

Studiul comportării unei particule solide într-un curent de aer vertical ascendent

VALENTIN NEDEFF*, EMILIAN MO*NEGUȚU, MIRELA PANAINTE, CARMEN SAVIN, BOGDAN MĂCĂRESCU

Universitatea din Bacău, Facultatea de Inginerie, Str.Calea Mara^oe^oti, Nr.157, 600115, Bacău, România

An important stage in determination of behaviour of a solid particle placed in a vertical ascending airflow is the determination of the rotation and translation speeds of the particle, taking into account the airflow distribution inside the pipe and the position of the particle on airflow speed distribution curve. Because of the complexity of equations, this study only consider the main forces which act on the solid particle and the equation system which define the speeds of the particle was solved using the MATHCAD software.

Keywords: solid particle, vertical ascending airflow, particle speed

Un amestec de particule reale reprezintă un sistem polidispers eterogen deoarece este constituit din particule care au proprietăți diferite, iar cunoașterea acestor proprietăți ajută la alegerea procedeeleor și tehnicilor de sortare pe diferite clase (fracții) a amestecurilor respective.

Caracteristica după care diferențierea este cea mai pronunțată constituie criteriul de bază la alegerea metodei și utilajelor de sortare.

Procesul de sortare a amestecurilor eterogene formate din particule solide se bazează, în mare parte, pe divizibilitatea acestora. Divizibilitatea amestecului se stabilește în urma analizei modului de variație a proprietăților tuturor particulelor existente în amestec, rezultând în final gradul de sortare.

Cele mai răspândite metode de sortare ale unui amestec polidispers eterogen sunt sortarea după dimensiuni și sortarea după proprietățile aerodinamice ale particulelor.

Având în vedere că tendința actuală este de a se folosi instalații de sortare aerodinamică, înlocuindu-se astfel sortarea clasică (pe site), este necesar să se studieze procesul de sortare aerodinamică în cazul diferitelor tipuri de instalații.

Când componentele unui amestec de particule solide se deosebesc după comportarea lor în curenți de aer, sortarea se poate realiza după proprietățile aerodinamice. Cunoașterea acestor proprietăți oferă informații importante pentru alegerea și reglarea corectă a vitezei curentului de aer, pentru calculul și proiectarea sistemelor pneumatice destinate atât sortării cât și transportului pneumatic al amestecului de particule.

Proprietățile aerodinamice ale particulelor sunt caracterizate în principal de viteza critică de plutire, care reprezintă viteza unui curent de aer (m/s) dintr-o conductă, la care particulele, lăsate să cadă liber în acest curent, plutesc [7, 14, 19, 21].

Cercetări în domeniul comportării particulei solide în curenți de aer au fost abordate de către: Torobin L.B. și Gauvin W.H. [22]; Soo S. L. [20]; Boothroyd R.G. [2]; Richardson E. G. [17]; Levich V. G. [10]; Davies C. N. [3].

La noi în țară studii privind comportarea unei particule solide în curenți de aer s-au realizat în cadrul Universității „Politehnica” București [1, 11, 23].

Datorită complexității ecuației de mișcare a particulei solide, în literatura de specialitate este prezentată doar ecuația respectivă, fără a fi rezolvată pentru cazuri reale ale particulei solide [5, 9, 15, 16, 24, 25].

De aceea, în continuare, ne propunem să rezolvăm ecuația de mișcare a particulei solide aflate într-un curent de aer vertical, în forma extinsă.

Contribuții la analiza comportării unei particule solide într-un curent de aer vertical ascendent

Având în vedere că faza continuă, în cazul studiat, îl reprezintă aerul, cu ajutorul programului FLUENT s-a „vizualizat” variația vitezei curentului de aer din interiorul unei conducte (fig. 1).

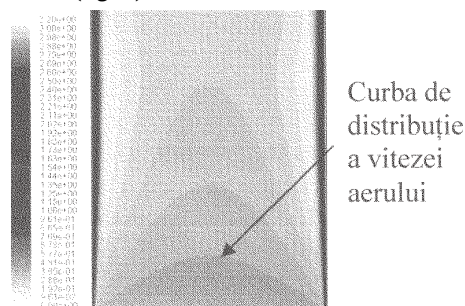


Fig. 1. Variația vitezei curentului de aer în interiorul unei conducte

Această alură se datorează frecărilor care apar în interiorul fluidului și între fluid și peretele conductei. Forma curbei de variație a vitezei curentului de aer influențează comportamentul particulei solide prin faptul că forțele masice și cele de suprafață care acționează asupra particulei își schimbă direcția în funcție de poziția ocupată de particulă în secțiunea conductei.

Principalele forțe masice care acționează asupra unei particule în curentul de aer sunt: forța de greutate G și forța lui Arhimede A .

Forțele de suprafață sunt: forța de presiune dinamică frontală F_d , forța portantă F_p și forța lui Magnus F_M [12, 13, 25].

Interacțiunea dintre aceste forțe determină poziția particulei în curentul de aer, respectiv particula se poate găsi în una din situațiile:

- în mișcare (particula se deplasează în același sens sau în sens opus cu direcția curentului de aer);

- în repaus (particula solidă plutește în curentul de aer).

În figura 2 sunt prezentate forțele care acționează asupra unei particule solide care se deplasează într-un curent de aer turbulent, vertical (s-a neglijat forța lui Arhimede):

- F_p - forța portantă, care se descompune în componentele sale F_{px} și F_{py} ;

* Tel.: (+40) 0234 54 24 11; 0723 675128

- F_M - forța lui Magnus, care se descompune în componentele sale F_{Mx} și F_{My} ;
 - G - greutatea particulei.
 Ecuațiile care descriu mișcarea particulei solide sunt precizate sub forma generală [9]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{v}) = \sum \vec{F} \\ \frac{d}{dt}(J \cdot \vec{\omega}) = \sum \vec{M} \end{cases} \quad (1)$$

unde:

m este masa particulei solide;
 v - viteza de deplasare a particulei solide;
 $\sum \vec{F}$ - rezultanta forțelor care acționează asupra particulei solide;
 J - momentul masic de inerție al particulei solide;
 $\vec{\omega}$ - viteza unghiulară de rotație a particulei solide
 $\sum \vec{M}$ - rezultanta momentelor forțelor față de centrul de masă al particulei.

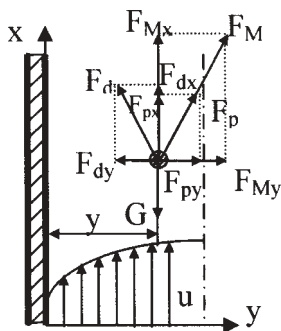


Fig. 2. Distribuția forțelor care acționează asupra particulei solide aflate într-un curent de aer turbulent vertical

Cele două ecuații reprezintă mișcarea de translație și de rotație a particulei situate într-un curent de aer ascendent. În funcție de coordonatele x și y , ecuațiile (1) se pot scrie sub forma [18]:

$$\begin{cases} m \cdot \frac{dv_x}{dt} = F_{dx} + F_{px} + F_{Mx} - G; \\ m \cdot \frac{dv_y}{dt} = F_{py} + F_{My} - F_{dy} \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = b \cdot F_d \end{cases} \quad (2)$$

în care b este brațul forței F_d față de centrul de inerție al particulei, care se obține cu relația [8]:

$$b = \frac{1}{n+1} \cdot \frac{R-y}{R-r_p} \cdot r_p \quad (3)$$

unde:

y este coordonata centrului de masă, m;
 R - raza conductei, m;
 r_p - raza particulei, m;
 $n = 10$, pentru regim de curgere turbulent.

Pe baza legii generale a repartiției de viteze a unui curent de aer din interiorul unei conducte, se poate scrie [6]:
 în care :

$$u = u_{med} \cdot \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

u este viteza curentului de aer, m/s;
 u_{med} - viteza medie a fluidului, m/s;
 $n = 10$, pentru regim de curgere turbulent.

Forța de presiune dinamică frontală F_d se determină cu relația [15, 24]:

$$F_d = k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot (u-v)^2 \quad (5)$$

în care:

$v_r = (u-v)$ este viteza relativă între curentul de aer și particulă, m/s;
 ρ_a - masa specifică a aerului, kg/m³;
 k - coeficientul de rezistență în curentul aerodinamic.

Pentru determinarea forței portante se folosește relația Kutta-Jukovski [26] care poate fi scrisă și sub forma:

$$F_p = \frac{1}{n} \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \left[u_{med} \cdot \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}} - v \right] \cdot \frac{u_{med}}{R^{\frac{1}{n}}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} \quad (6)$$

Relația (6) definește mărimea forței portante F_p pentru unitatea de lungime a particulei solide de formă cilindrică. În cazul unei particule sferice se înmulțește această relație cu mărimea caracteristică a particulei, perpendiculară pe direcția de mișcare, care pentru această formă geometrică este $\frac{4 \cdot r_p}{3}$ [18].

Forța lui Magnus se determină cu relația:

$$F_M = 2 \cdot \pi \cdot \rho_a \cdot v_r \cdot r_p^2 \cdot \omega \quad (7)$$

Dar viteza relativă este: $v_r = u - v$.

După înlocuirea relației (4) în relația (7), se obține:

$$F_M = 2 \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \left[u_{med} \cdot \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}} - v \right] \cdot \omega \quad (8)$$

În cazul particulelor solide de formă sferică, proiecțiile celor două forțe F_p și F_M după axe de coordonate cu expresiile [18]:

$$\begin{cases} F_{px} = \frac{4}{3 \cdot n} \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{u_{med}}{R^{\frac{1}{n}}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} \cdot v_x \\ F_{py} = \frac{4}{3 \cdot n} \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \left[u_{med} \cdot \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}} - v_y \right] \cdot \frac{u_{med}}{R^{\frac{1}{n}}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} F_{Mx} = \frac{8}{3} \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot v_x \\ F_{My} = \frac{8}{3} \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \left[u_{med} \cdot \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}} - v_y \right] \cdot \omega \end{cases} \quad (10)$$

Înlocuind relațiile (5), (9) și (10) în ecuația (2) rezultă sistemul de ecuații care descrie mișcarea unei particule solide într-un curent de aer vertical ascendent:

$$\begin{cases} m \cdot \frac{dv_x}{dt} = k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot (\vec{u} - \vec{v}_x) \cdot |\vec{u} - \vec{v}_x| + \\ + \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{med}}{R^{\frac{1}{n}}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} \cdot v_x + \\ + \rho_a \cdot \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot v_x - m \cdot g; \\ m \cdot \frac{dv_y}{dt} = \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{med}}{R^{\frac{1}{n}}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} \cdot (\vec{u} - \vec{v}_y) + \\ + \rho_a \cdot \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot (\vec{u} - \vec{v}_y) - k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot v_y \cdot |\vec{v}_y|; \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (\vec{u} - \vec{v}_x) \cdot |\vec{u} - \vec{v}_x|. \end{cases} \quad (11)$$

- F_d - forța de presiune dinamică frontală, care se descompune în componentele sale F_{dx} și F_{dy} ;

$$u_{med} \cdot R^{\frac{-1}{n}} \cdot y^{\frac{1-n}{n}} = \frac{u}{y} \quad (12)$$

Cu acestea, sistemul de ecuații (11) devine:

$$\begin{cases} m \cdot \frac{dv_x}{dt} = k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot (u - v_x)^2 + \\ + \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u}{y} \cdot v_x + \rho_a \cdot \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot v_x - \\ - m \cdot g; \\ m \cdot \frac{dv_y}{dt} = \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u}{y} \cdot (u - v_y) + \\ + \rho_a \cdot \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot (u - v_y) - k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot v_y^2; \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (u - v_x)^2. \end{cases} \quad (13)$$

sau:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2 \cdot m} \cdot (u - v_x)^2 + \\ + \rho_a \cdot \frac{4}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u}{y} \cdot v_x + \\ + \rho_a \cdot \frac{8}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot v_x - g; \\ \frac{dv_y}{dt} = \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u}{y \cdot m} \cdot (u - v_y) + \\ + \rho_a \cdot \frac{8}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \cdot (u - v_y) - \\ - k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2 \cdot m} \cdot v_y^2; \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (u - v_x)^2. \end{cases} \quad (14)$$

Dacă se notează cu:

$$\begin{aligned} a_1 &= k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2 \cdot m} \\ a_2 &= \rho_a \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{u}{m} \\ b_1 &= \rho_a \cdot \frac{4}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \frac{1}{n} \cdot u \\ b_2 &= \rho_a \cdot \frac{8}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \\ c_1 &= \rho_a \cdot \frac{8}{3 \cdot m} \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot \omega \\ c_2 &= k \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot \frac{\rho_a}{2 \cdot m} \end{aligned}$$

atunci sistemul de ecuații (14) devine:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_1 \cdot (u - v_x)^2 + b_1 \cdot \frac{v_x}{y} + c_1 \cdot v_x - g; \\ \frac{dv_y}{dt} = a_2 \cdot \frac{1}{y} \cdot (u - v_y) + b_2 \cdot (u - v_y) - c_2 \cdot v_y^2 \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (u - v_x)^2. \end{cases} \quad (15)$$

Se separă variabilele din relațiile (15) și se integrează:

$$\begin{cases} \int \frac{1}{a_1 \cdot (u - v_x)^2 + b_1 \cdot \frac{v_x}{y} + c_1 \cdot v_x - g} dv_x = \int dt; \\ \int \frac{1}{a_2 \cdot \frac{1}{y} \cdot (u - v_y) + b_2 \cdot (u - v_y) - c_2 \cdot v_y^2} dv_y = \int dt; \\ \int \frac{J}{\rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (u - v_x)^2} d\omega. \end{cases} \quad (16)$$

După efectuarea integrării în fiecare din relațiile sistemului (16) se obțin componentele vitezei de deplasare a particulei solide pe direcția axelor x și y și viteza unghiulară a acesteia (tabelul 1).

Pentru a simplifica rezolvarea ecuațiilor sistemelor (16) s-a folosit programul MATHCAD.

În urma rezolvării sistemului de ecuații (16), se observă că:

- viteza de deplasare a particulei solide pe cele două axe x și y depinde de viteza curentului de aer și de poziția pe care o ocupă particula solidă în canalul de aer;

- viteza unghiulară de rotație a particulei solide ω este direct proporțională cu viteza curentului de aer, viteza de deplasare a particulei solide pe axa x și brațul forței de presiune dinamică frontală.

În continuare sunt reprezentat grafic variațiile vitezei de deplasare după direcțiile x și y , respectiv v_x și v_y și a vitezei unghiulare de rotație ω , pentru diferite valori ale vitezei curentului de aer și pentru diferite diametre ale particulei solide (fig. 3).

Valorile obținute corespund următorilor parametri:

- particule sferice solide cu diametrul: $d_{p1} = 3$ mm;
- $d_{p2} = 4$ mm și $d_{p3} = 5$ mm și cu densitatea $\rho_p = 1200$ kg/m³;
- timpul $t = 6$ s;
- particula este situată foarte aproape de peretele tubulaturii, astfel că $y \approx 2R$;
- intervalul de variație a vitezei curentului de aer este 9,6 – 13,4 m/s.

Din analiza valorilor obținute prin calcule și reprezentate în figura 3 se desprind următoarele concluzii:

- atât viteza de deplasare a particulei pe axa x cât și pe axa y sunt direct proporționale cu variația vitezei curentului de aer, indiferent de dimensiunea particulei;
- viteza unghiulară de rotație a particulei solide este invers proporțională cu viteza curentului de aer.

Verificarea relațiilor obținute

Determinările experimentale au fost realizate utilizându-se un canal de aer cu secțiune variabilă (fig. 4) unde s-a verificat nivelul la care particula solidă se va stabiliza, datorită egalării valorii vitezei curentului de aer cu valoarea vitezei de plutire a particulei solide.

Elementele constructive ale canalului de aer sunt:

- înălțimea canalului de aer: $h = 0,735$ m;
- unghiul de înclinare al peretelui este: $\alpha = 4^\circ$;
- porțiunea cu secțiune constantă: $a = 30$ mm.

În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele experimentale obținute urmărind nivelul la care particula solidă s-a stabilizat în canalul de aer (h), ținându-se cont de dimensiunile geometrice ale particulei solide și de masa acesteia pentru un debit al aerului de 0,048 m³/s.

Valorile obținute experimental cât și valorile obținute cu relațiile prezentate în tabelul 1, au fost verificate prin următoarele metode:

- analitic, utilizându-se relațiile [4, 18];

Tabelul 1
EXPRESIILE VITEZELOR DE DEPLASARE A PARTICULEI SOLIDE v_x v_y
A VITEZEI UNGHIULARE ω

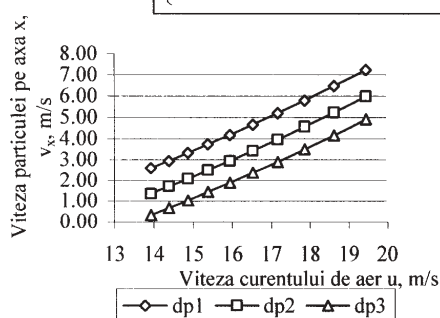
$$v_x = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{(4 \cdot a_1 \cdot u \cdot c_1 - 4 \cdot a_1 \cdot g - c_1^2) + \frac{(4 \cdot a_1 \cdot u \cdot b_1 - 2 \cdot c_1 \cdot b_1) - \left(\frac{b_1}{y}\right)^2}{y}}{a_1}}$$

$$+ \operatorname{tg} \left(\frac{t}{2} \cdot \sqrt{\frac{(4 \cdot a_1 \cdot u \cdot c_1 - 4 \cdot a_1 \cdot g - c_1^2) + \frac{(4 \cdot a_1 \cdot u \cdot b_1 - 2 \cdot c_1 \cdot b_1) - \left(\frac{b_1}{y}\right)^2}{y}}{a_1}} \right) + u - \frac{c_1}{2 \cdot a_1} - \frac{b_1}{2 \cdot a_1 \cdot y};$$

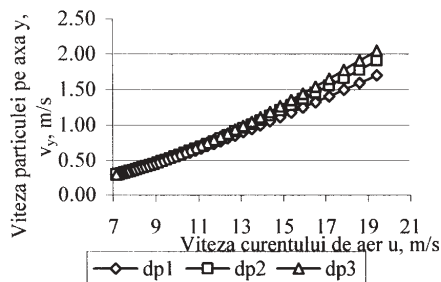
$$v_y = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{(4 \cdot b_2 \cdot u \cdot c_2 - b_2^2) \cdot y^2 + 4 \cdot a_2 \cdot u^2 \cdot c_2 \cdot y}{a_2 + c_2 \cdot y}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{t}{2} \cdot \sqrt{\frac{(4 \cdot b_2 \cdot u \cdot c_2 - b_2^2) \cdot y + 4 \cdot a_2 \cdot u^2 \cdot c_2}{y}} \right) +$$

$$+ \frac{2 \cdot a_2 \cdot u + b_2 \cdot y}{2 \cdot (a_2 + c_2 \cdot y)};$$

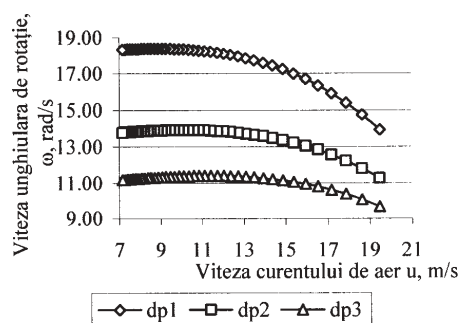
$$\omega = \frac{\rho_a \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot b \cdot k \cdot (u - v_x)^2}{J} \cdot t.$$



a)



b)



c)

Fig. 3. Variația parametrilor studiați: a) v_x ; b) v_y , c) ω

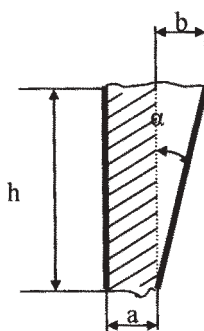


Fig. 4. Modelul canalului de aer cu secțiune variabilă, utilizat în cadrul verificării

Tabelul 2
REZULTATELE EXPERIMENTALE

Nr. crt.	Lungimea particulei, mm	Lățimea particulei, mm	Grosimea particulei, mm	Masa particulei, g	Înălțimea de poziționare, mm
1	3	3	3	0,017	34
2	4	4	4	0,04	26
3	5	5	5	0,0519	34
4	5	5	5	0,079	19
5	7	7	7	0,2572	16
6	7	6	5,5	0,1527	30
7	8,2	6	5,2	0,19	21
8	12	7,3	5,1	0,2907	18
9	12	8	5	0,0305	17
10	17	10	9,8	0,748	25
11	16	10	9,7	0,805	23

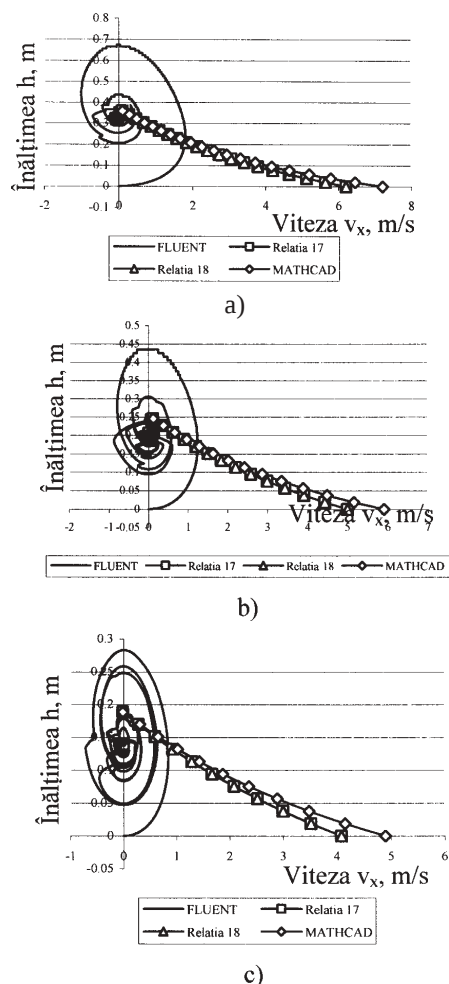


Fig. 5. Variația vitezei de deplasare a particulei solide pe axa x:
a) dp_1 ; b) dp_2 ; c) dp_3

$$v = u - v_p \cdot \frac{e^{\frac{2-gt}{u}} - \frac{u - v_p}{u + v_p}}{e^{\frac{2-gt}{u}} + \frac{u - v_p}{u + v_p}} \quad (17)$$

$$v = u - v_p \quad (18)$$

în care:

- v este viteza de deplasare a particulei solide, m/s;
- u – viteza curentului de aer, m/s;
- v_p – viteza de plutire a particulei, m/s;
- g - accelerația gravitațională, m/s²;
- t - timpul în care s-a urmărit particula, s.

- prin simulare cu ajutorul programului FLUENT.

În graficele din figura 5 sunt prezentate variațiile vitezei de deplasare a particulei pe direcția x (v_x) determinate:

- analitic (după relațiile 17 și 18)
- prin simulare cu programul FLUENT;
- determinate cu ajutorul primei relații din tabelul 1 rezolvată cu programul MATHCAD.

Parametrii particulei solide pentru care s-a făcut verificarea a fost: diametrul particulei $d_{p1} = 3$ mm; $d_{p2} = 4$ mm, $d_{p3} = 5$ mm; densitatea particulei $\rho_p = 1200$ kg/m³; debit al aerului de 0,048 m³/s.

Din analiza comparativă a datelor obținute s-au constatat următoarele:

- diferența dintre valorile obținute cu relațiile (17) și (18) și relația corespunzătoare vitezei de deplasare pe axa x (prima relație din tabelul 1) este nesemnificativă, observându-se că valoarea 0 a vitezei particulei (viteza de plutire) se obține la același nivel pentru cele trei ecuații;

- în comparație cu programul de simulare FLUENT se observă că valorile vitezei de deplasare a particulei solide sunt diferite, dar nivelul de poziționare al particulei solide în canalul de aer cu secțiune variabilă este același ca și în cazul analitic.

Concluzii

În lucrare este prezentat un studiu cu privire la influența distribuției curentului de aer din interiorul unei conducte și a poziției unei particule situate în acest curent asupra vitezelor cu care aceasta se deplasează și a vitezei unghiulare.

Rezolvarea sistemului de ecuații conferă posibilitatea determinării atât a vitezei particulei solide cât și a direcției de deplasare a acesteia, prin compunerea vectorială a celor două viteze, pentru cazul unui fluid real. Datorită formei curbei de distribuție a vitezei curentului de aer din interiorul conductei, particula va avea o traiectorie care la un moment dat se va intersecta cu peretele conductei. Sensul de rotație al particulei și valoarea vitezei unghiulare influențează traiectoria particulei de după ciocnirea cu peretele conductei și viteza cu care aceasta reîntră în curentul de aer.

Pe baza celor prezentate anterior se poate spune că viteza de deplasare a unei particule solide într-un curent de aer vertical ascendent, aflată într-o conductă, depinde de:

- poziția pe care o ocupă particula solidă pe raza conductei;
- proprietățile aerodinamice ale particulei solide, respectiv de valoarea vitezei de plutire.

Prima relație din tabelul 1 (viteza de deplasare a particulei pe direcția x - v_x) a fost rezolvată cu ajutorul programului MATHCAD pentru condițiile reale de lucru, adică s-a ținut seama de faptul că particula este într-un spațiu limitat de pereții conductei, respectiv $y \approx 2R$. Din acest motiv există o mică diferență între valorile obținute prin programul MATHCAD și valorile obținute cu relațiile (17) și (18), la care nu s-a ținut cont de poziția particulei pe direcția y (fig. 4).

Nivelul la care o particulă solidă se găsește în canalul de aer depinde de forma, dimensiunile și masa acesteia.

Cu toate acestea valorile obținute experimental, analizate comparativ cu celelalte metode confirmă corectitudinea metodelor propuse.

Prin simulare cu ajutorul programului FLUENT s-a confirmat poziția de plutire a particulei pentru cazurile studiate și pentru relația rezolvată prin programul MATHCAD.

În literatura de specialitate nu sunt prezentate metode de determinare a vitezei de deplasare a particulei solide după direcția y (v_y), acest lucru urmează a fi studiat în continuare.

Bibliografie

1. CĂLIN E., Studiul sistemelor de separare a semințelor la combine, Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" București, 1998;
2. BOOTHROYD, R.G., Flowing gas-solids suspensions, Chapman & Hall, New York, 1971
3. DAVIES C. N., Aerosol science, Academic Press, London, 1966
4. ENE Gh, Echipamente pentru clasarea și sortarea materialelor solide polidisperse, Ed. Matrix Rom, București, 2005
5. FOUNTI M., KLIPFEL A., Experimental and computational investigations of nearly dense two-phase sudden expansion flows, Experimental thermal and fluid science, vol 17, nr. 1-2, 1998, p. 27
6. IONESCU GH. DAN și alții, Mecanica fluidelor și mașini hidraulice, E.D.P., București, 1980

7. JIE O., JINGHAI L., Particle-motion-resolved discrete model for simulating gas-solid fluidization, *Chemical Engineering Science*, nr. 54, 1999, p. 2077
8. FLOREA, J., ROBESCU, D., PETROVICI, T., STAMĂTOIU, D., *Dinamica fluidelor polifazate și aplicațiile ei tehnice*, Ed. Tehnică, București, 1987
9. KUAN B., SCHWARZ P., Numerical prediction of dilute particulate flows in horizontal and vertical ducts, *Discrete particle simulation of gas-solid flow in a blast furnace*, Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Austria, 2003, p. 135
10. LEVICH, V. G., *Physico-chemical hydrodynamics*, Prentice Hall, 1962
11. MANOLE C., *Studiul sortării semințelor după greutatea specifică*, Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1986
12. MOȘNEGĂ E., NEDEFF V., PANAINTE M., BURCĂ G., Theoretic study concerning the behavior on solid particle into vertical airflow, *5th International Conference Research and Development in Mechanical Industry* RaDMI 2005, 04 - 07. September 2005, Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, p. 744
13. MOȘNEGĂ E., NEDEFF V., PANAINTE M., BURCĂ G., Influence of particle aerodynamical characteristic over on his speed moved into vertical airflow, *MOCM* 11, 2005, **2**, p. 223
14. NEDEFF V., MOȘNEGĂ E., BĂISAN I., *Separarea mecanică a produselor granulometrice și pulverulente din industria alimentară*, Ed. TEHNICA-INFO, Chișinău, 2001
15. OGAWA A., *Separation of particles from air and gases*, **I, II**, CRC Press, Inc. Boca Raon, Florida, 1984
16. QIYANG JIE, JINGHAI LI, Particle-motion-resolved discrete model for simulating gas-solid fluidization, *Chemical Engineering Science*, nr. 54, 1999, p. 2077
17. RICHARDSON, E. G., *Aerodynamic capture of particles*, Pergamon Press, 1960
18. ROBESCU, D. N., LANYL S., ROBESCU L. D., CONSTANTINESCU I., *Fluide polifazate*, Ed. Tehnica, București, 2000
19. SHAPIRO M., GALPERIN V., Air classification of solid particles: a review, *Chemical Engineering and Processing*, nr. 44, 2005, p. 279
20. SOO S.L., *Fluid dynamics of multiphase systems*, Blaisdell, Waltham, Massachusetts, 1967
21. TERENCE A., *Particle size measurement*, **I, II**, Chapman & Hall, London, 1997
22. TOROBIN L. B., GAUVIN W. H., *Fundamental aspects of solids-gas flow. Effects of particle rotation, roughness and shape.*, vol. IV *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1960
23. VOICU Ghe., *Cercetări privind mișcarea materialului pe site sub influența curentului de aer la sistemele de curățire ale combinelor de cereale*, Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" București, 1996
24. ZHANG Y., REESE J., The drag force in two-fluid models of gas-solid flows, *Chemical Engineering Science*, nr. 58, 2003, p. 1641
25. ZHOU Z. Y., *Discrete particle simulation of gas-solid flow in a blast furnace*, Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Austria, 2003, p. 455
26. ZIAEI-RAD S., PISHEVAR A.R., *Wing planform design using stochastic optimization techniques*, *Proceeding of the Eleventh Conference of the CFD Society of Canada*, May, 2003

Intrat în redacție: 20.09.2007

