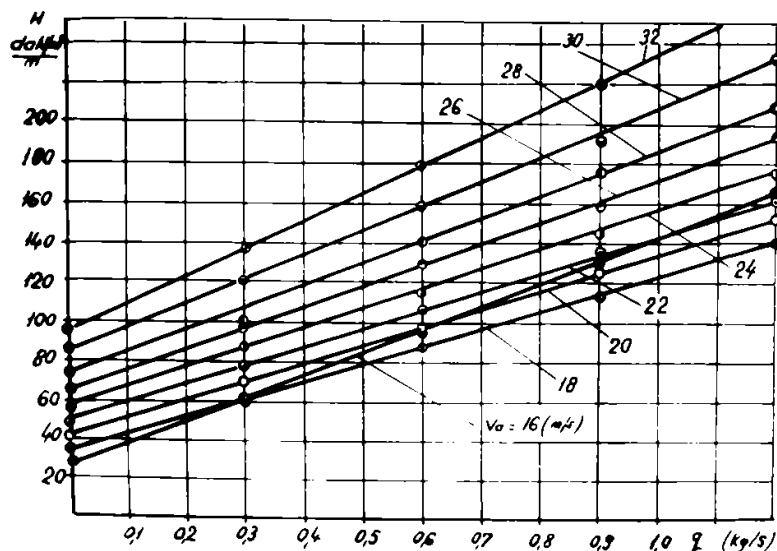


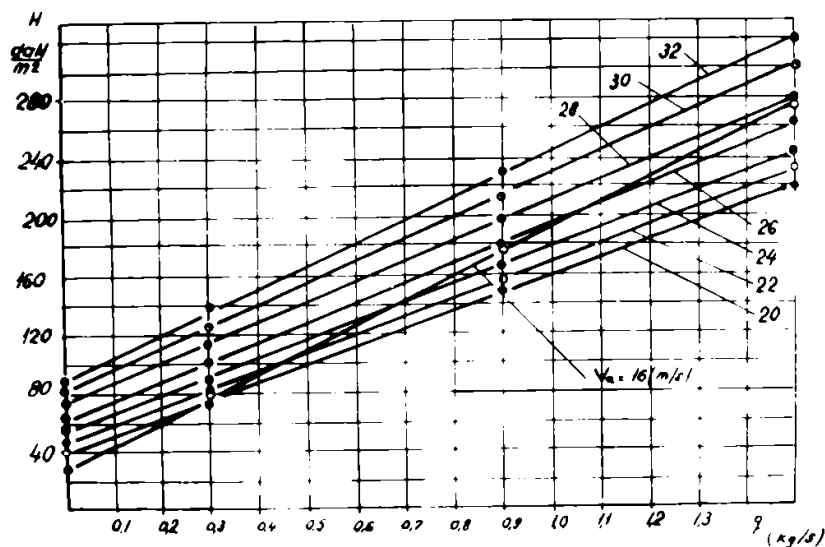
Fig.IV.47. Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de debitul de alimentare pentru semințe de grâu, conductă cu  $D = 142$  mm

Din analiza acestor grafice rezultă că dependență liniară a pierderilor de presiune totale  $H$  funcție de debitul de alimentare  $q$  stabilită pe cale analitică de autor pentru condițiile transportului pneumatic al semințelor în conducte dispuse orizontal este confirmată de rezultatele experimentale.

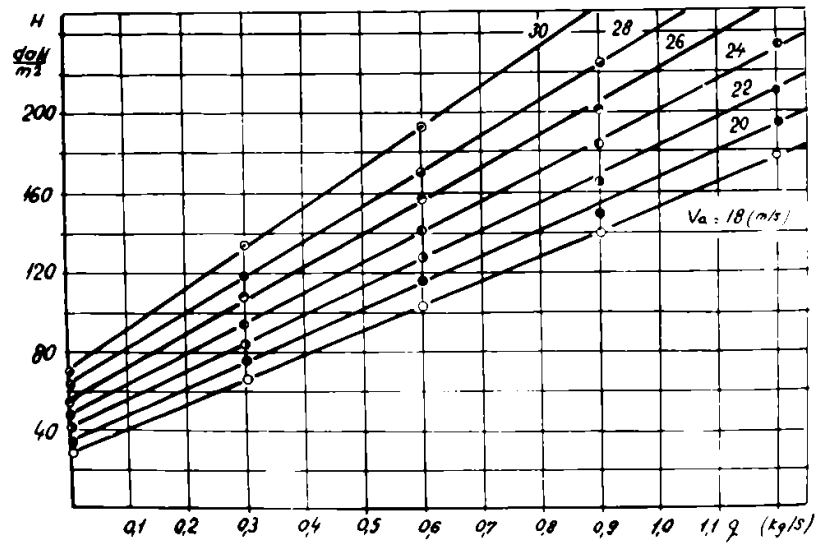




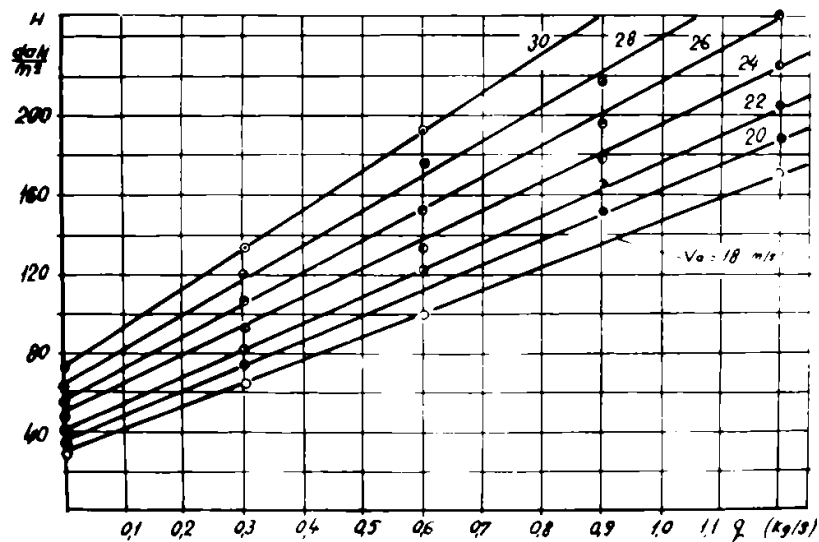
**Fig.48.** Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de debitul de alimentare, pentru semințe de mazăre, conducta cu  $D = 142$  mm



**Fig.IV.49.** Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de debitul de alimentare, pentru semințe de porumb, conducta cu  $D = 142$  mm



**Fig.IV.50.** Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de debitul de alimentare, pentru semințe de grâu, conducta cu secțiunea  $179 \times 90 \text{ mm}^2$



**Fig.IV.51.** Dependența pierderilor de presiune  $H$  funcție de debitul de alimentare, pentru semințe de grâu, în conducta cu secțiunea  $90 \times 179 \text{ mm}^2$

În literatura tehnică de specialitate este analizată pe larg dependența pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de concentrația gravimetrică în zona mișcării stabilizate și este unanim recunoscut că pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  cresc liniar cu creșterea concentrației gravimetrice.

Rezultatele teoretice și experimentale ale autorului sînt în concordanță cu datele din literatura de specialitate întrucît relația (II.96) pentru calculul pierderilor de presiune  $\Delta H_g$  se obține particularizînd relația (II.90) iar concentrația gravimetrică este proporțională cu debitul de alimentare.

Analiza influenței diferiților parametri caracteristici ai procesului de transport pneumatic în conducte dispuse orizontal asupra pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  se poate face numai în cadrul zonei cu mișcare stabilizată întrucît în aceste condiții sînt eliminate influența modificării stării de mișcare a semințelor și variația concentrației gravimetrice de-a lungul conductei de transport. De aceea în continuare se analizează numai pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  în cadrul zonei cu mișcare stabilizată. Pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  reprezintă suma:

$$\Delta H = \Delta H_n + \Delta H_g \quad (\text{II.8})$$

#### §4. Influența vitezei curentului de aer asupra pierderilor specifice de presiune

Dependența pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de viteza curentului de aer este poate cea mai semnificativă pentru procesul de transport pneumatic și cel mai mult dezbătută în literatura de specialitate. Viteza curentului de aer  $v_g$  este unul din parametrii procesului de transport pneumatic care se poate modifica ușor și este la alegerea proiectantului.

Calculul pierderilor specifice de presiune pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer, pentru diferite debite de alimentare  $q$ , corespunzător cărora s-au efectuat determinări experimentale s-a făcut cu ajutorul unui calculator electronic de tip IRIS-50 după organigrama din fig.IV.52.

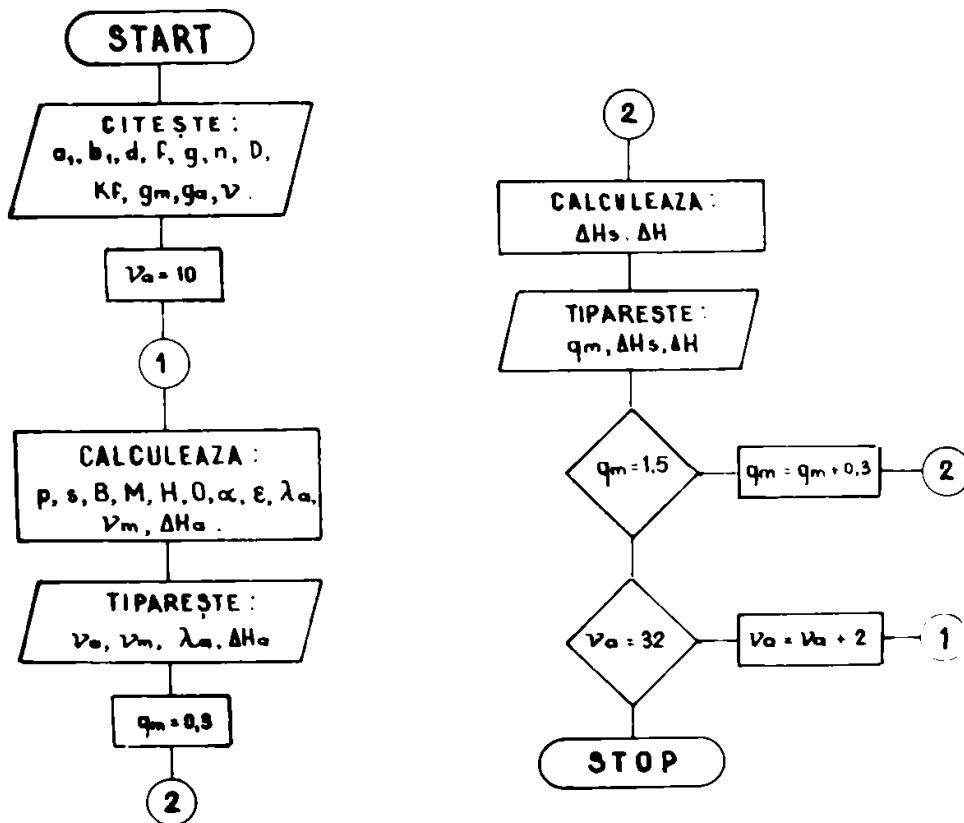


Fig.IV.52.Organigramă

Pierderile specifice de presiune funcție de viteză medie a curentului de aer  $v_g$  s-au reprezentat în fig.IV.53 și IV.54.

În fig.IV.53 s-au reprezentat cu linie continuă rezultatele teoretice obținute cu relația (IV.8) stabilită de autor, iar cu cercuri sînt marcate rezultatele experimentale ale autorului obținute la transportul pneumatic a semințelor

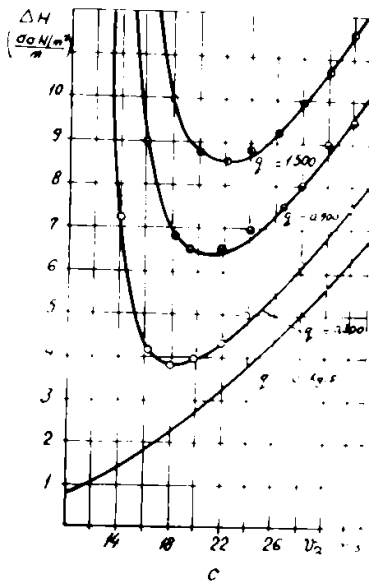
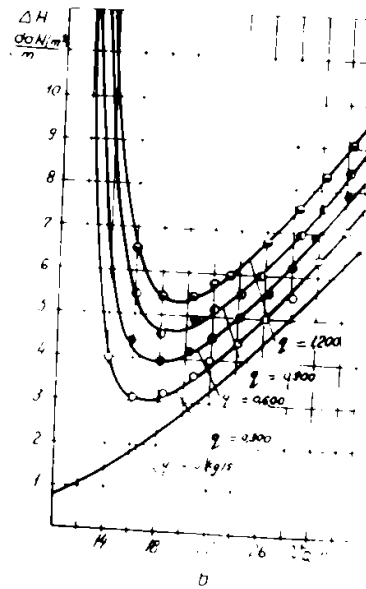
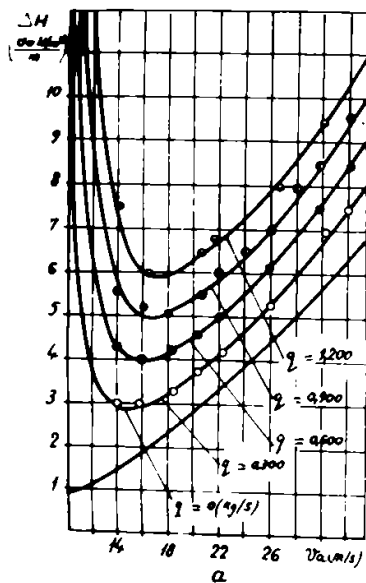
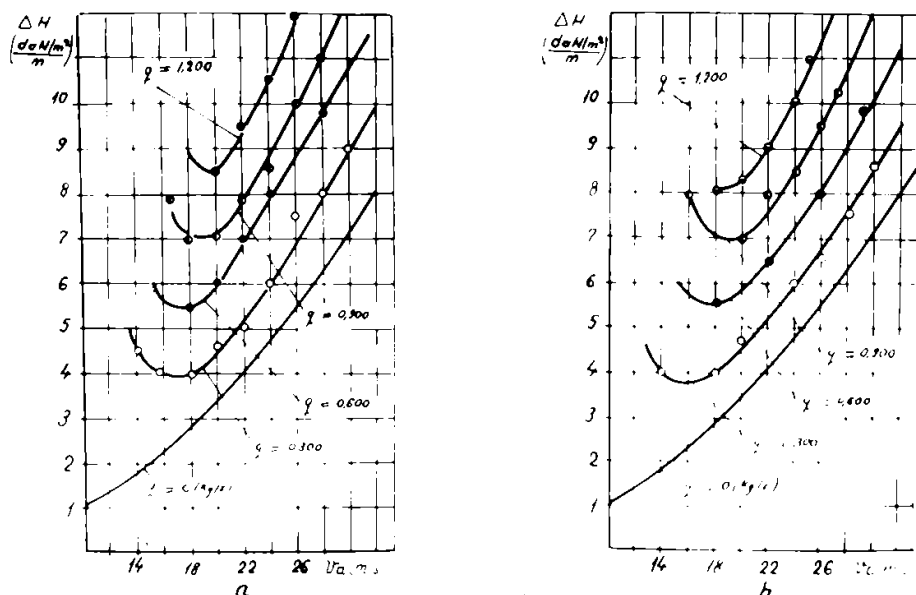


Fig.IV.53. Dependența pierderilor de presiune  $\Delta H$  funcție de viteza medie  $v_g$  a curentului de aer în conductă cilindrică cu diametrul  $D = 142$  mm  
 a. semințe de grâu;  
 b. semințe de mazăre;  
 c. semințe de porumb.

de grâu, porumb respectiv mazăre într-o conductă cilindrică cu diametrul  $D = 142$  mm. În fig.IV.54 s-au reprezentat pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  la transportul pneumatic a semințelor de grâu într-o conductă cu secțiunea dreptunghiulară, determinate pe cale experimentală de autor.

Din analiza graficelor din fig.IV.53 rezultă o corespondență satisfăcătoare între datele experimentale și cele cal-



**Fig.IV.54. Dependența pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de viteza  $v_a$  a curentului de aer în cazul semințelor de grâu: a-conducta cu secțiunea  $179 \times 90 \text{ mm}^2$ , b-conducta cu secțiunea  $90 \times 179 \text{ mm}^2$**

culate. Pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  prezintă o descreștere bruscă cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de aer în prima parte (corespunzător unor valori reduse pentru viteza curentului de aer) pînă la o valoare minimă, după care cresc cu creșterea vitezei  $v_a$ . Creșterea pierderilor specifice de presiune cu desoreșterea vitezei curentului de aer se datorează creșterii concentrației gravimetrice și depunerii semințelor pe pereții conductei. La limita de infundare pierderile de presiune cresc foarte mult, ceea ce indică încetarea procesului de transport pneumatic.

Variația pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  dată de relația (II.96) stabilită de autor și verificată experimental, prezintă minime distincte pentru fiecare debit  $q$  de semințe și pentru fiecare fel de semințe. Viteza curentului de aer  $v_a$  corespunzătoare valorilor minime pentru pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  diferă funcție de felul semințelor și de debi-

tal de alimentare  $q$ . Pentru un anumit fel de semințe poziția minimumului pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  se deplasează spre dreapta către valori crescătoare ale vitezei curentului de aer o dată cu creșterea debitului de alimentare  $q$ .

Pentru valori ale vitezei curentului de aer situate în stînga minimumului pierderilor specifice de presiune, procesul de transport pneumatic nu mai este stabil, orice modificare a parametrilor acestuia duce la variații mari ale pierderilor specifice de presiune. În cazul în care sursa pneumatică nu este capabilă să învingă suprasarcinile din rețeaua de transport, aceasta se infundă și procesul nu mai are loc. La limite de transport autorul a observat apariția unor formațiuni (aglomerări) de semințe pe pereții inferior ai conductei, formațiuni care s-au deplasat neregulat în sensul de curgere. Caracterul acestor formațiuni era nestaționar. Reducerea sensibilă a vitezei curentului de aer a dus la permanentizarea formațiunilor de semințe, alcătuirea unor dune și treptat s-a ajuns la infundarea conductei de transport.

Pentru valori ale vitezei curentului de aer situate în dreapta minimumului pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$ , procesul de transport pneumatic este staționar iar pierderile specifice de presiune cresc cu creșterea vitezei curentului de aer. Această dependență a pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de viteza medie  $v_g$  a curentului de aer, stabilită de autor pe cale teoretică și verificată experimental, este în concordanță cu experiențele altor cercetători [17, 36, 66, 124, 171, 178, 203]. Astfel în fig. IV.55 s-a reprezentat variația pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de viteza curentului de aer  $v_g$  după datele experimentale ale lui Siegel [171] obținute la transportul pneumatic într-o conductă din oțel cu

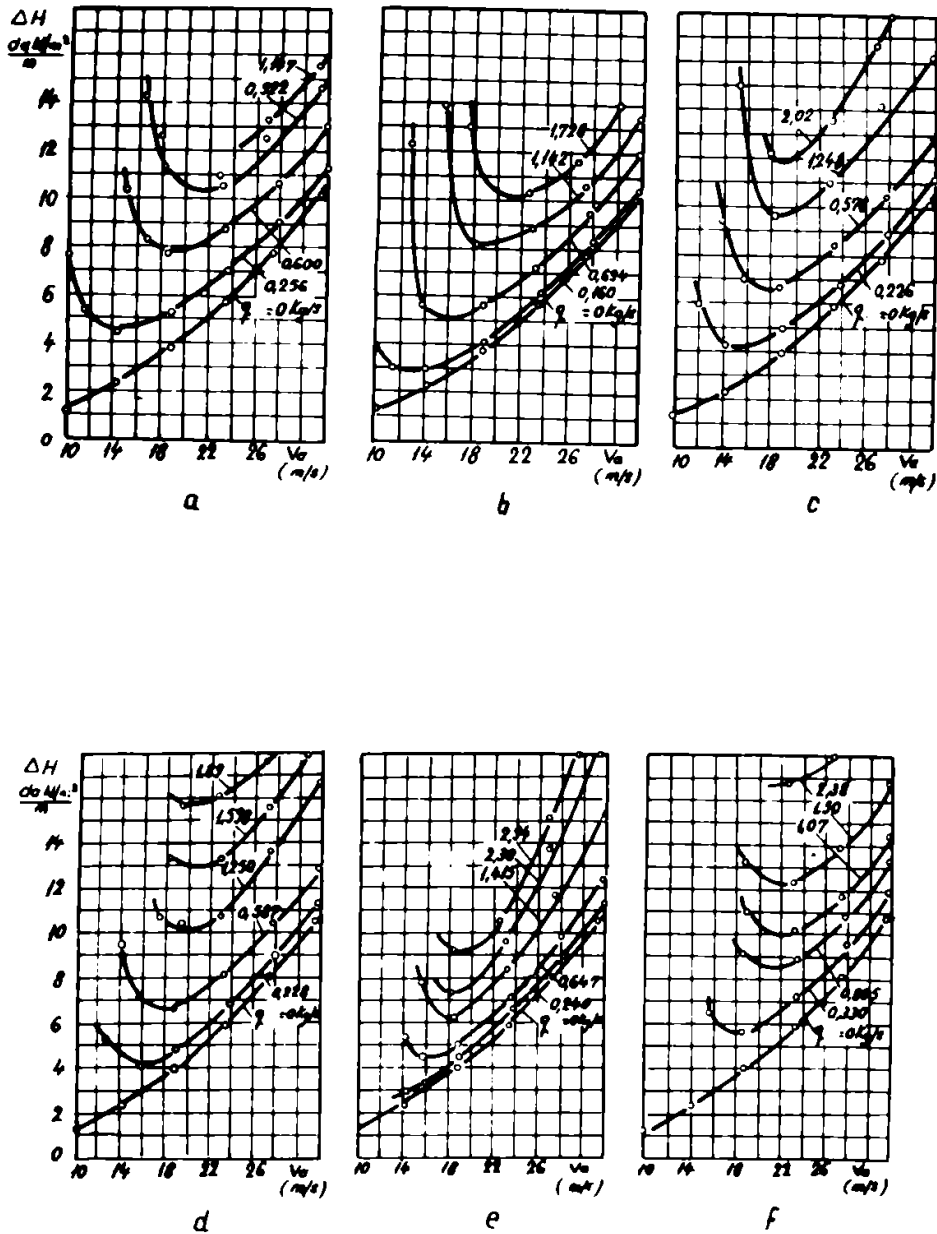


Fig.IV.55. Dependența pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de  $v_g$ , după Siegel [171] : a - semințe de muștar; b - bile de polisterol; c - semințe de grâu; d - semințe de mazărice; e - semințe de lupin; f - semințe de mazăre

diametrul  $D = 100$  mm, a semințelor de muștar, bile de polisterol, semințe de grâu, semințe de mazărice, lupin și mazăre.



Calitatea deosebită pe care o are relația (II.96) stabilită de autor, față de relațiile similare ale altor cercetători, constă în aceea că dă corect variația pierderilor specifice de presiune pe întregul domeniu de variație a vitezei curentului de aer la care se realizează procesul de transport pneumatic. Ori aceasta permite alegerea valorii vitezei curentului de aer căreia îi corespund pierderile specifice minime de presiune.

### §5. Influența diametrului conductei asupra pierderilor specifice de presiune

Pentru a analiza influența diametrului  $D$  al conductei asupra pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  este necesar să se mențină structura sistemului eterogen, adică  $\mu = \text{const.}$  În aceste condiții relația pierderilor specifice de presiune se scrie:

$$\Delta H = \frac{\lambda_a}{D} \frac{\rho_a v_a^2}{2} + \mu \rho_a v_a \left[ p v_m + \frac{(s + p v_a) v_a}{v_m} - H \right] \quad (\text{IV.9})$$

Variația pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de diametrul  $D$  al conductei dată de relația (IV.9), pentru semnifica cu diametrul echivalent  $d = 4$  la viteza curentului de aer  $v_a = 20$  m/s și concentrația gravimetrică  $\mu = 3$ , s-a reprezentat în graficul din fig. IV.56. În abscisă s-a trecut atât diametrul conductei  $D$  cât și raportul  $D/d$ . De asemenea în fig. IV.56 s-au reprezentat și variațiile componentelor  $\Delta H_p$  și  $\Delta H_s$  a pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$ .

Din analiza acestor grafice rezultă că pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  descreșc continuu cu creșterea diametrului  $D$  al conductei respectiv cu creșterea raportului  $D/d$ . La valori reduse ale raportului  $D/d$  respectiv pentru  $D/d < 25$ , pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  cresc brusc cu descreșterea re-

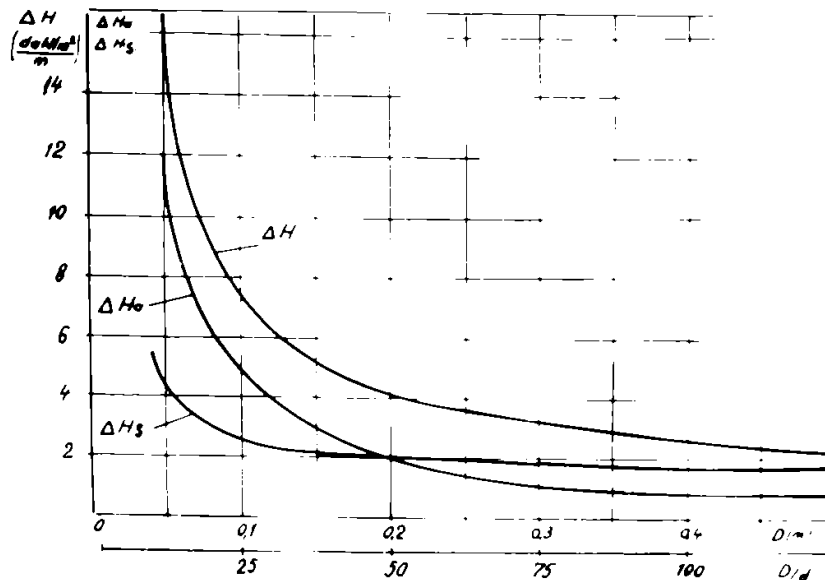


Fig.IV.56. Dependența pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de diametrul conductei  $D$

portului  $D/d$  respectiv cu descreșterea diametrului  $D$  al conductei. Pentru  $D/d > 100$  pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  au o descreștere neînsemnată cu creșterea raportului  $D/d$ . Pierderile specifice de presiune  $\Delta H_s$  cauzate de semințe, marchează o descreștere importantă o dată cu creșterea raportului  $D/d$  pentru valori ale raportului  $D/d < 25$ . Pentru  $D/d > 75$  descreșterea pierderilor specifice de presiune  $\Delta H_s$  este neînsemnată. Rezultă de aici importanța pe care o reprezintă alegerea diametrului conductei de transport în raport cu diametrul semințelor ce urmează a fi transportate.

**§6. Influența masei specifice a semințelor asupra pierderilor specifice de presiune**

Pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  cresc continuu cu creșterea masei specifice a particulelor transportate (fig. IV.57). Această dependență rezultată pe cale analitică în baza relației (IV.9) dedusă de autor, este în concordanță cu datele experimentale ale altor cercetători. Daisizio [68] a urmărit în mod special influența masei specifice  $\rho_m$  asupra pierderilor spe-

cifree de presiune  $\Delta H$  și a stabilit că pierderile specifice de presiune  $\Delta H_s$  cresc proporțional cu  $(\rho_m / \rho_a)^{0,33}$ .

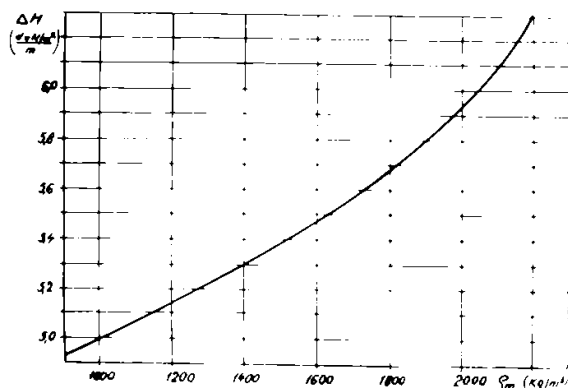


Fig. IV.57. Dependenta pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de  $\rho_m$

**§7. Influența masei specifice a aerului asupra pierderilor specifice de presiune**

Analizând relația (IV.9) dedusă de autor, rezultă că pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  depind de masa specifică  $\rho_a$  a aerului. Variația pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de masa specifică a aerului  $\rho_a$  dată de relația (IV.9) pentru cazul când  $\mu = 3$ , viteza curentului de aer  $v_a = 20$  m/s, diametrul conductei  $D = 142$  mm, diametrul particulelor  $d = 4,3$  mm și  $\rho_m = 1300$  kg/m<sup>3</sup> este reprezentată în graficul din fig. IV.58.

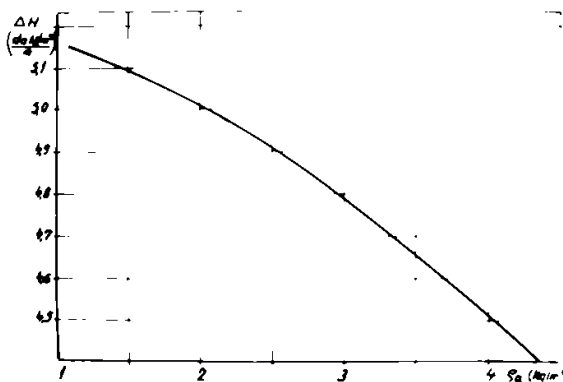


Fig. IV.58. Dependenta pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  funcție de  $\rho_a$

Din analiza graficului din fig. IV.58 rezultă că pierderile specifice de presiune  $\Delta H$  descresc continuu cu creșterea masei specifice  $\rho_a$  a aerului, ceea ce înseamnă că pierderile specifice de presiune la transportul pneumatic sub presiune sînt mai mici decît pierderile de

presiune la transportul pneumatic prin depresiune. Avantajele transportului pneumatic sub aspectul pierderilor specifice de presiune, din acest punct de vedere nu sînt semnificative, întrucît pentru cazul analizat la descreşterea pierderilor specifice de presiune  $\Delta H$  cu cca 12,9% corespunde o creştere a masei specifice  $\rho_a$  cu 400%.

### CAPITOLUL VIII

#### ANALIZA CONSUMULUI SPECIFIC DE ENERGIE ÎN CADRUL TRANSPORTULUI PNEUMATIC AL SEMINTELOR ÎN CONDUCTE ORIZONTALE

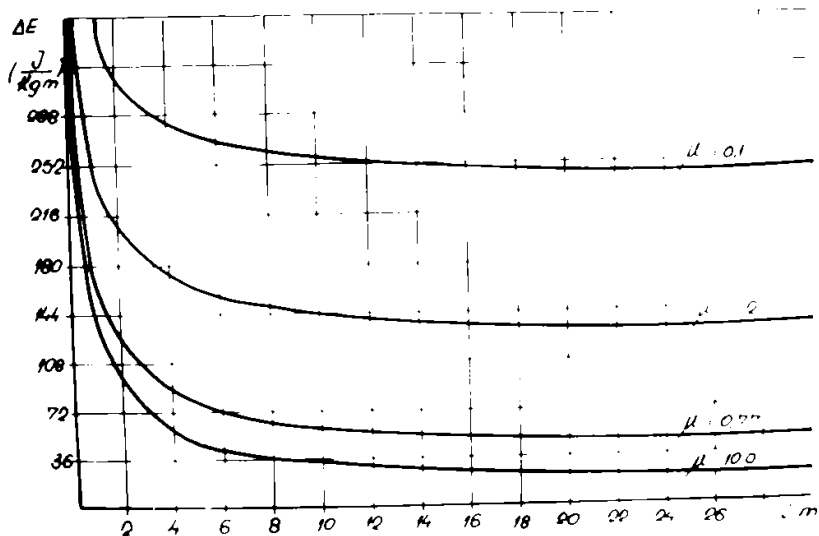
Dezvoltînd noţiunea de consum specific de energie sub forma prezentată, autorul urmăreşte să iniţializeze prin calcule analitice domeniile de variaţie a principalilor parametri ai procesului de transport pneumatic a seminţelor în conducte dispuse orizontal, corespunzătoare valorilor reduse ale lui  $\Delta E$  pentru care convenţional se va defini regimul optim de transport. Problema minimumului pentru consumul specific de energie  $\Delta E$  se poate rezolva numai pentru cazuri concrete, adică pentru instalaţii de transport cu traseu definit şi elemente cu rezistenţă hidraulică locală cunoscută.

În baza celor arătate se analizează consumul specific de energie numai pe porţiunea rectilinie a conductei de transport începînd de la secţiunea de alimentare, excluzînd pierderile de presiune în dispozitivul de alimentare, în secţiunea de intrare a aerului şi în dispozitivul de separare a seminţelor de curentul de aer întrucît aceste pierderi de presiune sînt legate de caracteristici proprii elementelor respec-

tive.

**51. Influența distanței de transport asupra consumului specific de energie**

Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de distanța de transport, după relația (II.105) stabilită de autor pentru cazul transportului semințelor de grâu în conducta cu diametrul  $D = 142$  mm la viteza curentului de aer  $v_a = 20$  m/s este reprezentată în fig.IV.59.



**Fig.IV.59. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de L**

Consumul specific de energie  $\Delta E$  ia valori foarte mari în zona orificiului de alimentare după care scade brusc pe măsură ce semințele sînt accelerate și treptat descreșterea consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de distanța de transport L devine mai lentă. În zona mișcării stabilizate descreșterea consumului specific de energie funcție de distanța de transport este aproximativ constantă. Dacă în cadrul rețelei de transport pneumatic sînt înserate multe coturi, după fiecare cot are loc o zonă de accelerare a semințelor respec-

tiv o zonă cu un consum specific de energie ridicat ceea ce duce pe ansamblul instalației la creșterea consumului total de energie. Este util ca o instalație de transport pneumatic să se conceapă cu cât mai puține coturi, iar ultimul cot să se racordeze la dispozitivul de separare a semințelor din curentul de aer, eliminându-se în acest fel o zonă de accelerare. De asemenea pentru condițiile analizate rezultă că distanța între coturi să nu fie mai mică decât lungimea zonei de accelerare, zonă care depinde de viteza medie a curentului de aer  $v_a$ , de natura semințelor și diametrul conductei. Practic, pentru valori ale vitezei curentului de aer  $v_a \in [16; 40]$  m/s și valori ale diametrului conductei  $D \in [0,1; 0,6]$  m distanța dintre două coturi consecutive nu trebuie să fie mai mică de 12 m.

## §2. Influența vitezei curentului de aer asupra consumului specific de energie

Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de viteza medie  $v_a$  a curentului de aer are o semnificație deosebită pentru cel care proiectează instalația de transport pneumatic întrucât alegerea valorii vitezei de lucru între limitele în care procesul de transport pneumatic este satisfăcut atât sub aspect cantitativ cât și sub aspect calitativ, este la dispoziția sa.

În graficul din fig. IV.60 s-a reprezentat variația componentelor consumului specific de energie  $\Delta E_m$  și  $\Delta E_a$  funcție de viteza curentului de aer  $v_a$  rezultată prin calcul după relația (II.105) stabilită de autor pentru cazul transportului pneumatic a semințelor de grâu într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm și lungimea  $L = 14,5$  m. Din analiza acestui grafic rezultă că  $\Delta E_m$  are valoare minimă la viteza  $v_a = 14$  m/s. Pentru valori ale vitezei curentului de aer  $v_a < 14$  m/s consu-

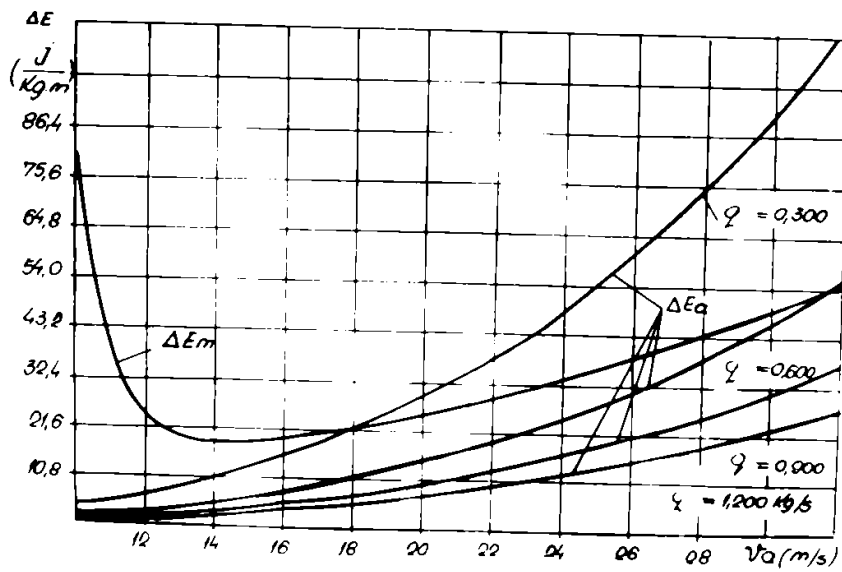


Fig.IV.60. Dependența  $\Delta E_m$  și  $\Delta E_a$  funcție de  $v_0$

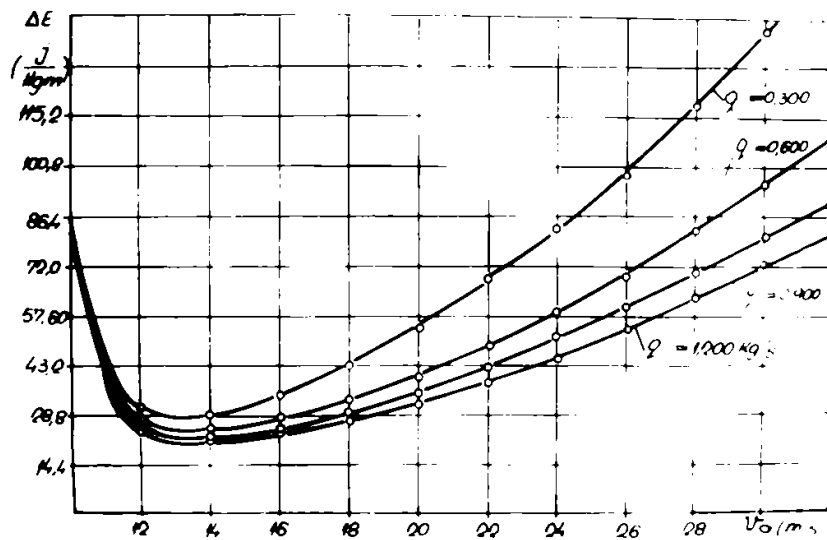


Fig.IV.61. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de  $v_0$  în cazul transportului pneumatic a semințelor de grâu

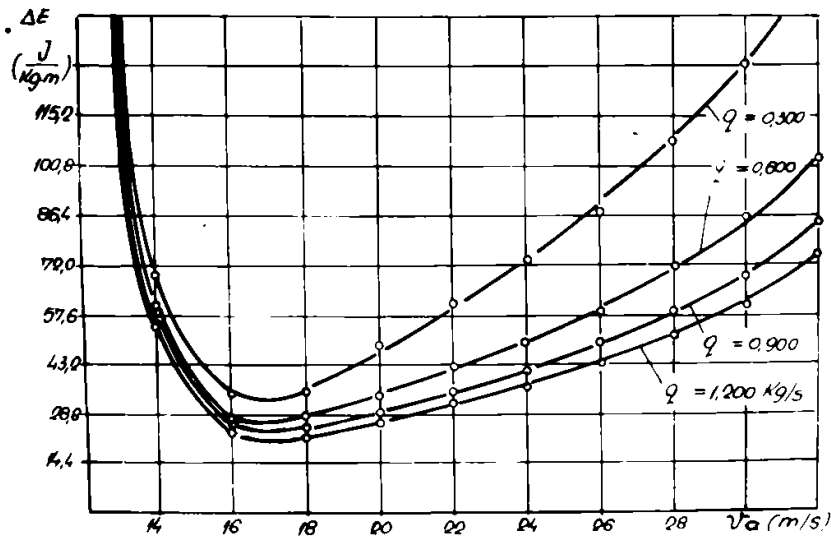


Fig. IV.62. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de  $v_a$  în cazul transportului pneumatic al semințelor de mazăre

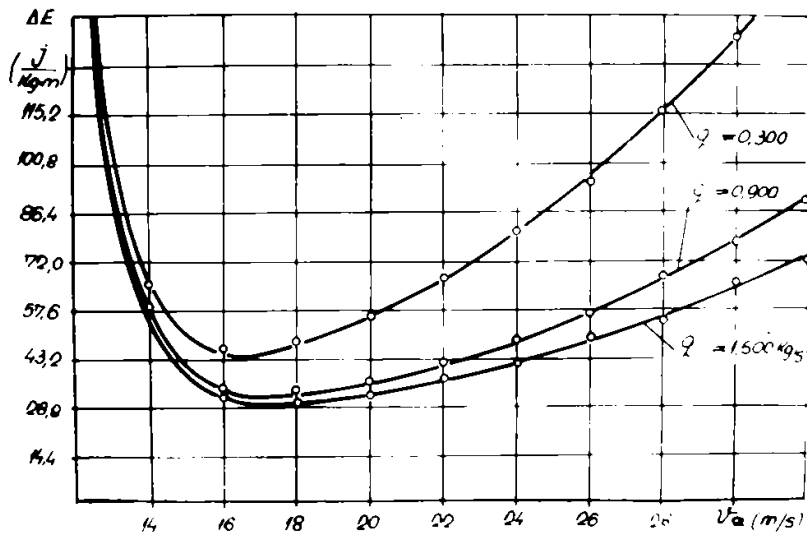


Fig. IV.63. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de  $v_a$  în cazul transportului pneumatic al semințelor de porumb



mul specific de energie  $\Delta E_m$  crește brusc cu descreșterea vitezei curentului de aer iar pentru valori ale vitezei curentului de aer  $v_a > 14$  m/s consumul specific de energie  $\Delta E_m$  crește lent cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de aer. Consumul specific de energie  $\Delta E_m$  nu depinde de debitul de alimentare cu semințe.

Consumul specific de energie  $\Delta E_a$  crește continuu cu creșterea vitezei curentului de aer și descrește pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer cu creșterea debitului de alimentare  $q$ .

Variația consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de viteza curentului de aer obținută în urma determinărilor experimentale ale autorului s-a reprezentat în fig.61 la IV.63. Experiențele s-au făcut cu semințe de grâu, mazăre și porumb într-o conductă orizontală cu diametrul  $D = 142$  mm și lungimea  $L = 14,5$  m și debite de alimentare cuprinse între 0,3 și 1,5 Kg/s.

Consumul specific de energie  $\Delta E$  scade brusc cu creșterea vitezei curentului de aer pînă la o valoare minimă caracteristică fiecărui fel de semințe și debit de alimentare după care crește cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de aer. Creșterea consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de viteza curentului de aer este mai accentuată la debite de alimentare mici. Valoarea minimă a consumului specific de energie  $\Delta E$  scade cu creșterea debitului de alimentare. Poziția minimumului consumului specific de energie corespunde la valori mai mici ale vitezei curentului de aer pentru debite de alimentare mici, respectiv la valori mai mari ale vitezei  $v_a$  a curentului de aer pentru debite de alimentare mai mari. Astfel, pentru conducte cu diametrul  $D = 142$  mm valoarea minimă a consumului speci-

fic de energie este la  $v_a = 13,2$  m/s pentru  $q = 0,3$  kg/s și la  $v_a = 14,6$  m pentru  $q = 1,2$  kg/s în cazul semințelor de grâu, la  $v_a = 16,8$  m/s pentru  $q = 0,3$  kg/s și la  $v_a = 17,4$  m/s pentru  $q = 1,2$  kg/s în cazul semințelor de mazăre și la  $v_a = 16,5$  m/s pentru  $q = 0,3$  kg/s și la  $v_a = 18$  m/s pentru  $q = 1,5$  kg/s în cazul semințelor de porumb.

La alegerea vitezei curentului de aer necesară pentru funcționarea instalației de transport pneumatic trebuie să se aibă în vedere că situațiile din stînga poziției minimului pierderilor specifice de energie sînt caracterizate printr-o funcționare instabilă. Pentru situațiile la care s-au efectuat determinări experimentale se indică ca domenii optime de variație a vitezei curentului de aer  $v_a \in [14; 16]$  m/s pentru semințe de grâu;  $v_a \in [18; 20]$  m/s pentru semințe de mazăre și semințe de porumb.

### §3. Influența diametrului conductei asupra consumului specific de energie

Literatura de specialitate nu cuprinde date satisfăcătoare cu privire la alegerea ariei secțiunii conductei de transport pe baza unor criterii raționale. Pawlowaki [150] este singurul care face o analiză asupra diametrului cel mai economic pentru conductele de transport pneumatic. Dar datele indicate de el nu sînt satisfăcătoare întrucît analiza făcută se referă numai la zona mișcării stabilizate. Totodată el a considerat că viteza particulelor nu se modifică o dată cu modificarea diametrului conductei pentru aceeași valoare a vitezei curentului de aer, fapt ce nu este corect. Autorul a demonstrat creșterea vitezei semințelor o dată cu creșterea diametrului conductei.

Rezolvînd relația (II.105) dedusă de autor, pentru

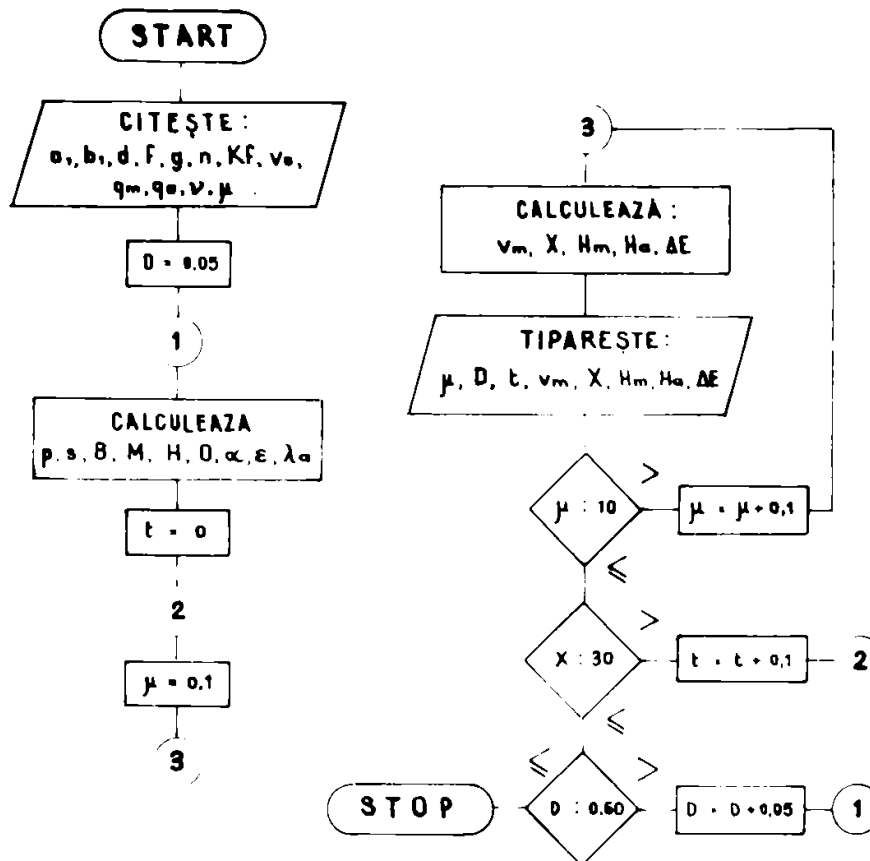


Fig. IV.64. Organigramă

diferite valori ale diametrului  $D$  se obține variația consumului specific de energie  $\Delta E$  în raport cu  $D$ . Autorul a făcut asemenea calcule cu ajutorul unui calculator electronic după organigrama din fig. IV.64.

Datele rezultate din calcule s-au reprezentat în fig. IV.65. Calculele s-au efectuat pentru cazul transportului pneumatic a semințelor de grâu cu diametrul  $d = 4 \text{ mm}$  și masa specifică  $\rho_m = 1350 \text{ kg/m}^3$  într-o conductă orizontală cu lungimea  $L = 30 \text{ m}$  la viteza curentului de aer  $v_a = 20 \text{ m/s}^3$ .

Din analiza graficului IV.65 rezultă o descreștere continuă a consumului specific de energie  $\Delta E$  o dată cu creșterea diametrului  $D$  respectiv a raportului  $D/d$ . Descreșterea

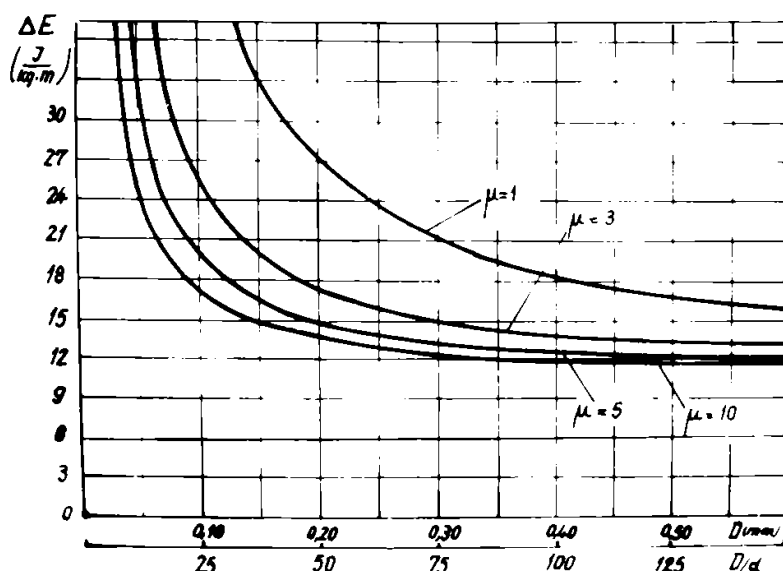


Fig. IV.65. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de diametrul conductei  $D$

consumului specific de energie  $\Delta E$  este mai accentuată la valori mici ale raportului  $D/d$  și neînsemnată la valori mari ale raportului  $D/d$ . Această diferențiere în descreșterea consumului specific de energie  $\Delta E$  este mai evidentă la valori ridicate ale concentrației gravimetrice.

Caracterul variației consumului specific de energie  $\Delta E$  care rezultă din fig. IV.65 pentru transportul pneumatic la viteza curentului de aer  $v_g = 20$  m/s se menține pentru toate valorile vitezei curentului de aer la care este asigurat procesul de transport pneumatic cu deplasarea semințelor în suspensie.

#### §4. Influența concentrației gravimetrice asupra consumului specific de energie

Variația teoretică a consumului specific de energie după relația (II.105) stabilită de autor, funcție de concentrația gravimetrică s-a reprezentat în fig. IV.66. Datele teoretice s-au calculat cu ajutorul unui calculator electronic

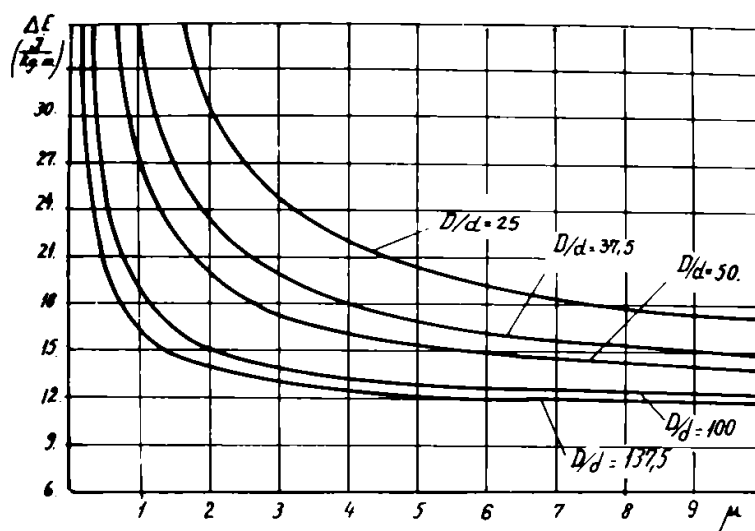


Fig.IV.66. Dependența consumului specific de energie  $\Delta E$  funcție de concentrația gravimetrică  $\mu$

după organigrama din fig.IV.64 pentru lungimea conductei de transport pneumatic  $L = 30$  m.

Consumul specific de energie  $\Delta E$  descrește continuu cu creșterea concentrației gravimetrice  $\mu$ . Această descreștere este mai accentuată la valori mici ale concentrației gravimetrice  $\mu < 1$  și pentru valori mari ale raportului  $D/d$  și devine neînsemnată la valori mari ale concentrației gravimetrice  $\mu$ .

Transportul pneumatic este neeconomic sub aspectul consumului specific de energie pentru concentrații gravimetrice  $\mu < 1$ . În cazul unor valori reduse ale raportului  $D/d$  consumul specific de energie este foarte ridicat și la valori mai ridicate ale concentrației gravimetrice  $\mu$ . Pentru cazul limită corespunzător condițiilor în care în mod practic se realizează transportul pneumatic cu deplasarea semințelor în suspensie  $\mu = 10$ , consumul specific de energie  $\Delta E$  pentru raportul  $D/d = 25$  este cu aproximativ 37,9% mai mare decât consumul specific de energie corespunzător raportului  $D/d = 100$ .

Pentru valori ale concentrației gravimetrice  $\mu > 3$  și ale raportului  $D/d > 100$ , descreșterea consumului specific de energie  $\Delta E$  prin creșterea valorii unuia dintre acești parametri, este nesemnificativă pentru necesitățile producției, iar pentru valori ale raportului  $D/d \leq 25$  și ale concentrației gravimetrice  $\mu < 2$ , consumul specific de energie crește foarte mult cu descreșterea unuia dintre acești parametri și procesul de transport pneumatic în aceste condiții este total neeconomic.

#### CONCLUZII GENERALE

Cercetările teoretice și experimentale ale autorului prezentate în cadrul tezei de doctorat se referă la teoria ~~fundamentată~~ a procesului de transport pneumatic al semințelor în conducte rectilinii dispuse orizontal privind: caracterul mișcării semințelor individuale și distribuția acestora în conducta de transport pneumatic; dinamica mulțimii de semințe transportate de curentul de aer; pierderile totale și specifice de presiune; consumul specific de energie; dependența acestora de parametrii procesului de transport pneumatic și condițiile optime sub aspectul consumului specific de energie și al calității transportului semințelor. În baza cercetărilor prezentate rezultă:

1. Autorul aduce completări originale la teoria procesului de transport pneumatic al semințelor în conducte rectilinii dispuse orizontal, privind dependența caracterului mișcării semințelor individuale funcție de caracterul

distribuției vitezei curentului de aer în secțiunea conductei în cazul curgerii turbulente și de mișcarea de rotație a seminței în jurul propriei axe;

2. În cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, autorul arată că semințele se deplasează atât în sensul de curgere a sistemului eterogen aer și semințe cât și pe direcție transversală. Deplasarea transversală a semințelor, în baza cercetărilor autorului, este generată de forța de gravitație și de forța portantă și are loc atât de la axa conductei către pereți cât și invers în funcție de valoarea și sensul forței portante. Autorul, a demonstrat pe cale analitică, completând astfel teoria procesului de transport privind mișcarea semințelor în curentul de aer, că, semințele transportate pneumatic în condiții asemănătoare se deplasează în mod diferit. Aceste rezultate teoretice ale autorului constituie o parte originală a lucrării și stau la baza cercetărilor teoretice și experimentale prezentate în lucrare;

3. Distribuția semințelor în secțiunea transversală a conductei de transport pneumatic este dependentă de valoarea și sensul forței portante și influențează condițiile de realizare a procesului de transport;

4. Autorul a demonstrat că valoarea și sensul forței portante, care acționează asupra semințelor individuale, depinde de neomogenitatea câmpului de viteze a curentului de aer, de poziția săminței față de perețele conductei, de viteza periferică și sensul de rotație a săminței în curentul de aer. Semințele care se rotesc în sensul acelor de ceasornic (în curentul ce curge în conductă de la stînga la dreapta) se deplasează către perețele inferior al conductei sub un unghi mare și se ridică în curentul de aer, după ciocnirea cu conducta, sub un unghi mic.

Semințele care se rotesc în sens trigonometric se deplasează către pereții inferior sub un unghi mic și se ridică în curentul de aer, după ciocnire cu conducta, sub un unghi mare. Autorul a demonstrat că, datorită acțiunii forței portante, forței gravitaționale și forței de rezistență a aerului, semințele vin periodic în contact cu pereții conductei iar deplasarea fiecărei semințe între două puncte succesive de contact cu conducta se face în mod diferit, după traiectorii cu forme diferite, în funcție de forma săminței, caracteristicile dimensionale și modul de repartizare a masei săminței, de proprietățile elastice și calitatea suprafeței săminței ș.a.;

5. În cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale autorul arată că semințele se deplasează atât în suspensie în curentul de aer cât și prin alunecare sau rostogolire pe pereții inferior ai conductei. Cantitatea de semințe aflată momentan pe pereții conductei scade o dată cu creșterea vitezei curentului de aer și micșorarea diametrului conductei.

Raportul între cantitatea de semințe aflată momentan pe pereții conductei și cantitatea totală de semințe din conductă, după cercetările autorului, este dependent de raportul între forța gravitațională și forța portantă;

6. Condiția limită la care se poate realiza transportul pneumatic în conductele orizontale cu deplasarea semințelor în suspensie în curentul de aer, este caracterizată de viteza critică, pentru calculul căreia autorul a stabilit relația (II.48). Viteza critică dată de relația (II.49) stabilită de autor, diferă de viteza de plutire caracteristică procesului de transport în conducte verticale și depinde de principalii factori ( $D$ ,  $\zeta_g$ ,  $d$ ,  $\zeta_m$ ,  $n$ ) care influențează procesul de transport pneumatic;

7. În lucrare autorul prezintă cercetări complete a-



supra dinamicii semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale și aduce completări originale privind influența frecării semințelor cu pereții conductei asupra procesului de transport pneumatic. Autorul a stabilit pe cele teoretică și a verificat sub aspect cantitativ, forțe de frecare echivalentă care acționează asupra mulțimii de semințe în cadrul transportului pneumatic. Relația (II.64) a forței echivalente de frecare a semințelor cu conducta, stabilită de autor, exprimă dependența cantitativă între această mărime, parametrii procesului de transport pneumatic ( $v_a$ ,  $D$ ,  $\rho_a$ ,  $n$ ,  $q$ ,  $v_m$ ) și caracteristicile fizico-mecanice ale semințelor ( $d$ ,  $\rho_m$ ,  $k_f$ );

8. În lucrare autorul arată că lungimea conductei corespunzătoare zonei de accelerare a semințelor în cadrul transportului pneumatic în conducte orizontale, depinde de viteza  $v_a$  a curentului de aer, de caracteristicile fizico-mecanice ale semințelor și de diametrul conductei. Lungimea de accelerare crește cu creșterea vitezei  $v_a$  a curentului de aer, cu creșterea diametrului echivalent și masei specifice a semințelor și cu descreșterea diametrului conductei.

Timpul de accelerare a semințelor descrește cu creșterea vitezei curentului de aer și cu creșterea diametrului echivalent al semințelor. La valori reduse ale vitezei curentului de aer corespunde o lungime de accelerare mică și timp de accelerare mare, ceea ce are ca efect aglomerarea semințelor și formarea depunerilor. Infundarea conductei de transport pneumatic cu semințe are loc în zonele de accelerare care sînt situate după secțiunea de alimentare sau după un cot al conductei;

9. Autorul a stabilit, pe cale teoretică, relațiile (II.77) și (II.78) pentru calculul vitezei mulțimii de semințe antrenată de curentul de aer în cadrul transportului pneumatic

in conducte orizontale, relații valabile atât pentru zona cu mișcare tranzitorie cât și pentru zona cu mișcare stabilizată. Originalitatea relațiilor stabilite de autor constă în faptul că, cuprind termenii aferenți influenței forței de frecare asupra mișcării mulțimii de semințe în conducta de transport pneumatic și exprimă analitic sensul fizic al fenomenelor hidromecanice în cadrul procesului de transport pneumatic;

10. Viteza medie a semințelor în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, dată de ecuațiile stabilite de autor, crește cu creșterea vitezei medii  $v_g$  a curentului de aer. Viteza medie a semințelor descrește o dată cu creșterea diametrului mediu echivalent și cu creșterea masei specifice a semințelor. Semințele cu diametrul mediu mic sînt accelerate mai rapid decît semințele cu diametrul mediu mare, ceea ce înseamnă că pericolul de infundare a instalației de transport pneumatic este mai accentuat în cazul semințelor cu diametrul mare.

Viteza medie a semințelor în cadrul zonei cu mișcare stabilizată, după datele autorului, crește brusc cu creșterea raportului  $D/d$  pentru  $D/d \leq 25$ . Pentru valori ale raportului  $D/d > 55$  creșterea vitezei medii a semințelor cu creșterea raportului  $D/d$  este neînsemnată;

11. Pentru calculul spațiului parcurs de mulțimea de semințe în cadrul antrenării lor de către curentul de aer, autorul a stabilit relațiile (II.82) și (II.84). Legătura între spațiul parcurs de semințe și viteza acestora se face prin intermediul timpului de deplasare a semințelor în condițiile transportului pneumatic.

Legile de mișcare ale semințelor stabilite de autor, concretizate prin relațiile (II.77), (II.73)<sup>(II.82)</sup> și (II.84) țin seama de parametrii procesului de transport ( $v_g$ ,  $D$ ,  $n$ ,  $\rho_g$ ), de re-

sistențele efective care influențează asupra deplasării semințelor, respectiv rezistențele datorită ciocnirii și rezistențele datorită frecării semințelor cu conducta, de proprietățile fizico-mecanice ale semințelor ( $d, f, \rho_m, k_f, \psi$ ) și exprimă sub formă analitică sensul fizic al procesului de transport pneumatic;

12. Autorul a stabilit, în cadrul cercetărilor teoretice, relațiile (II.89) și (II.90) pentru calculul pierderilor de presiune datorate antrenării semințelor de către curentul de aer în cadrul transportului pneumatic. Pierderile de presiune datorită semințelor s-au stabilit de autor ca efect al rezistențelor efective opuse de semințe la deplasarea lor de către curentul de aer. Relațiile (II.89) și (II.90) cuprind principalii factori care influențează procesul de curgere a amestecului de aer și semințe și sînt valabile atît în cadrul zonei cu mișcare tranzitorie cît și în cadrul zonei cu mișcare stabilizată;

13. Autorul a definit sub o formă originală consumul specific de energie în cadrul transportului pneumatic și apreciază că acesta este indicatorul principal în raport cu care se pot analiza sub aspect energetic diferitele instalații de transport pneumatic. Autorul a stabilit relațiile (II.101) și (II.105) pentru calculul consumului specific de energie, relații originale și care exprimă legătura fundamentală a acestui indicator cu parametri ( $v_g, D, \rho_a, v, n, d, \rho_m, q, f, k_f, \psi$ ) care influențează procesul de transport pneumatic în conducte orizontale;

14. În vederea verificării pe cale experimentală a rezultatelor teoretice, autorul a conceput, proiectat și realizat o instalație de transport pneumatic cu conducte orizontale, cu ajutorul căreia s-au putut determina, la valoarea naturală,

stii parametrilor procesului de transport cît și pierderile totale și specifice de presiune și consumul specific de presiune. Instalația concepută de autor a cuprins patru variante, două cu conducte cilindrice și două cu secțiunea dreptunghiulară. Instalația realizată este prevăzută cu dispozitive pentru reglarea vitezei curentului de aer, a debitului de semințe și este echipată cu prize pentru măsurarea presiunii statice cu prize pentru tub Pitot. Prizele de presiune statică sînt legate la un panou cu piezometre care s-a fotografiat în timpul încercărilor experimentale;

15. Autorul a conceput, proiectat și realizat un dispozitiv original pentru determinarea apăsării semințelor pe conductele de transport pneumatic. Dispozitivul realizat de autor constituie o noutate privind căile de investigare a procesului de transport pneumatic, este simplu, sigur în funcționare, ușor de manevrat, precis, întrucît este asociat cu celule dinamometrice electrotensometrice, amplificator electronic și un oscilograf cu înregistrare pe bandă fotosensibilă;

16. Autorul a conceput, proiectat și realizat un clasificator aerodinamic destinat sortării semințelor după proprietățile aerodinamice. Dispozitivul asigură separarea cu precizie a semințelor este simplu și robust;

17. Autorul a elaborat metoda experimentală pentru cercetările efectuate stabilind numărul necesar de repetiții pentru fiecare experiență în funcție de precizia indicată și a ales metodele adecvate pentru prelucrarea datelor experimentale;

18. Valorile numerice ale parametrilor procesului de transport pneumatic, calculate cu relațiile stabilite pe cale teoretică de autor, s-au obținut folosindu-se serviciile Centrului teritorial de calcul Timișoara. În acest scop autorul a

intocmit programele de calcul în limbaj „fortran”. Organigramele acestor programe sînt prezentate în lucrare;

19. În cadrul lucrării, autorul prezintă cercetările efectuate cu privire la determinarea pierderilor de presiune în condițiile transportului pneumatic a semințelor în conducte orizontale.

Pierderile de presiune în secțiunea de alimentare datorate semințelor, determinate de autor, sînt proporționale cu sarcina de stagnare corespunzătoare vitezei medii  $v_a$  a curentului de aer din conducte de transport pneumatic și cu coeficientul concentrației gravimetrice. Coeficientul de rezistență  $\xi_m$  în secțiunea de alimentare, determinat pe cale experimentală de autor, descrește brusc cu creșterea vitezei curentului de aer la valori reduse ale vitezei curentului de aer pînă la o valoare minimă caracteristică fiecărui fel de semințe, după care crește lent cu creșterea vitezei curentului de aer. Procesul de transport pneumatic se realizează în condiții bune, fără a fi pericolul infundării, cu semințe a roșelei de transport pneumatic în secțiunea de alimentare, dacă valoarea vitezei curentului de aer se alege egală sau mai mare ca valoarea vitezei  $v_a$  corespunzătoare valorii minime a coeficientului de rezistență  $\xi_m$ .

Pentru calculul coeficientului de rezistență  $\xi_m$  autorul a stabilit pe cale experimentală, relațiile (IV.4), (IV.5) și (IV.6) pentru semințe de grâu, semințe de mazăre și semințe de porumb. Asemenea relații nu sînt indicate în literatura tehnică de specialitate;

20. Pierderile de presiune totale la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale, după determinările autorului, cresc o dată cu creșterea distanței de transport. Creșterea pierderilor de presiune totale este mai accentuată imediat

după secțiunea de alimentare și treptat se uniformizează. Pierderile de presiune totale în zona mișcării stabilizate cresc aproximativ liniar cu creșterea lungimii conductei. Relațiile (II.89) și (II.90) pentru calculul pierderilor de presiune, deduse de autor, sînt verificate bine de rezultatele experimentale;

21. Autorul a efectuat determinări experimentale privind pierderile de presiune totale în conducte cu secțiunea dreptunghiulară și a stabilit că aceste pierderi de presiune sînt mai mari decît pierderile de presiune în conducte circulare, pentru aceeași viteză medie a curentului de aer, același debit de semințe și aceeași arie a secțiunii conductelor;

22. Autorul a stabilit că pierderile de presiune totale în conducte dreptunghiulare cu raportul laturilor secțiunii  $a/b = 1/2$  sînt mai mari decît pierderile de presiune totale în conducta cu raportul laturilor  $a/b = 2/1$  (pentru aceeași valori ale secțiunii conductei);

23. Cercetările experimentale ale autorului au arătat că pierderile de presiune totale la transportul pneumatic a semințelor în conducte orizontale cresc liniar cu creșterea debitului  $q$  de semințe atît la conductele circulare cît și la conductele de secțiune dreptunghiulară. Rezultatele experimentale ale autorului au verificat relațiile teoretice;

24. Cercetările teoretice și experimentale ale autorului au arătat că pierderile specifice de presiune descresc brusc cu creșterea vitezei medii a curentului de aer pînă la o valoare minimă, după care cresc cu creșterea vitezei curentului de aer. Valoarea minimă a pierderilor specifice de presiune la transportul pneumatic a semințelor în conducte orizontale, crește cu creșterea concentrației gravimetrice;

25. Pierderile specifice de presiune la transportul

pneumatic în conducte orizontale, după datele autorului, descreșo continuu cu creșterea raportului între diametrul conductei și diametrul echivalent al semințelor ( $D/d$ ). Pierderile specifice de presiune descreșo brusc cu creșterea raportului  $D/d$  pentru  $D/d < 25$ , descreșterea pierderilor de presiune este treptat tot mai moderată cu creșterea raportului  $D/d$  pentru  $D/d \in [25; 100]$  iar pentru valori ale raportului  $D/d > 100$ , pierderile de presiune descreșo neînsemnat cu creșterea raportului  $D/d$ ;

26. De asemenea cercetările teoretice și experimentale ale autorului au arătat că pierderile specifice de presiune la transportul pneumatic în conducte orizontale cresc continuu cu creșterea masei specifice a semințelor și descreșo cu creșterea masei specifice a aerului. Pierderile specifice de presiune la transportul pneumatic prin aspirație sînt mai mari decît la transportul pneumatic prin refulare;

27. Cercetările teoretice și experimentale ale autorului au arătat că, consumul specific de energie descrește o dată cu creșterea distanței de transport. Descreșterea consumului specific de energie este mai accentuată la valori mici ale distanței de transport și devine neînsemnată la valori mari ale distanței de transport. În vederea realizării unui consum specific de energie redus, pentru situații practice de transport pneumatic al semințelor la  $v_g \in [12; 40]$  m/s și  $D \in [0,1; 0,6]$  m distanța de transport minimă trebuie să fie mai mare de 12 m;

28. Consumul specific de energie, după datele autorului, scade brusc cu creșterea vitezei curentului de aer pînă la o valoare minimă, după care crește moderat cu creșterea vitezei curentului de aer. Valoarea minimă a consumului specific de energie scade cu creșterea debitului de alimentare. Valoarea vitezei curentului de aer corespunzătoare valorii minime a consu-

mului specific de energie constituie viteza optimă de transport pentru situația dată. Cercetările experimentale ale autorului au arătat că viteza optimă a curentului de aer este  $v_a \in [14; 16]$  m/s pentru semințe de grâu,  $v_a \in [18; 20]$  m/s pentru semințe de porumb și mazăre pentru conducta  $D = 142$  mm și  $\mu \in [1,5; 4]$ ;

29. Cercetările autorului au arătat variația consumului specific de energie în funcție de raportul  $D/d$ . Consumul specific de energie descrește brusc cu creșterea raportului  $D/d$  pentru valori mici ale acestuia și treptat desoreșterea lui devine neînsemnată la valori mari ale raportului  $D/d$ ;

30. Consumul specific de energie, au arătat cercetările autorului, descrește continuu cu creșterea concentrației gravimetrice. Această desoreștere este mai accentuată la valori mici ale concentrației gravimetrice  $\mu < 1$  și devine neînsemnată la valori mari ale concentrației gravimetrice.

În vederea realizării unui consum specific de energie redus, la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale se recomandă, în baza cercetărilor autorului, următoarele:

a. Lungimea minimă a porțiunii rectilinie a conductei de transport pentru principalele semințe să nu fie sub 12 m;

b. Diametrul conductei de transport să se aleagă în raport cu diametrul mediu al semințelor astfel ca raportul  $D/d$  să nu aibă valori sub 50. În cazul unor debite mari de transport și a unui volum mare de transport, se recomandă ca  $D/d > 100$ . Nu este indicat raportul  $D/d < 25$ ;

c. Concentrația gravimetrică  $\mu$  în cazul raportului  $D/d \in [25; 50]$  se recomandă să aibă valori mai mari decît 6. Pentru valori ale raportului  $D/d \in [50; 100]$  se recomandă concentrații gravimetrice  $\mu \in [4; 10]$ . În cazul unui volum mare de



transport și folosirii continue a instalației de transport când raportul  $D/d > 100$ , valoarea coeficientului concentrației gravimetrice se poate alege între 2 și 10 în funcție de caracteristicile sursei pneumatice. În cazul când  $\mu = 10$  pierderile de presiune totale sînt mari iar în cazul când  $\mu = 2$  pierderile de presiune totale sînt mai mici. Procesul de transport pneumatic se realizează în ambele situații cu un consum specific de energie redus. Nu este indicat ca procesul de transport pneumatic să se realizeze la o valoare a coeficientului concentrației gravimetrice  $\mu \leq 1$ .

d. Viteza curentului de aer să se aleagă corespunzător valorii minime a consumului specific de energie, rezultat din relațiile (II.101) sau (II.105).

Alegerea regimului de funcționare a instalațiilor de transport pneumatic corespunzător consumului specific de energie minim, calculat cu ajutorul relațiilor (II.101) (II.105) stabilite de autor, duc la reducerea consumului total de energie. Pentru o instalație de transport cu lungimea conductelor de  $L = 30$  m în cazul transportului semințelor de grâu la un debit de 10 t/h consumul de energie se reduce cu 21,5% pentru regimul optim de transport stabilit pe baza cercetărilor autorului față de consumul de energie pentru regimul de transport ales după indicațiile din lucrarea [68].

Tabel cuprinzând indicații asupra coeficientului  $\lambda_a$

Nr. crt.	R e l a t i a	Condiții de valabilitate	Conducte noi	Conducte folosite	Altsul [2]	Autorul și sursa bibliografică
1.	$\lambda_a = 0,118 D^{-0,269} (\gamma_{v,a})^{-0,148}$					Fritze [194]
2.	$\lambda_a = (1,82 \lg \frac{Re}{100} + 2)^{-2}$					
3.	$\lambda_a = 0,3164 Re^{0,25}$		$Re \in [10^3; 15^5]$			Blassius [54]
4.	$\lambda_a = 0,0056 + 0,500 Re^{0,32}$		$Re \in [3 \cdot 10^3; 3 \cdot 10^5]$			Koo [194]
5.	$\lambda_a = 0,00714 + 0,6104 Re^{0,35}$		$Re \in [2,32 \cdot 10^3; 6,3 \cdot 10^5]$			Lis, Iacob [197]
6.	$\lambda_a = 0,0054 + 0,396 Re^{0,3}$		$Re \in [4 \cdot 10^4; 3 \cdot 10^6]$			Schiller [197]
7.	$\lambda_a = 0,0032 + 0,221 Re^{0,237}$		$Re \in [10^4; 10^7]$			Nicuredze [197]
8.	$\lambda_a = 1,01 (\lg Re)^{-2,5}$		$Re \in [2,32 \cdot 10^3; 10^6]$			Mirm [197]
9.	$\lambda_a = 0,857 (\lg Re)^{-2,4}$		$Re \in [2 \cdot 10^4; 10^7]$			Iakimov [197]
10.	$\lambda_a = [2 \lg(Re \sqrt{\lambda_a}) - 0,8]^{-2}$		$Re \in [2 \cdot 10^4; 10^7]$			Keramen Prandtl [197] Nicuredze
11.	$\lambda_a = 0,266 [\lg(Re \sqrt{\lambda_a}) - 0,27]^{-2}$		$Re \in [10^5; 10^7]$			Keramen Nicuredze [197]
12.	$\lambda_a = 0,0032 + 0,221 Re^{0,237} + 32 Re^{-1}$		$Re \in [5 \cdot 10^3; 10^7]$			Nicuredze [197]

Tabel cuprinsind indiceții asupra coeficientului  $k$

Indiceții	Condiții de valabilitate	Autorul	Bibliografia
<u>Valori obținute pe cale experimentală</u>			
1. $k = 0,3 \div 0,6$	grfu	Gasterstaedt	202
2. $k = 0,32$	grfu	Spivacovskii	176
3. $k = 0,4$	grfu	Kruglov	67
4. $k = 0,06 \div 1,0$	grfu	Segler-Zelinski	67
5. $k = 0,2 \div 0,53$	grfu	Zelinski	68
6. $k = 0,4 \div 0,6$	talaș	Orlovski	176
7. $k = 0,7$	talaș	Korg	176
8. $k = 0,4 \div 1,4$	talaș- rumeguș	Kalinușkin	98
9. $k = 0,05 \div 0,15$	roci	Peter	176
10. $k = 0,8$	roci	Kliaciko	176
11. $k = 0,4$	carbune sfărâmat	VVI	67
12. $k = 1,52 \div 3,43$	bumbac brut	Drujev	67
13. $k = 1,4$	toloz	Diujev	68

Relatii deduse experimental

14.  $k = 0,15D \cdot v^{-1,25}$

D(mm)

MTIPP

112

Nr. crt.	Indicele	Condiții de valabilitate	Autorul	Bibliografia
15.	$k = 0(D-40)\sqrt{1,33}$	$0=0,16, v_p=(1+3) m/s$ $0=0,24, v_p=(3+6) m/s$ conducte verticale	Palțev	68
16.	$k = 0(D-30)\sqrt{1,5}$	$0=0,54, v_p=(1+3) m/s$ $0=0,65, v_p=(3+6) m/s$ conducte orizontale	Palțev	68
17.	$k = (A/\sqrt{g})^2$	$A = 16+23, n = 3+4$	Kalinuşkin	98
18.	$k = 1,25 Dv/\sqrt{m}$	conducte orizontale	Lobsev	67
19.	$k = 0,06\sqrt{v/\sqrt{m}}$	$0 = 0,06$ pt. $k > 0,08$ $0 = 0,16$ pt. $k < 0,4$	Smoldirev	175
20.	$k = (v/\sqrt{v})^2$		Kalişev	202
21.	$k = 0(v/\sqrt{v})^2$	$0 = \text{constantă}$	Lvovici	67
22.	$k = 0,33(v/20)^{-1,1}(D/0,2)^{-0,03}$	conducte orizontale	Strahovici	67
23.	$k = 0,17 \sqrt{Fra}$	$Fra = 0,004 + 0,025$	Smoldirev	176
24.	$k = 0,2$	pentru $Fra > 0,5$ $Fra = \frac{(v-v_{pe})^2}{g \cdot D}$	Smoldirev	176
Relatii experimentale realizate cu ajutorul teoriei similitudinii				
$v_{pe} = v_p \cdot m^2 (1-d/D)^2$				
$m = \text{intensitatea amestecării}$				

ANEXA I.2 (continuare)

Nr. crt.	Indice	Condiții de realizabilitate	Autorul	Bibliografie
25.	$k = \frac{0.10^4 \rho_a}{Re(d/D)^2 \rho_m}$	$D > 0,1 \text{ (m)}$	Vogt	202
26.	$k = 1,7 \cdot 10^{-2} \left( \frac{\rho_a}{\rho_m} \right)^{0,33} \left( \frac{D}{d_0} \right)^{1,56} \cdot Re^{0,33} \cdot Re^{0,31}$	Conducte verticale	Dziadzio	67
27.	$k = 1,9 \cdot 10^{-2} \left( \frac{D}{d_0} \right)^{1,23} Re^{0,92} Re^{0,65}$	Conducte orizontale	Dziadzio	68
28.	$k = 4,6 \cdot 10^{-4} \left( \frac{D}{d_0} \right)^{1,37} Re^{0,73} Re^{0,32}$	Conducte orizontale	Dziadzio	68
<u>Relevii deduse pe cale teoretică</u>				
29.	$k = \frac{v_a}{v_m} \frac{\lambda_m}{\lambda_a} \left( \frac{v_m}{v_a} \right)^2 \frac{dv}{dv} \frac{dv}{dy} \left( \frac{d}{d_0} \right)^2$	1 - lungimea de acitare $dv/dy$ - gradientul vitezei	Uspenski	197
30.	$k = \frac{f}{9 \lambda_a} \cdot \frac{I_1(y)}{I(y)} \cdot \frac{U^2}{v_a \cdot v_m}$	f-coeficientul de frecare; $I_1(y)$ , $I(y)$ -integrale definite depinzând de distribuția particulelor în secțiunea conductei; $v$ - viteza pulcatoriei medii a particulelor	Brounstein	33
31.	$k = \frac{\psi}{\lambda_a} \frac{v_a}{v_m} + \frac{2v/v_a}{\lambda_a^2 Re(v/v_a)} \cos \alpha$		Văvra	202

Tabel cuprinsind indicații asupra coeficienților  $\lambda$  și  $\lambda_{\text{max}}$

Nr. Indicație

Condiții de  
valabilitate

Autorul Bibliografia

1.	$\lambda_{\text{max}} = \frac{0,01 \mu}{R_0 \cdot 2,5}$	$D = 0,046 \text{ m}; d = (0,1-1,2) \text{ mm}$ $\mu < 1; k = 0,0216$	Tetirkin	65
2.	$\lambda_{\text{max}} = 9,4 \cdot 10^3 \nu_1^{0,7}$	$C_1 = \left( \frac{\mu}{R_0} \right)^{0,5}$ $C_1 = 1,6 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-7}$ $d_{\text{max}}$ - dimensiunea transversală la maxime a particulei	Sboldirev	173
3.	$\lambda_{\text{max}} = 0,07 \nu_2^{0,25}$	$C_1 = 1,6 \cdot 10^{-3}$ $C_2 = \left( \frac{\mu}{R_0} \right)^{2,2}$ $\Delta H = 4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^2$	Sboldirev	173
4.	$\lambda_{\text{max}} = 0,001 \nu_3^{0,25}$	$\Delta H = 4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^2$	Sboldirev	173
5.	$\lambda_{\text{max}} = 0,0001 \nu_4^{0,25}$	$\Delta H = 4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^2$	Ishstaki	108
6.	$\lambda_{\text{max}} = 0,0001 \nu_5^{0,25}$	$\Delta H = 4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^2$	Ishstaki	108
7.	$\lambda_{\text{max}} = 0,0001 \nu_6^{0,25}$	$\Delta H = 4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^2$	Demsta	190

0	1	2	3	4
8.	$\lambda_m = 8(\sqrt{8/\lambda_0} - 1,25\mu)^{-2}$		Uematu	192
9.	$\lambda_m = 0,0343 \frac{FR(1-C)^2}{C} \frac{D}{d_0} \frac{\rho}{\rho_m}$	$C = 1 - v_p f_c^{0,5} / v_a$ $f_c$ - coeficientul de frecare	Uematu	108
10.	$\lambda_m = 0,780 \frac{FR^{1,2}(1-C)^{1,5}}{Re^{0,5}C} \frac{D}{d_0} \frac{\rho}{\rho_m}$	$D$ 1,5	Uematu	108
11.	$\lambda_m = \left[ 1,7 \cdot 10^{-3} \frac{D}{d_0} \left( \frac{v}{\gamma_m} \right)^{1,33} Re \mu \right] \lambda_0$		Dziadziio	68
12.	$\lambda_m = \frac{2\sigma D}{v_p^2} \frac{(v_0 - v_m)^2}{v_a \cdot v_m}$		Relatii obtinute pe cale teoretică	
13.	$\lambda_m = \frac{v_m}{v_0} \lambda_0 + \frac{2\beta}{FR} \frac{\rho}{v_m/v_0}$		Adam	1
14.	$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{1 + FR \sqrt{\lambda_0/2}}$		Muschelkents	137
			Barth	17
			pentru conducte orizontale	

ANEXA I.3 (continuare)

0	1	2	3	4
15.	$\lambda_m = \frac{V_m}{V_a} \lambda_v + \frac{2}{Fr^2} \frac{V_a}{V_m}$	Barth	17	
16.	$\lambda_m = \lambda_0 \frac{V_m}{V_a} + \frac{2f_v V_a}{V_m}$	Günther	108	
			$\lambda_0 = 5 \sqrt{\mu} \cdot 10^{-3}$	
17.	$\lambda_m = \lambda_v \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - \lambda_v \frac{Fr^2}{2})(1 - Fr^2)}}{1 - \lambda_v \frac{Fr^2}{2}}$	Urban	194	
			pentru conducte verticale	
18.	$\lambda_m = \lambda_0 A \left( \frac{D}{d_0} \right)^2 \left( \frac{\rho_a \mu}{\rho_m V} \right)^k \frac{1}{k}$	Vogt	108	
			A=constantă determinată experimental	
19.	$\lambda_m = \frac{DV_m}{LV_m} \left[ C_1 \frac{4C_2}{0.1 - C_2} + \frac{4C_2}{1 - C_2} \right]$	Kikkawa	108	
			$C_1$ și $C_2$ sînt date de relațiile (I.31) și (I.32)	



## Zona de lucru a sistemului de material

Nr. denumirea parametrului	Sim-	U.M.	Materialul													
Ord.	bol		Orta	Porumb	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline	Masline
1.	Diametrul echivalent $d_e$	mm	4,27	5,0	7,10	1,14	3,44	6,1	2,70							
2.	Masa unei particule $m$	$10^{-3}$ gr	43,5	430	420	1,10	29,60	159,0	10,8							
3.	Masa specifică $\rho$	$kg/m^3$	1350	1310	1300	1420	1390	1340	1070							
4.	Masa volumică $\rho_v$	$kg/m^3$	760	750	830	831	817	834	607							
5.	Volumul specific liber $\epsilon$	%	43,7	20	40	41	41	38	43							
6.	Viteza de cădere $v_g$	m/s	8,7	12,5	132	5,05	9,7	11,5	6,5							
7.	Umiditatea relativă $w_r$	%	11,9	12,5	14,0	-	-	-	-							
8.	Coefficient de frecare $f_s$ statică pe tablă		0,42	0,43	0,31	0,38	0,32	0,25	0,35							
9.	Coefficient de frecare $f_d$ dinamic pe tablă		0,30	0,33	0,23	0,21	0,26	0,24	0,30							
10.	Coeff. de frecare dinamic $f_p$ pe HG		0,29	0,31	0,24	-	-	-	-							
11.	Coefficient de formă $K_f$		0,82	0,75	0,98	-	-	-	-							
12.	Coefficient de rezistență		-	-	-	0,54	0,64	0,67	0,50							

x) După datele din lucrarea [17]

xx) După datele din lucrarea [68]

ANEXA IV.2

Tabel cu valorile pierderilor de presiune H la transportul pneumatic al  
semințelor de grâu

Nr. crt.	Debitul de seminte $Q_m$ Kg/s	Pierderi totale de presiune H						
		viteza aerului $v_a = 14$ m/s	$v_a = 32$ m/s	Valori calcul- late	Valori experi- ment.			
		Valori calcul- late $(N/m^2)$	Dife- rențe %	Valori calcul- late $(N/m^2)$	Dife- rențe %			
1.	0,300	596	580 16	2,760	1481	1472 9	0,612	
2.	0,600	962	975 -13	-1,333	2020	1980	40	2,020
3.	0,900	1328	1350 -22	-1,630	2559	2500	59	2,360
4.	1,200	1694	1650 44	2,662	3098	3060	38	1,2420

ANEXA IV.3

Pierderile de presiune  $H_m$  la transportul pneumatic  
a semintelor de grâu pe distanța  $L = 12,0$  m

Nr. crt.	$v$ (m/s)	Conduc- ta cir- culară cu $D=$ 142 mm	Conduc- ta drept- ungh. 179x90 mm	Conduc- ta drept- ungh. 90x179 mm	$k_0$	$k_4$	$k_1$
0	1	2	3	4	5	6	7
$q_m = 0,300$ kg/s							
1.	14,0	33,30	40,10	39,10	1,204	1,175	1,025
2.	16,0	31,60	38,50	-	1,218	-	-
3.	18,1	32,40	41,70	40,70	1,286	1,256	1,024
4.	20	33,50	41,40	40,40	1,235	1,204	1,026
5.	22	35,00	43,70	42,70	1,250	1,220	1,025
6.	26	40,00	49,40	46,40	1,233	1,160	1,063
7.	28	42,80	54,70	52,70	1,286	1,230	1,046
8.	30	44,50	56,60	54,60	1,272	1,230	1,033
$q_m = 0,600$ kg/s							
9.	16	63,60	66,50	64,50	1,045	1,015	1,029
10.	18	62,40	68,70	64,20	1,100	1,030	1,065
11.	20	64,40	78,40	75,40	1,218	1,172	1,039
12.	22	69,00	84,70	82,70	1,228	1,200	1,024
13.	24	73,50	86,30	84,30	1,175	1,149	1,023
14.	26	81,00	-	85,90	-	1,062	-
15.	28	85,80	99,70	98,70	1,163	1,150	1,013
16.	30	90,50	108,60	106,60	1,200	1,178	1,020
$q_m = 0,900$ kg/s							
17.	18	95,40	98,70	-	1,035	-	-
18.	20	104,40	117,40	113,40	1,126	1,087	1,038
19.	22	111,00	125,70	121,70	1,133	1,096	1,036
20.	24	118,50	134,30	130,30	1,134	1,100	1,023
21.	26	129,00	144,90	140,90	1,122	1,090	1,030
22.	28	136,80	159,70	148,70	1,168	1,088	1,072
$q_m = 1,20$ kg/s							
23.	18	126,40	143,70	135,70	1,136	1,072	1,061
24.	20	131,40	154,40	147,40	1,176	1,124	1,047
25.	22	140,00	165,70	157,20	1,183	1,124	1,050
26.	24	143,50	178,30	174,30	1,202	1,175	1,024
27.	26	162,00	198,90	188,90	1,228	1,167	1,051

## B I B L I O G R A F I E

1. Adam O. - Feststoffbeladene Luftströmung hoher Geschwindigkeit - Chemie Ing.Technik nr.3/1957
2. Albright C.W.  
Halden J.H.  
Simons H.P. - Pressure drop in flow of dense coal-air mixtures.-Industr.Engng.Chem.nr.8/1951
3. Allen R.W. - Transportul pneumatic al făinii în vrac. Morărit și penificație. C.S. IDT nr.4/1965
4. Altsul A.D. - Zakon soprotivlenia truboprovodov- Doklady AN SSSR vol.76 nr.6/1951
5. Arjanikov I.S.  
Malțev V.N. - Aerodinamika. Moskva, Oborongiz, 1952
6. Arrivo A. - Caratteristiche dei prodotti agricoli in relazione de trasporto pneumatico. Macchini Motori Agricoli nr.4/1971
7. Arsee A. - Instalații de transport pneumatic pentru cereale. Transport intern uzinal. C.S. IDT nr.5/1957
8. Babuha G.L.  
Sraiber A.A. - Opređenje efecta soudarenii čiastiť Polifractionnogo materiala v dvuhcomponentnom potoke. Inžinerno Fizikii Jurnal Tom XIV nr.2/1968
9. Back O. - Pneumatischer transport von Schüttgut. Maschinenbeutechnik Heft 3/1955
10. Bannister H. - Theory and Design of Pneumatic Transport Systems I. Chemical Process Engineering nr.7/1959
11. Baranov I.V. - O dvijenii lnanogo voroha i semeianlna v pnevmotransportnih - Mehanizația i electriț. Soțial.s-h nr.3/1964

12. Baranov I.V. - Effectivnosti pnevmaticheskogo transportirovaniya semia lina. Doklady VASHNIL nr.2/1965
13. Barba V.  
Fană St.  
Gionea I.  
Mustșă M. - Realizarea și experimentarea laboratorului mobil pentru efectuarea măsurătorilor pe cale electrică a mărimilor neelectrice la tractoare și mașini agricole la lucrările de câmp. Lucrări științifice I.C.M.A. vol.X/1965
14. Barth W. - Strömungstechnische Probleme der Verfahrenstechnik - Chemie Ing.Technik nr.1/954
15. Barth W. - Neuere Untersuchungen über die Vorgänge bei der pneumatischen Förderung- Die Mühle nr.36/1954
16. Barth W.  
Nagel R. - Neuer Verfahren zur Bestimmung der augenblicklich geförderten Gutmengen in Luftstrom bei pneumatischer Förderung - Chemie Ing.Technik nr.9/1957
17. Barth W. - Strömungsvorgänge beim Transport von Festteilchen und Flüssigkeitsteilchen in Gasen mit Berücksichtigung der Vorgänge bei pneumatischer Förderung. Chemie Ing.Technik nr.3/1958
18. Barth W. - Physikalische und wirtschaftliche Probleme des Transportes von Festteilchen in Flüssigkeiten und Gasen. Chemie Ing.Technik nr.3/1960
19. Barth W. - Der Druckverlust bei der Durchströmung von Füllkörpersäulen mit und der Beisung. Chemie Ing.Technik nr.3/1960
20. Barth W. - Abscheidung von Flüssigkeitsebenen und Tropfen aus Gasen. Allgemeine Wärmetechnik nr.9/1960
21. Barth W. - Absetzung, Transport und Wiederaufwirbelung von staubförmigem Gut im Luftstrom. Chemie Ing.Technik nr.3/1963

22. Basnakian G.A. - Pnevмотransпорт семя при высокой и концентрации материала в смеси. Тракторы и сельскохозяйственные машины nr.12/1965
23. Basnakian G.A.  
Kovaleva E.A. - Исследование явления срыва парового потока зерна в пневмотранспортере. Механиз. и Электриф. Социал.-х nr.11/1969
24. Batel W. - Veber die Haftfähigkeit trockener feinkörnigen Stoffe. Chemie Ing.Technik nr.31/1959
25. Bautner L.M.  
Pozin M.L. - Metode matematice în tehnica chimică (trad. din limba rusă)- Ed.Tehnică, București, 1956
26. Bădescu R.  
Maican C. - Integrale utilizate în mecanică, fizică, tehnică și calculul lor. Ed. Tehnică, București, 1968
27. Bärgläsan A.  
Anton I.  
Anton V.  
Preda I. - Incercarea mașinilor hidraulice și pneumatice - Ed.Tehnică, București, 1959
28. Bild A. - Pneumaticka doprava II - Studijní předklad ZVVZ Milvsko, 1962
29. Binko J. - Fyzikální a technické veličiny SI SNTL Praha, 1964
30. Bode C.  
Schulz W. - Untersuchungen über den schwerkrafteinfluss beim horizontalen pneumatischen Transport. Chemie Ing.Technik nr.11/1965
31. Bohmet M. - Experimentelle und theoretische Untersuchungen über das Absetzen, das Aufwirbeln und den Transport feiner Staubteilchen in pneumatischen Förderleitungen V.D.I. Forschungsheft 507/1965
32. Borodai V.I. - Nekotore voprosi ocistiki zerne vozduhom- Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia” nr.4/1964

33. Brounstein B.I.  
Tedes O.M. - Osnovi teorii pnevmaticheskogo transporta. Jurnal Tehniceskaja Fizika nr.1/953 Tom XXIII
34. Buevici Iu.A. - Fluctuații cisa clastiț v plotnih disperanih sistemah. Injineri-fiziki Jurnal Tom XIV nr.3/1968
35. Bahrke H. - Elementare Bewegungsvorgänge bei der pneumatischen Förderung in wagerechten Leitungen. Chemie Ing.Technik nr.11/966
36. Bulat A. - Instalații de transport pneumatic- Ed. Tehnică București, 1962
37. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări privind dinamica semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.4/1973
38. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări privind realizarea unei instalații pentru studiul transportului pneumatic al semințelor. Caiet selectiv al lucrărilor de colaborare cu producția I.P.T., 1972
39. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări privind determinarea coeficientului de rezistență locală în secțiunea de alimentare cu semințe a instalației de transport pneumatic. Caiet selectiv de colaborare cu producția I.P.T., 1972
40. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări privind domeniul de dozare uniformă a semințelor la dispozitivul de alimentare tip ecluză folosit în construcția transportoarelor pneumatice. Caiet selectiv al lucrărilor de colaborare cu producția I.P.T., 1972
41. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări privind determinarea coeficientului de rezistență al colectorului de aspirație cu profil lemniscata lui Bernoulli. Caiet selectiv al lucrărilor de colaborare cu producția, IPT, 1972

42. Căproiu St.  
Dănilă I. - Dispozitiv pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă în timpul transportului pneumatic. Caiet selectiv al lucrărilor de colaborare cu producția. I.P.T., 1972
43. Căproiu St.  
Dănilă I. - Determinarea caracteristicilor de debit a dozatorului de tip ecluză folosit în construcția transportoarelor pneumatice. Mecanizarea și electrificarea agriculturii nr.6/1973
44. Căproiu St.  
Dănilă I. - Determinarea pierderilor de presiune în secțiunea de alimentare cu semințe a instalațiilor de transport pneumatic. Mecanizarea și electrificarea agriculturii nr.7/1973
45. Căproiu St.  
Dănilă I. - Transportul pneumatic al semințelor în conducte rectilinii dispuse orizontal. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.2/1973
46. Căproiu St.  
Dănilă I. - Cercetări teoretice și experimentale asupra pierderilor de presiune la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.4/1973
47. Căproiu St.  
Dănilă I. - Contribuții teoretice și experimentale privind consumul specific de energie la transportul pneumatic al semințelor. Prezentată în sesiunea de comunicări științifice a cadrelor didactice Facultatea de mecanică agricolă- aprilie, 1973
48. Cășăndroiu T.  
Segăreșanu M. - Studiul comportării la ciocnire a semințelor de porumb. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.3/1971
49. Chancellor W.J. - Influence of particle movement on energy losses in an impeller blower- Agricult. Engng. nr.2/1960



50. Chancellor W.J. - Relations between air and solid particles moving upward in a vertical pipe. Agricultural Engineering nr.3/1960
51. Chaud P.  
Ghosch D.P. - Dynamics of Particles under Pneumatic conveyance. Journal of Agric.Engng. Res.nr.1/1968
52. Chaud P.  
Ghosch D.P. - Critical Analysis of Pressure Drop under Pneumatic Conveyance of Solids - Journal of Agric. Engng. Res. nr.1/1968
53. Ciurikov P.A.  
Golsev D.S. - O pnevmaticheskom transportirovanii mineralnih udobrenii - Tractori i selhozmasini nr.6/1971
54. Clark R.H.  
Charles D.E.  
Richardson J.F. - Pneumatic Conveying part.I. Trans. Instn. Chem.Engrs. vol.30/1952
55. Collins N.L. - Pneumatic Conveying of chopped forage. Trans. ASAE nr.2/1965
56. Crane J.W.  
Carleton W.M. - Predicting Pressure Drop in Pneumatic Conveying of Grains - Agricultural Engng. nr.3/1957
57. Dănilă I.  
Căprioiu St. - Pierderea de presiune prin frecare la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.2/1973
58. Derevackin A. - Construirea și exploatarea transportoarelor pneumatice pentru evacuarea guno-ului de grajd. Mașini agricole CS-IDT nr.18/1968
59. Dogin M.E.  
Lebedev V.P. - Dependence of Resistance in Pneumatic Conveying Pipeline on the fundamental parameter of two phase flow. Trans.Instn. Chem.Engng. nr.2/1962
60. Dogin M.E. - Issledovanie vertikalnogo stabilizirovannogo potoka gazovzvesi. Inzhinerno-Fiziceskii jurnal Tom XIX nr.5/1970

61. Doig I.D.  
Reper G.H. - The minimum gas rate for dilute phase solids transportation in a gas stream. Austral Chem.Engng. nr.1/1963
62. Doig I.D.  
Reper G.H. - Energy requirements in Pneumatic Conveying. Austral. Chem.Engng. nr.2/1963
63. Dorfman E. - Pnevmaticheskii transport zerna i produktov ego pererabotki- Mlekoizdat, Moskva, 1960
64. Dziadzio A.M.  
Kemmer A.S. - K voprosu ob opredelenii skorosti vitanis ciastit. Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia“ nr.2/1958
65. Dziadzio A.M. - K voprosu o gidrodinamike pnevmaticheskogo transporta. Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia“ nr.4/1959
66. Dziadzio A.M.  
Kemmer A.S. - Pnevmaticheskii transport zernovih produktov v gorizontálnih trubah. Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia“ nr.3/1960
67. Dziadzio A.M. - Pnevmaticheskii transport na zernopererabativaiuscih predpriatiah. Zagotizdat, Moskva, 1961
68. Dziadzio A.M.  
Kemmer A.S. - Pnevmaticheskii transport na zernopererabativaiuscih predpriatiah. Izdatelstvo „Kolos“, Moskva, 1967
69. Fainberg S. - Instalatiie pnevmatică pentru transportul deșeurilor. Morărit și penificatiie C.S. IDT nr.5/1963
70. Farbar L. - Flow characteristics of solid-gas mixtures in a horizontal and vertical circular conduit. Industr. Engng.Chem. nr.6/1949
71. Farmer S. - Transportul pneumatic al cerealelor in Germania. Power Farm tom.30 nr.10/1969
72. Fateev M. - Pnevmaticheskii transport. Tehnik seliskohoziaistvenie nr.3/1969
73. Fadeev I.P. - Skorosti Ciapli condensata v asevon zogore turbionnoi stupeni. Izvestia VUZ „Energetice“ nr.4/1961

74. Fischer J. - Transportul pneumatic în rezolvarea problemelor de manipulare. Transport intern și depozitare. C.S. IDT nr.9/970
75. Flatt W. - Aerul ca element de transport. Morărit și panificație. C.S. IDT nr.12/1967
76. Flatt W.  
Allenspach W. - Erhöhen der Förderleitung und Verbessern des Wirkungsgrades pneumatischer Förderanlagen. Chemie.Ing.Technik nr.21/1969
77. Garrett R.E.  
Brooker E.B. - Aerodynamic Drag of farm grains. Trans. ASAE nr.1/1965
78. Ghosch D.P.  
Kalyanaraman K. - Pressure Drops due to Solids Around Horizontal Elbow Bends during Pneumatic Conveyance. Journal Agric.Engng.Res.nr.2/1970
79. Gluth M. - Untersuchungen zur Wurfgelbförderer. VDI-Forschungsheft nr.544/1971
80. Goldschmidt W. - Udar, teoria i fizicheskie svoistva sekundarnih tel. Izd.literaturi po stroitelstvu, Moskva, 1965
81. Goncarevici I.F. - O soprotivlenii dvizheniâ po truboprovodu pri pnevmatichescom transportirovanii. Izvestia AN SSSR OTN nr.7/1955
82. Gorbis Z.R.  
Spocoinii F.E. - Raschet prodolenogo raspredelenia istinnoy koncentracii v vertikalnykh potokakh gazovzvesi. Inzhinerno Fizicheskiy Jurnal Tom XV nr.4/1968
83. Gribovskii K.A.  
Ermolin M.Is. - Raschet skorosti vitania zeren selskohoziastvennykh kultur. Vestnik selskohoziastvennoi nauki nr.8/1968
84. Gurviț A.A. - K voprosu o dvizhenii tverdei ciastiț v potoke gaza. Izvestia VUZ „Energetika“ nr.8/1963
85. Günther W. - Untersuchungen über die Druckverluste in pneumatischen Förderleitungen und Beitrag zur Berechnung der Druckverluste mit besonderer Berücksichtigung des Fördervorganges in Beharrungszustand. Diss. Techn.Hochschule Karlsruhe, 1957

86. Günther F. - Transportul pneumatic al materialelor în vrac și în special a amidonului. Industria prod.alim. și veget. CS. IDT nr.8/1962
87. Hariu O.H.  
Malsted M.C. - Pressure drop in vertical tubes in transport of solid by gases. Industr.Engng. Chem. nr.6/1959
88. Harris W.L. - Design Data of Pneumatic Conveying of Chopped Forage. Trans. ASAE nr.2/1965
89. Hitchcock J.A.  
Jones C. - The Pneumatic Conveying of spheres through Straight Pipes - Brit.Journal Appl. Phys. nr.6/1958
90. Hlobustov N.M. - Opređenje optimalnoi dlini trubi zernopulta i skorosti tel v naclonnom potoke-Traktor i selhozmasini nr.2/1969
91. Hudakov G.N. - O dvijeni tverdih ciasti v gazovesi - Izvestia AN-SSSR OTN nr.7/1953
92. Hudakov G.N. - K voprosu o dvijenie tverdih ciasti v gazovom potoke. Dokladi AN SSSR nr.4/951
93. Hunt W.A.  
Hoffman I.C. - Optimization of Pipelines Transporting Solids. Journal of the Pipeline Division SUA nr.1/1968
94. Juharev E.A. - Izmerenie skorosti dvijenja ciasti sipucih materialov v truboprovodah pnevmaticeskogo transporta. Injinerne Fiziceskii jurnal nr.1/1959
95. Juharev E.A. - Experimentalnoe issledovanie haracter dvijenja ciasti v truboprovodah transporta. Injinerne-Fiziceskii Jurnal nr. 2/1959
96. Jung R. - Der Druckabfall im Einlaufgebiet pneumatischer Förderanlagen. Forsch.Ing.Wes. nr.2/1958
97. Kalinușkin M.P. - O vintovom dvijenie v truboprovodah- Izvestia AN SSSR OTN nr.3/1952
98. Kalinușkin M.P.  
Orlovskii Z.B.  
Segal I.S. - Pnevmaticeskii transport v stroitelstve. Gosstroizdat Moskva, 1961

99. Kampf G. - Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Wurfgebläsen. VDI. Forschungshett 466
100. Karlinski Z.I. - Effectivnaia oblasti primerenia pnevmokonveirov. Mehaniz. i avtomatiz. proizvodstvo nr.3/1971
101. Karpov A.I. - Experimentalnoe issledovanie skorosti ciasiť i soprotivlenii pri pnevmotransporte metodom radioaktivnih indikatorov. Izvestia VUZ „Energetika“ nr.3/1961
102. Kemmer A.S.  
Dziadzio A.M. - Nomogrami dlia rasceta truboprovodov gorizontalnogo pnevmaticeskogo transporta. Izvestia VUZ „Piscevaia tehnologia“ nr.3/1962
103. Kemmer A.S.  
Dziadzio A.M. - Analiz energoemcosti gorizontalnogo pnevmaticeskogo transporta - Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia“ nr.4/1962
104. Kemmer A.S.  
Dziadzio A.M. - Rascet skorosti vitania v svobodnih i stesnennih usloviah - Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia“ nr.5/1962
105. Kemmer A.S. - Despre rezervele ce apar la proiectarea instalațiilor de transport pneumatic din mori. Morărit și panificație CS-IDT nr. 8/1965
106. Kemmer A.S. - Posibilitatea de reducere a consumului de energie în morile cu transport pneumatic. Morărit și panificație CS-IDT nr. 12/1963
107. Kikkawa Sh. - Research an the Pneumatic Conveyance of Densely Concentrated Solid Particles in a Horizontal Pipes. Bulletin of JSME nr.24/1963
108. Kikkawa Sh.  
Utsumi R.  
Sakai K.  
Nutaba T. - On the Pressure Drop and Clogging Limit in the Horizontal Pneumatic Conveyance Pipe. Bulletin of JSME nr.32/1965

109. Kiricenko Iu.E. - Kontrol dvijenia i izmerenia rashoda sipucih dielektriceskih materialov v zakritih truboprovodah. Izmeritel'naja Tehnika nr.2/1971
110. Korn A.M. - Teoreticeskie predposlki usoveršenstvovanija pnevmotransporterov zerna. Trudf VIM nr.32/1963
111. Korn A.M. - O prirode sil vžešivajesich zerno pri gorizontalnem pnevmotransportirovanie. Dokladi VASHNIL nr.4/1964
112. Korobov M.M. - Pnevmo i gidrotransport v piscevaia promišlenosti. Gostehleizdat Kiev, 1963
113. Korobov M.M. - Issledovanie napornogo gidrotransporta iacemena. Izvestia VUZ „Piscevaia Tehnologia" nr.4/1964
114. Koskuba K. - Prispivek k praktike aerodinamice obil'nogo zrna I. Zemedelska Tehnika nr.4/1962
115. Koskuba K. - Prispivek k praktike aerodinamie obil'nogo zrna II. Zemedelska Technika nr. 5/1963
116. Kovács L. - Berechnung des Druckabfalls in  $90^\circ$  horizontal eingebauten Krümmern pneumatischer Getreideförderleitungen. Acta. Tech.Hung.nr.4/1964
117. Kovács L. - A pneumatikus szállítás néhány hasznosítási kritériuma. Gép. R.P.U. nr.3/1970
118. Kriegel E. - Bazele transportului hidraulic al materialelor solide cu granulație fină. Transp.intern depozitare CS-IDT nr.7/1969
119. Kriegel E. - Procedee de transport hidraulic al materialelor solide cu granule mici. Transp.intern depozitare CS-IDT nr.8/1969

120. Kriegel B.  
Brauer H. - Hydraulischer Transport körniger Feststoffe durch waagerechte Rohrleitungen. VDI Forschungshefte 515
121. Kuzmin B.A. - Provisenie proizvoditelnosti pnevmotransportera. Mehanizația i Electrifi. s-h nr.5/1966
122. Lagne H. - Transportoare pneumatice pt.boabe în agricultură. Mecanizarea agriculturii CS-IDT nr.2/1966
123. Lehrke W.D. - Conducte de transport pneumatic pentru materiale abrazive în vrac. Transp.intern depozitare. Doc.selectivă IDT nr.10/1971
124. Lempp M. - Physikalische und Wirtschaftliche Probleme der pneumatischen Förderung. Hebezeuge und Fördermittel nr.1/1961
125. Lipov I.  
Fateev M. - Transportul pneumatic. Trec. și mașini agricole CS-IDT nr.11/1961
126. Lippert A. - Die Staub-Luft-Förderung von Pulven und Schüttgütern mit hohen Gutkonzentrationen im Gasstrom. Diss.Techn.Hochschule Karlsruhe, 1966
127. Liševski A.S. - Dvijenje jidkih capeli v gazovom potoke. Izvestia VUZ „Energetica” nr.7/1963
128. Lobaev B.N. - Rasčet vozduhoprovodov. Gosstroizdat, Kiev, 1959
129. Malakauskas M. - Transportoare pneumatice. Tractoare și mașini agricole. CS-IDT nr.9/1962
130. Makuch F. - Rentabilizarea transportului pneumatic al produselor intermediare de la măcinare. Morărit și panific. CS-IDT nr.12/1963
131. Mateescu C. - Hidraulica. Editura Didactică și pedagogică, București, 1963
132. Mehta N.C.  
Smith J.M.  
Cominge E.W. - Pressure Drop in Air-Solid flow systems. Indus. Engng.Chem. nr.6/1957

133. Modiga M.  
Dănilă I.  
Ionescu N.  
Fitero L. - Cercetări asupra transportului pneumatic a semințelor în conducte cu lungime mică dispuse vertical. Studii și cercetări de mecanică agricolă nr.4/1970
134. Montarov. E. - Elaborarea unei teorii asupra transportului pneumatic. Transp.intern și depozitare CS-IDT nr.10/1968
135. Morev N.E. - Calculul conductelor de făină la instalațiile de transport pneumatic. Morărit și panificație CS-IDT nr.3/1963
136. Morikawa Y.  
Uematu T.  
Cho K.  
Morikuni I.  
Asada Y.  
Yamamoto H. - Pneumatische Förderung in lotrechter Rohrleitung. Bulletin of JSME nr.31/1965
137. Muschelknautz E. - Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Druckverluste pneumatischer Förderleitungen. VDI Forschungshefte nr.476/1960
138. Muschelknautz E.  
Krambrock W. - Vereinfachte Berechnung horizontaler pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gutbeladung mit feinkörnigen Produkten. Chemie Ing.Techn. nr.21/1969
139. Müller W. - Formele de curgere ale transportului pneumatic. Transp.intern uzinal CS-IDT nr.8/1967
140. Nagel R. - Das pneumatische Fördern Trocknen und Kühlen. Maschinenmarkt nr.70/1964
141. Oetiker A. - Cercetări fundamentale asupra dinamicii aspirației verticale în conducte de aspirație. Morărit și panific. CS-IDT nr. 8/1968
142. Quack R. - Messung der Staubkonzentration bei der pneumatischen Förderung. Brennstoff Wärme Kraft nr.11/1959



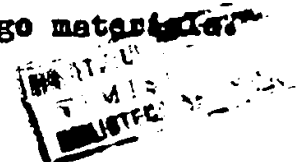
143. Owen P.R. - Pneumatic transport. Journal Fluid Mechanics (Anglia) vol.39 nr.2/1969
144. Palțev V.  
Volodin V. - Pierderea de presiune pentru învingerea frecării la transportul pneumatic pe verticalăne produselor cerealiere. Morărit și panificație nr.2/1966
145. Pápai L. - Pneumaticus gabonassállitas. Hungarian Bulletin nr.XII (1-4) of the department IV Hung.Academy of Sciences, 1954
146. Pápai L. - Examination of the starting section in pneumatic grain conveying. Acta.Techn. Hung.Tom XIV fasc.1-2, 1956
147. Pápai L. - O instalație de transport pneumatic în secția de curățire de la moară. Morărit și panificație CS-IDT nr.7/1963
148. Pasațkii N.V.  
Sironiatnikov N.I. - K rascetu parametrov dvuhfaznoi smesi pri tecenii v canale peremennogo sece-nia. Injinerne Fiziceskii Jurnal. Tom XIV nr.4/1968
149. Pattentyus G.A. - Pneumatic conveying. Acta Techn.Hung. Tom.8 fasc.1-2/1954
150. Pawlowski J. - Diametrul cel mai economic al conductelor folosite la transportul pneumatic. Morărit și panific. nr.12/1961
151. Pentikovski M.V. - Nomograme (trad. din l.rusă)- Ed.teh-nică, București, 1956
152. Penzes I. - Transportul produselor cu presiune de ser. Morărit și panificație nr.7/1964
153. Pinkus O. - Pressure Drops in the Pneumatic Conve-yance of Solids. J.Appl.Mech. nr.12/952
154. Pırskal H.  
Neumayer W. - Citeva considerații cu privire la in-stalațiile de transport pneumatic prin presiune. Morărit și panific. nr.8/963
155. Plăcinteșanu I.T. - Teoria erorilor de măsurare și metode celor mai mici patrata. Ed.tehnică, București, 1958

156. Popescu R.P.  
Mihordea P. - Măsurarea debitelor în tehnică. Ed.Teh-  
nică, București, 1969
157. Prajak V. - Pneumaticka doprava. Ucebnitexty vysokycel  
skol SNTL, Praha, 1961
158. Rausch W. -Untersuchung über die Luftwiderstände  
von kornigen und staubförmigen Gittern  
im Luftstrom. Ing.Archiv nr.5/1958
159. Rausch W. - Untersuchung über die pneumatische Dicht-  
stromförderung. Fördern u Heben nr.12/1966
160. Richardson J.F.  
Mc.Lenan W. - Pneumatic Conveying Part.II. Trans.Instn.  
Chem.Engrs.nr.38/1960
161. Rivikin M.B. - Primenenie teorii dvihfaznogo psevdooji-  
zenia k pnevмотransportu v plotnoi faze.  
Inžinerno Fiziceskii Jurnal Tom XI nr.1/  
1966
162. Rose H.E.  
Barnade H.E. - Flow of suspensions of non - Cohesive  
particles in pipes - Engineer nr.14/1957
163. Saks S.E. - Gidravlicheskie soprotivlenia pri turbu-  
lennom dvizhenii toncodispersnih aerosome-  
sei. Inžinerno Fiziceskii Jurnal Tom.XIV  
nr.4/1968
164. Saks S.E. - Opredelenie criticeskoi skorosti vzvese-  
nesucogo potoka. Inžinerno Fiziceskii  
Jurnal Tom XVIII nr.5/1970
165. Schmidt S. - Über die Grenzgeschwindigkeit von Staub-  
luftströmen in Rohrleitungen. Luft und  
Kälte-Technik nr.3/1970
166. Scherter K. - Instalații moderne de transport pneu-  
matic într-o uzină de îngrășăminte chinice.  
Transport uzinal. CS-IDT nr.6/1967
167. Schuchart P. - Pneumatische Förderanlagen. Maschinen-  
markt vol.75 nr.13/1969
168. Schuchart P. - Widerstandsgesetz für den hydraulischen  
und pneumatischen Feststofftransport in  
waagerechten geraden Rohren. Chemie Ing.  
Tehn. nr.23/1969

169. Schuchart P. - Protecția contra uzurii la instalații-  
le de transport pneumatic. Transp.in-  
tern depozit. CS-IDT nr.1/1970
170. Seglar G. - Selaskoe hoziaistvo za rubejom. Sbornik  
perezodov i obzarov inostrannoï nepio-  
dicescoi literaturi nr.3/1954
171. Siegel W. - Experimentelle Untersuchungen zur pneu-  
matischen Förderung körniger Stoffe in  
waagerechten Röhren und Überprüfung  
der Ähnlichkeitsgesetze. VDI-Forschung-  
sheft 538/1970
172. Smoldirev A.E. -Uravnenie dvijenia vzvesennogo tela v  
trubah pri izotermicescom tecenii voz-  
duha. Dokladi AN-SSSR 80 nr.6/1951
173. Smoldirev A.E. - Necotorie zakonomernosti pnevmatices-  
cogo transporta nasipnih materialov po  
trubam. Dokladi AN-SSSR nr.3/1954
174. Smoldirev A.E. - O pnevmaticescom transportirovanii za-  
cladocinih materialov. Izvestia AN-  
SSSR OTN nr.8/1953
175. Smoldirev A.E. - O dvijении serosmesi v trubah. Izves-  
tia AN-SSSR OTN nr.9/1957
176. Smoldirev A.E. - Truboprovodnii transport. Gostoptehnis-  
dat, Moskva, 1961
177. Soloviev M.I. - Ohlajdenie zerna pri pnevmotransporte  
v gorizontálnom truboprovode. Izvestia  
VUZ „Piscevaia tehnologia” nr.6/1963
178. Soloviev M.I. - K voprosu vzvesivania i transportiro-  
vania zernistogo materiala v gorizon-  
tálnom truboprovode. Inžinerno Fizices-  
kii Jurnal Tom 7 nr.10/1964
179. Spivacovskii A.O. -Gidravlicheskii i pnevmaticeskii tran-  
sport na gornih predpriatih. Gosgorteh-  
izdat, Moskva, 1962
180. Stannard B. - A theoretical analysis of pneumatic con-  
veying. Trans.Instr.Chem.Engrs.nr.39/961

181. Steinick H. - Transportul pneumatic al făinii. Morărit și panificație CS-IDT nr.4/1963
182. Stepanov H.V. - Ustroistvo dlea pnevmaticheskogo transportirovaniia sispikih materialov. Mehanizatsiia trudoem i tiazhelih rabot nr.7/1958
183. Stoicoviciu O. - Cântărirea automată. Ed.Tehnică, București, 1971
184. Therley B. - An Analysis of Air and Solid Flow in a Spouted Wheat bed. The Canadian Journal of Chemical Engineering nr.3/1960
185. Tiț J.L. - Pnevmotransport semien pri visocoi koncentratsii materiala v smesi. Tractori i selhozmașini nr.12/1965  
Basnakian G.A.
186. Train D. - Agglomeration of Solids by compaction. Trans.Inst.Chem.Engrs. nr.40/1962  
Lewis C.J.
187. Turecek F. - Calculul transportului pneumatic al produselor intermediare în morile de grâu. Morărit și panificație CS-IDT nr.9/1962
188. Uematu T. - Die experimentelle Untersuchung über die Teilchenbewegung und über die Geschwindigkeitsverteilung der Förderluft  
Morikawa Y. -Bulletin of JSME nr.15/1961
189. Uematu T. - Druckverluste in Krümmer einer waagerechten Förderung von körnigen Gütern. Bulletin of JSME nr.15/1961  
Morikawa Y.
190. Uematu T. și col.- Pressure Loss in the Pneumatic Conveyance of Granular Solids. Japan Science Review of Mechanical and electrical Engineering nr.1/1960
191. Uematu T. - Druckverluste in der Pneumatischen Förderung von Körniger Gütern. Buletin of JSME nr.12/1960  
Morikawa Y.
192. Uematu T. - Pneumatische Förderung in lotrechter Rohrleitung. Bulletin of JSME nr.38/1965

193. Uhl J.B.  
Lamp B.J. - Pneumatic separation of grain straw mixtures. Trans. ASAE nr.2/1966
194. Urban J. - Pneumatika doprava. SNTL-SVTL, Praha, 1964
195. Uspenskii A.V. - Scorosti ciastiť i koeficienti soprotivlenia pri pnevnotransporte. Za Economiu Topliva nr.3/1951
196. Uspenskii A.V. - Pneumaticeskii transport materialov vo vřeřennom sostavěanii. Metallurgizdat, Moskva Sverdlovsk, 1952
197. Uspenskii A.V. - Pnevmaticeakii transport. Metalurgizdat Sverdlovsk, 1959
198. Vaizel L.E. - Optimizația parametrov vucumnogo pnevmo-transporta. Promiřlenia „Energetiko” nr. 11/1969
199. Vávra A. - Pouziti citacove metody promereni sledu kratykh casovykh inerva. Zemedelska Tehnica nr.4/1965
200. Vávra A. - Rychlost ciastic pri pneumaticke dopravě I. Teoreticke reseni. Zemedelska Tehnica nr.10/1965
201. Vávra A. - Rychlost ciastic pri pneumaticke dopravě II. Experimentalni vyzkum. Zemedelska Tehnika nr.5/1966
202. Vávra A. - Gasterstaedtuv saucinitel pri pneumaticke dopravě. Zemedelska Tehnika nr.5/1967
203. Vávra A. - Fazovy diagram pneumaticke dopravě. Zemedelska Tehnica nr.6/1967
204. Válcovici V.  
Bálan St.  
Voinea R. - Mecanica teoretică. Ediția III-a. Ed. Tehnică, București, 1968
205. Velšof G. - Pnevmaticeakii transport na predpriatiah pišcevoi promiřlenosti. Pišcepronizdat Moskva-Leningrad, 1960
206. Velšof G. - Pnevmaticeakii transport pri visokii koncentračii peremesocialmogo materiala. Kolos, Moskva, 1964



207. Vollheim R. - Förderung von Festkörper-Luft-Gemischen in Röhren. Maschinenbautechnik nr.9/1965
208. Vollheim R. - Der pneumatische Transport streubförmiger Güter in senkrechten Rohrleitungen in Verbindung mit der Einschleusung durch Wirbelsichten. Maschinenbautechnik nr.5/1967
209. Wandslöbe J. - Problematik des Energieaufwandes bei der pneumatischen Förderung. Maschinenbautechnik nr.9/1971
210. Warthning A.G. - Prelucrarea datelor experimentale (trad. Gefner J. din limba engleză). Ed.Tehnică, București, 1959
211. Weidner G. - Grundsätzliche Untersuchung über den pneumatischen Fördervorgang insbesondere über die Verhältnisse bei Beschleunigung und Umlenkung. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens nr.5/1955
212. Welsch G. - Pneumatische Förderung bei groben Fördergutkonzentrationen. VDI-Forschungshefte nr.492/1962
213. Wen Chin-Yung - Flow Characteristics in Horizontal Fluidized Solids Transport. A.I.Ch.E. Journal nr.2/1959
214. Zehetner J. - Gutanteil bei pneumatischer Getreidförderung. Maschinenmarkt nr.34/1969
215. Zens F. - Conveyability of materials of mixed particle size. Engng.Chem.Fundamentals nr.3/1964
216. Zulev F.G. - Isledovanie process pnevmaticheskogo transportirovaniya metodom visokosklastnoi kinematiki. Izvestia VUZ „Pisoevala Tehnologii“ nr.4/1960

## C O U P R I N S

	Pag.
Notatii și simboluri. . . . .	2
INTRODUCERE. . . . .	6
Oportunitatea abordării cercetărilor cu privire la stabilirea regimului optim de transport pneumatic. .	10
<u>PARTEA I. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ASUPRA TRANSPORTULUI PNEUMATIC.</u> . . . . .	16
Capitolul I. <u>Considerațiuni generale.</u> . . . . .	16
§1. Sistemul dispers fix. . . . .	17
§2. Sistemul dispers pseudo-fluid. . . . .	18
§3. Sistemul dispers direct. . . . .	18
Capitolul II. <u>Studiul mișcării particulelor solide în condițiile transportului pneumatic.</u> . . . . .	22
§1. Importanța mișcării particulelor solide în condițiile transportului pneumatic. . . . .	22
§2. Dinamica particulelor solide în condițiile transportului pneumatic. . . . .	24
Capitolul III. <u>Studiul pierderilor de presiune în condițiile transportului pneumatic.</u> . . . . .	32
§1. Pierderile de presiune cauzate de curgerea aerului. . . . .	32
1.1. Pierderile de presiune datorită frecării aerului cu conducta. . . . .	33
1.2. Pierderile de presiune datorită ridicării aerului. . . . .	33
1.3. Pierderile de presiune datorită rezistențe- lor locale. . . . .	34
§2. Pierderile de presiune datorită particulelor solide. . . . .	34

	Pag.
2.1. Pierderile de presiune în zona mişcării sta- bilizate. . . . .	34
2.2. Pierderile de presiune în zona mişcării tran- zitorie. . . . .	39
2.3. Pierderile de presiune pentru ridicarea par- ticulelor solide. . . . .	40
2.4. Pierderile de presiune locale. . . . .	41
2.5. Pierderile de presiune globale cauzate de de- plasarea particulelor solide în conducte rectilini. . . . .	41
Capitolul IV. <u>Studiul vitezei optime de transport.</u> . .	43
Concluzii. . . . .	46
<u>PARTEA II. CONTRIBUTII TEORETICE LA STUDIUL TRANSPOR- TULUI PNEUMATIC AL SEMINTELOR ÎN CONDUCTE ORIZONTALE.</u> .	51
Capitolul I. <u>Contributii cu privire la bazele teoretice ale transportului pneumatic în conducte rectilini dis- puse orizontal.</u> . . . . .	51
§1. Analiza mişcării seminţelor care <sup>nu</sup> se roteşc în timpul transportului pneumatic. . . . .	55
§2. Analiza mişcării seminţelor care se roteşc în timpul transportului pneumatic. . . . .	63
§3. Viteza critică . . . . .	74
Capitolul II. <u>Contributii la studiul dinamicii semin- telor în condiţiile transportului pneumatic în con- ducte orizontale.</u> . . . . .	77
§1. Ecuaţia mişcării seminţelor în condiţiile tran- sportului pneumatic în conducte orizontale. . .	77
1.1. Forţa de rezistenţă a aerului. . . . .	79
1.2. Forţa de rezistenţă datorită ciocnirii se- minţelor cu pereţii conductei. . . . .	80



	Pag.
1.3. Forța de rezistență echivalentă datorită frecării semințelor cu pereții conductei. . . . .	80
§2. Ecuația vitezei semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizon- tale. . . . .	83
§3. Ecuația spațiului parcurs de semințe în ca- drul transportului pneumatic. . . . .	85
Capitolul III. <u>Contribuții la studiul pierderilor de presiune cauzate de transportul pneumatic al seminte- lor în conducte orizontale.</u> . . . . .	87
§1. Ecuația generală a pierderilor de presiune globale. . . . .	87
§2. Calculul simplificat al pierderilor de presi- une. . . . .	89
§3. Ecuația pierderilor specifice de presiune în cadrul mișcării stabilizate. . . . .	91
§4. Calculul pierderilor de presiune locale. . . . .	91
Capitolul IV. <u>Contribuții teoretice privind studiul consumului specific de energie la transportul pneu- matic al semințelor în conducte orizontale.</u> . . . . .	93
Concluzii. . . . .	95
<u>PARTEA a III-a. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND STA- BILITATEA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SE- MINȚELOR.</u> . . . . .	99
Capitolul I. <u>Conceptia și realizarea standului expe- rimental.</u> . . . . .	99
Capitolul II. <u>Aparatura folosită la cercetările ex- perimentale.</u> . . . . .	109

<b>Capitolul III. <u>Metodica experimentală privind stabilirea regimului optim de transport pneumatic al semințelor.</u></b> . . . . .	120
§1. Rodajul instalației de transport pneumatic. . . . .	120
§2. Pregătirea semințelor pentru experiențe. . . . .	120
§3. Determinarea caracteristicilor de debit ale distribuitoarelor cu palete. . . . .	122
§4. Metodica de lucru privind determinarea coeficientului echivalent de rezistență datorită frecării semințelor cu conducta. . . . .	123
§5. Metodica de lucru cu dispozitivul pentru determinarea apăsării semințelor pe conductă. . . . .	124
§6. Metodica determinării procesului de transport pneumatic. . . . .	127
Concluzii. . . . .	129
 <b><u>PARTEA a IV-a. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE PRIVIND STABILIREA REGIMULUI OPTIM DE TRANSPORT PNEUMATIC AL SEMINTELOR.</u></b> . . . . .	
133	
<b>Capitolul I. <u>Proprietățile fizico-mecanice ale semințelor.</u></b> . . . . .	133
<b>Capitolul II. <u>Determinarea profilului vitezei curentului de aer.</u></b> . . . . .	134
<b>Capitolul III. <u>Determinarea pierderilor de presiune la funcționarea în gol a instalației de transport pneumatic.</u></b> . . . . .	136
§1. Determinarea pierderilor specifice de presiune datorită frecării aerului cu pereții conductei. . . . .	136
§2. Determinarea pierderilor de presiune în colectorul de aspirație. . . . .	137

§3. Determinarea pierderilor de presiune în secțiunea de alimentare. . . . .	138
<b>Capitolul IV. <u>Analiza coeficientului echivalent de rezistență datorită frecării semințelor pe peretii conductei.</u></b> . . . . .	141
§1. Influența vitezei curentului de aer asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	141
§2. Influența diametrului semințelor asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	144
§3. Influența diametrului conductei asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	145
§4. Influența masei specifice a semințelor asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	146
§5. Influența masei specifice a aerului asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	146
§6. Influența coeficientului de frecare asupra coeficientului $\beta$ . . . . .	148
<b>Capitolul V. <u>Analiza vitezei semințelor în condițiile transportului pneumatic în conducte orizontale.</u></b> .149	
§1. Variația vitezei semințelor de-a lungul conductei de transport. . . . .	149
§2. Influența vitezei curentului de aer asupra vitezei semințelor. . . . .	153
§3. Influența diametrului $d$ asupra vitezei semințelor. . . . .	157
§4. Influența masei specifice $\rho_m$ asupra vitezei semințelor. . . . .	159
§5. Influența coeficientului de formă asupra vitezei semințelor. . . . .	161
§6. Influența diametrului conductei asupra vitezei semințelor. . . . .	161

	Pag.
§7. Influența masei specifice a aerului asupra vitezei semințelor. . . . .	163
Capitolul VI. <u>Determinarea pierderilor de presiune în secțiunea de alimentare.</u> . . . . .	165
§1. Influența concentrației gravimetrice asupra pierderilor de presiune în secțiunea de alimentare . . . . .	165
§2. Ecuația experimentală a coeficientului de rezistență locală. . . . .	167
Capitolul VII. <u>Analiza pierderilor de presiune la transportul pneumatic al semințelor în conducte orizontale.</u> . . . . .	169
§1. Influența lungimii conductei asupra pierderilor totale de presiune. . . . .	170
§2. Influența formei secțiunii conductei asupra pierderilor totale de presiune. . . . .	190
§3. Influența debitului de alimentare asupra pierderilor totale de presiune. . . . .	191
§4. Influența vitezei curentului de aer asupra pierderilor specifice de presiune. . . . .	195
§5. Influența diametrului conductei asupra pierderilor specifice de presiune. . . . .	201
§6. Influența masei specifice $\rho_m$ asupra pierderilor specifice de presiune. . . . .	202
§7. Influența masei specifice $\rho_a$ asupra pierderilor specifice de presiune. . . . .	203
Capitolul VIII. <u>Analiza consumului specific de energie în cadrul transportului pneumatic al semințelor în conducte orizontale.</u> . . . . .	204

	Pag.
§1. Influența distanței de transport asupra consumului specific de energie. . . . .	205
§2. Influența vitezei curentului de aer asupra consumului specific de energie. . . . .	206
§3. Influența diametrului conductei asupra consumului specific de energie. . . . .	210
§4. Influența concentrației gravimetrice asupra consumului specific de energie. . . . .	212
<u>CONCLUZII GENERALE</u> . . . . .	214
<u>BIBLIOGRAFIE</u> . . . . .	236
<u>ANEXE</u> . . . . .	226