

ASPECTE GENERALE PRIVIND MIȘCAREA PARTICULELOR SOLIDE ÎN INTERIORUL CICLOANELOR CU ALIMENTARE TANGENTIALĂ, FOLOSITE PENTRU DESPRĂFUIREA A GAZELOR INDUSTRIALE USCATE (I)

GENERAL ASPECTS REGARDING THE MOVEMENT OF SOLID PARTICLES INSIDE TANGENTIAL FEED CYCLONES USED FOR DUSTING DRY INDUSTRIAL GASES (I)

Melania CORLECIUC (MITUCĂ)¹, Radu I. IATAN²,
Ion DURBACA², Gheorghe Cosmin CIOCOIU²

¹) Agenția Națională pentru Protecția Mediului – România;

melaniacol171@gmail.com

²) Universitatea POLITEHNICA din București – România;

iatan.radu@gmail.com; ion.durbaca@yahoo.com; cgcocmin@gmail.com

Rezumat: Problema desprăfuirii gazelor industriale impurificate a constituit și reprezintă o preocupare constantă, majoră, în continuare. Mișcarea particulelor solide în interiorul cicloanelor cu alimentare tangențială, unilaterală, în cazul de față, este deosebit de dificilă în ceea ce privește evaluarea randamentului purificării. Este recunoscută importanța experimentărilor efectuate până în prezent, al cercetărilor teoretice și rezultatelor stabilite. Tehnica investigărilor moderne aduce un ajutor substanțial, dar nu elimină studiul specific fiecărei situații practice, cu parametri specifici, granulometrie, umiditate, temperaturi etc. Lucrarea de față aduce în fața cercetătorilor unele opinii cunoscute până în prezent în domeniul menționat, dezvoltând, eventual, noi studii.

Cuvinte cheie: Gaze impurificate, cicloane, alimentare tangențială

Abstract. The problem of dedusting of impure industrial gases has been and continues to be a constant, major concern. The movement of solid particles inside cyclones with tangential, unilateral feeding, in the present case, is particularly difficult in terms of evaluating the efficiency of the purification. The importance of the experiments carried out up to now, of the theoretical research and established results is recognized. The technique of modern investigations brings substantial help, but does not eliminate the specific study of each practical situation, with specific parameters, grain size, humidity, temperatures, etc. The present work brings before the researchers some opinions known until now in the mentioned field, possibly developing new studies.

Keywords: Impure gases, cyclones, tangential feeding

INTRODUCERE

În domeniul desprăfuirii uscate a gazelor impurificate din industrie, un rol bine meritat îl au cicloanele cu alimentare tangențială (simplă sau dublă, normală pe axa ciclonului, respectiv intrare după o direcție elicoidală). Nefiind solicitată o separare exigentă a prafului, cicloanele pot fi folosite ca echipamente unice. În general, cicloanele pot precede echipamentele de mare eficacitate.

Notă: Conform [1], primul ciclon, numit la vremea respectivă “*colector de praf*”, a fost inventat de *Finch M. J.*, patentul fiind atribuit Companiei Knickerocher Co. Jackson, USA, în anul 1886 [2].

Primele studii privind caracterizarea cicloanelor au fost efectuate în perioada 1930 – 1950 (*Alexander R. McK* - 1949, *Ter Linden A. J.* -1949) [3].

Importanța mare care i se acordă unui ciclon se definește prin faptul că acesta nu ridică, de obicei, condiții de temperatură, presiune și, uneori, chiar de umezeală pentru gazele care trebuie desprăfuite. În altă ordine de idei, simplitatea lui constructivă și cantitatea mică de material necesară realizării, randamentul bun de curățare a gazelor de praf, atingând valori de 98 – 99% [4 – 9], posibilitatea de adaptare ușoară la condiții variate de funcționare, consumul relativ mic de energie, montarea simplă, lipsa elementelor constructive în mișcare, sunt câteva dintre avantajele care au condus la utilizarea ciclonului în cele mai variate ramuri industriale.

Are o remarcabilă adaptabilitate la un domeniu larg al granulației particulelor, remarcându-l cu prioritate în procesul de purificare a gazelor.

Dezavantajele majore ale ciclonului sunt: slaba eficiență în separarea particulelor solide cu un diametru mai mic de $5 \mu m$ [1], necesitatea asigurării unei valori ridicate a căderii de presiune, implicând echipamente adecvate de putere în vederea vehiculării gazului. În ciclon nu are loc o curgere bidimensională a gazului, ci o curgere turbulentă tridimensională. Din această cauză stabilirea datelor de bază în construcția acestor separatoare se face de obicei pe baza rezultatelor experimentale.

Aerul cu praf intră printr-o deschidere rectangulară (sau cilindrică) practică la capătul superior al corpului cilindric al ciclonului – pentru cazul de față. Praful separat părăsește ciclonul prin orificiul de evacuare situat la vârful corpului conic, iar aerul curățat iese prin tubul de evacuare montat concentric la capătul superior al corpului cilindric. Intrarea aerului în ciclon se face fie tangențial la corpul cilindric, soluție folosită la toate cicloanele care funcționează individual, fie axial cu corpul ciclonului, soluție folosită frecvent pentru cicloanele mici montate în paralel în aceeași carcasă (multicicloane – multiceleulare – cicloane multiple [13]).

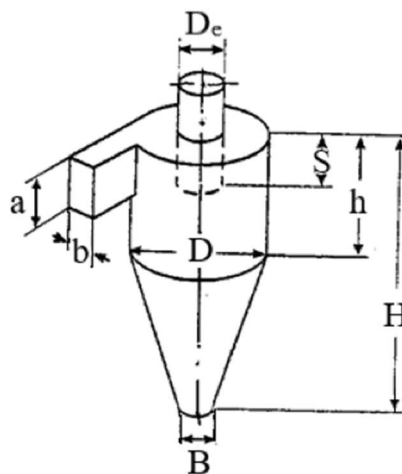


Fig. 1. Geometria unui ciclon cu alimentare tangențială

Aspecte generale privind mișcarea particulelor solide în interiorul cicloanelor cu alimentare tangențială, folosite pentru desprăfuirea a gazelor industriale uscate (I)

Constructiv un ciclon clasic cu intrare tangențială (fig. 1) poate fi caracterizat prin opt dimensiuni. Cel mai adesea, pentru determinarea dimensiunilor caracteristice, sunt folosite rapoartele adimensionale ciclonului funcție de diametrul corpului cilindric al acestuia [6]:

$$\frac{D_e}{D}; \frac{a}{D}; \frac{b}{D}; \frac{S}{D}; \frac{h}{D}; \frac{H}{D}; \frac{B}{D}.$$

Notă: În lucrarea [33] se indică o soluție constructivă a unui ciclon la care partea tronconică este perforată, permițând filtrarea amestecului de particule care pătrund în zona respectivă.

Notă: Intrarea tangențială a gazului impurificat cu particule solide în ciclon este preferată comparativ cu celelalte variante (*Altmeyer S., Mathieu V., Jullemier S., Contal P., Midoux N., Rode S., Leclerc P. J.* – 2004 [10]). Importanța valorii ariei secțiunii de intrare a prafului în ciclon, respectiv raportul între lățimea b și înălțimea a a secțiunii dreptunghiulare (raportul optim $b/a = 0,5 \dots 0,7$ [11]) asupra eficienței separării prafului în ciclon a fost studiată de mai mulți autori, printre care, *Alexander M. R.* (1949), *Casal J., Martinez – Benet M.* (1983), *Iozia L. D., Leith D.* (1989, 1990), *Ramachandran G., Leith D., Dirgo J., Feldman H.* (1991), *Zhao B.* (2005), *Zhao B., Su Y., Zhang J.* (2006) etc. [11].

Aerul cu praf, intrat în ciclon, capătă de îndată forma unui curent elicoidal descendent care se sprijină pe pereții ciclonului; în dreptul vârfului corpului conic, sensul de deplasare se inversează și, cu același sens de rotire, jetul de aer se ridică către tubul de evacuare, sub forma unei elicoide ascendente care se rotește independent în interiorul celei coborâtoare.

Viteza de rotire a aerului în lungul traseului elicoidal interior este mai mare decât viteza de rotire pe cel exterior. Diametrul elicoidei interioare este întotdeauna mai mic decât jumătate din diametrul tubului de evacuare. Particulele de praf, centrifugate de mișcarea de rotire a aerului, se concentrează în vâna elicoidală exterioară, lunecând pe pereții ciclonului. Mișcarea elicoidală continuă și în interiorul tubului de evacuare; dacă ciclonul refulează liber în atmosferă, mișcarea elicoidală, după ieșirea aerului, se amortizează repede; dacă ciclonul este racordat printr-o conductă la gura de aspirație a unui ventilator, mișcarea elicoidală persistă în conductă pe o lungime relativ mare [12].

Studiul teoretic al cicloanelor, bazat pe curgerea în câmpuri centrifuge a aerului cu suspensii solide, a reușit să precizeze până în prezent numai relații care definesc interdependența diferiților parametri, dar nu și formule pentru dimensionarea structurii. Dacă, în prezent, există posibilitatea de a calcula cu o precizie acceptabilă pierderea de presiune și, într-o oarecare măsură, gradul de separare pentru o formă dată a unui ciclon, nu se cunoaște încă nici o metodă practică pentru determinarea prin calcul a formei optime și a mărimilor constructive, pentru un caz dat. Un calcul exact al ciclonului nefiind posibil, s-au standardizat diferite tipuri de cicloane, care au fost studiate și au dat rezultate bune pentru anumite tipuri de prafuri.

ECUAȚIA MIȘCĂRII UNEI PARTICULE ÎN CICLON

Pentru estimarea eficienței unui ciclon, este interesant traseul de deplasare a particulelor într-un anumit câmp de curgere a gazului. Viteza de lunecare între particule trebuie să fie mică (*Boysan F., Ayers W. H., Swithenbank J.* – (1982) [13]. În cazul în care gazul este puțin

impurificat, se poate presupune că interacțiunea dintre particule este absentă, iar deplasarea gazului este unidirecțională.

Cicloul se caracterizează prin simplitate constructivă, unele aspecte ale comportamentului amestecului de particule și gaz în interiorul acestuia nu sunt încă pe deplin elucidate [13]. Sunt de remarcat rezultatele cercetărilor unor autori precum: *Reznik V. A., Matsnev V.V.* – (1971), *Leith D., Mehta D.* – (1973), *Abrahamson J., Martin C. G., Wong K.K.* – (1978), *Swift P.* – (1985), *Gupta A.K., Lilley D.G., Syred N.* – (1985) [14], *Meissner P., Loffler F.* – 1978; *Reydon R.F., Gauvin W.H.* (1981), *Ogawa A.* (1984, 1997) [3].

Stabilirea ecuației diferențiale a traiectoriei radiale a unei particule care se deplasează într-un gaz care pătrunde în interiorul unui ciclon poate fi determinată pe baza bilanțului de forțe care acționează asupra acesteia pe baza următoarelor ipoteze simplificatoare [15]:

- particula solidă în mișcare are formă sferică, cu suprafață exterioară netedă;
- mișcarea particulei nu este influențată de prezența particulelor învecinate;
- forța de atracție radială a unei particule este determinată de legea lui *Stokes G.G.*;
- viteza radială a gazului este nulă;
- componenta vitezei tangențiale a particulei v_{θ} este egală cu cea a curentului de gaz v_t ,

astfel încât nu există mișcare relativă în direcția tangențială între particulă și gaz;

- componenta vitezei tangențiale este legată de poziția radială prin modificarea formei ecuației vârtejului gazului ideal [3, 6, 10, 16-23]:

$$v_{\theta} \cdot R^n = v_t \cdot R^n = ct., \quad (1)$$

unde n este un parametru, care pentru vârtejul liber este egal cu unitatea; experimental s-a arătat că într-un ciclon domeniul lui $n = 0,5 \dots 0,9$ [16, 17, 19, 21, 24, 25] sau $n = 0,4 \dots 0,8$ [3], în concordanță cu mărimea ciclonului și temperatura gazului. Pentru evaluarea exponentului n se recomandă următoarea ecuație empirică:

$$n = 0,263 \cdot R^{0,14}, \quad (2)$$

unde R este raza interioară a corpului cilindric al ciclonului în metri. În lucrarea [3] se prezintă corelarea:

$$(v_t)_{r=R} / v_i = 2,15 \cdot [a \cdot b / (D \cdot D_e)]^n, \quad (3)$$

dimensiunile aparținând egalității de mai sus fiind redată în figura 1.

S-a constatat experimental că exponentul n poate fi exprimat prin relația [32]:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \cdot D^{0,14}) \cdot (T / 283)^{0,3}, \quad (4)$$

T reprezentând temperatura absolută a mediului impurificat, în grade K , iar D - diametrul interior al părții cilindrice a ciclonului, în metri. Egalitatea de mai sus este atribuită lui *Alexander R. McK.* (1949) (n. 1842 – d. 1912) [3, 26 - 28].

Notă: Lucrarea [10] prezintă o ușoară modificare a expresiei lui n sub forma:

Aspecte generale privind mișcarea particulelor solide în interiorul cicloanelor cu alimentare tangențială, folosite pentru desprăfuirea a gazelor industriale uscate (I)

$$n = 1 - (1 - 0,50 \cdot D^{0,14}) \cdot (T / 283)^{0,3}, \quad (5)$$

atribuită autorilor **Li E., Wang Y.** (1989), în care D este exprimat în metri.

Lucrarea [29] prezintă formula:

$$n = 1 - (1 - 0,016 \cdot D^{0,14}) \cdot (T / 283)^{0,3}. \quad (6)$$

Notă: În lucrarea [25], egalitatea (1) se indică pentru vârtejul liber al gazului în interiorul ciclonului, delimitat de o rază a care îl separă de vârtejul forțat ($a < r < 0,5 \cdot D = R$), D reprezentând diametrul interior al ciclonului; pentru $0 < r < a$, se manifestă egalitatea $v_i \cdot r = ct$. Lucrările [3, 21, 22] prezintă corelarea de tipul $v_i = (R/r)^n \cdot v_i$, v_i reprezentând viteza la alimentarea ciclonului cu gaz impurificat. **Shephers C.B.** și **Lapple C.E.** – (1939), indică pentru $n = 0,5$ [21].

În cazul în care ciclonul lucrează la temperaturi diferite, exponentul n poate fi determinat din relația:

$$(1 - n_1) / (1 - n_2) = T_1 / T_2. \quad (7)$$

Pe baza acestor ipoteze, din ecuația generală a lui **Stokes G. G.** se obține:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{18 \cdot \mu_g}{d_p^2 \cdot \rho_p} \cdot \frac{dR}{dt} - v_{t2} \cdot R^{2n} \cdot \frac{1}{R^{2n+1}} = 0, \quad (8)$$

în care $v_i \cdot R^n = v_{t2} \cdot R_2^n = v_{gi} = ct$, μ_g – vâscozitatea gazului, d_p – diametrul particulei, ρ_p – densitatea materialului particulei. Pentru simplificare, se face ipoteza că este satisfăcător să se considere că $v_{t2} = v_{gi}$ egală cu viteza medie a gazului la intrarea în conducta de alimentare, astfel că:

$$v_{t2} = v_{gi} = v_i = Q_v / (a \cdot b). \quad (9)$$

Nivelul limită al vitezei tangențiale a gazului în zona în care sunt reținute particulele care lunecă în jos, pe perețele ciclonului, către conducta de evacuare, trebuie să fie cât mai redusă (la limită să fie nulă). O mică eroare este introdusă, prin egalarea $R = R_2$, unde $v_i = v_{t2}$, după cum a fost menționat mai înainte.

Ecuația (8) nu poate fi rezolvată decât în cazul când $n = 1$. O soluție aproximativă poate fi obținută neglijând ordinul al doilea al derivatei, ceea ce înseamnă că mișcarea radială a particulei spre perețele ciclonului este constantă, care este evident un neadevăr. Pe baza acestei ipoteze ecuația diferențială aproximativă devine:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d_p^2 \cdot v_{t2}^2 \cdot \rho_p \cdot R^{2n+1}}{18 \cdot \mu_g} \cdot \frac{1}{R^{2n+1}}. \quad (10)$$

Integrând ecuația (10) rezultă durata de parcurgere a distanței când particula se deplasează de la poziția inițială R_1 la R ca fiind:

$$t = \frac{9 \cdot \mu_g}{\rho_p \cdot (m+1)} \cdot \left(\frac{R_2}{v_{t2} \cdot d_p} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{R}{R_2} \right)^{2n+1} - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2n+1} \right]. \quad (11)$$

Dacă particula atinge peretele ciclonului pe durata t , atunci $R = R_2$ și egalitatea (11) devine:

$$t = \frac{9 \cdot \mu_g}{\rho_p \cdot (n+1)} \cdot \left(\frac{R_2}{v_{t2} \cdot d_p} \right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2n+1} \right]. \quad (12)$$

Este evident că ipoteza conform căreia viteza radială a gazului este nulă, în vederea determinării ecuației traiectoriei particulei, nu mai este valabilă în zona situată între partea cea mai de jos și conducta de evacuare a gazului. Corectarea care trebuie făcută este necesar să aibă în vedere mișcarea radială a gazului spre interior, mișcare care determină fenomenul de întoarcere a vârtejului principal și crearea celui de al doilea vârtej ascendent de evacuare. Astfel, introducând o corectare pe baza forțelor de atracție ale particulelor (ecuația lui **Stokes G.G.**), ecuația diferențială a mișcării particulei (8) devine:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{18 \cdot \mu_g}{d_p^2 \cdot \rho_p} \cdot \frac{dR}{dt} - v_{t2} \cdot R^{2n} \cdot \frac{1}{R^{2n+1}} + \frac{18 \cdot \mu_g}{d_p^2 \cdot \rho_p} \cdot v_{rg} = 0, \quad (13)$$

în care v_{rg} reprezintă viteza radială de întoarcere a gazului, și poate fi estimată astfel:

$$v_{rg} = \frac{Q_v}{\pi \cdot D_e \cdot l_n} = \frac{v_{t2} \cdot a \cdot b}{\pi \cdot D_e \cdot l_n}, \quad (14)$$

l_n având forma:

$$l_n = 2,3 \cdot D_e \cdot \left[D^2 / (a \cdot b) \right]^{1/3}, \quad (15)$$

geometria ciclonului fiind redată de figura 1.

Importanța acestei corecții depinde nu numai de mărimea termenului constant adițional din relația (13), cât și de raportul dintre cantitatea de praf colectată între partea de jos și ieșirea din ciclon, care face ca să rezulte o diferență mare între durata minimă și cea maximă de staționare a gazului în ciclon.



Aspecte generale privind mișcarea particulelor solide în interiorul cicloanelor cu alimentare tangențială, folosite pentru desprăfuirea a gazelor industriale uscate (I)

În lucrarea [30] este considerată o singură particulă sferică (cu suprafața exterioară netedă) care se mișcă în partea superioară a ciclonului, în lungul razei curente r , măsurată de la axa centrală, aflată sub acțiunea forței de tracțiune, a forței centrifuge și a forței de flotabilitate (plutire). Particulele mai mari (mai dense) din fluxul rotativ au mai multă inerție pentru a urma curba strânsă a fluxului și, astfel, lovesc peretele interior al ciclonului, căzând în partea de jos a acestuia, de unde pot fi îndepărtate. Gazul impurificat este introdus în ciclon cu o viteză inițială $v_{gi} = v_{in}$. Ulterior acesta se mișcă după o elicoidă, astfel încât asupra particulei acționează două componente: viteza tangențială $v_t = v_\theta$ și o viteză radială orientată către peretele exterior al ciclonului v_r . Presupunând legea lui **Stokes G. G.** (n. 1819 – d. 1903), forța de antrenare în direcția radială spre suprafața interioară a corpului cilindric se opune mișcării particulei, având expresia (forța rezistentă):

$$F_d = -9,42 \cdot d_p \cdot \mu_g \cdot v_r, \quad (16)$$

v_r reprezentând viteza relativă dintre gaz și particulă. Lucrarea [31] recomandă relația (16) pentru $10^{-4} < Re < 0,2$.

Pentru alte domenii ale numărului **Reynolds O.** (n. 1842 – d. 1912), aceeași lucrare [31] indică expresii corespunzătoare:

$$a) F_d = -9,42 \cdot \mu_g \cdot d_p \cdot v_r \cdot (1 + 0,15 \cdot Re^{0,687}); \quad 0,2 < Re < 500 \dots 1.000; \quad (16)_1$$

$$b) F_d = -0,173 \cdot d_p^2 \cdot \rho_g \cdot v_r^2; \quad 500 \dots 1.000 < Re < 2 \cdot 10^5. \quad (16)_2$$

Autorii **Richardson F. J., Coulson M. J., Harker J., Backhurst J.** – (2002) [31] indică expresia:

$$c) F_d = -0,785 \cdot d_p^2 \cdot \rho_g \cdot v_r^2 \cdot (1,84 \cdot Re^{-0,31} + 0,293 \cdot Re^{0,06})^{3,45}; \quad Re > 2 \cdot 10^5. \quad (16)_3$$

Notă: Lucrarea [32] oferă relația:

$$F_d = -0,5 \cdot C_D \cdot A_p \cdot \rho_p \cdot v_r^2, \quad (16)_4$$

în care C_D reprezintă un coeficient empiric de rezistență; A_p – aria particulei, normală pe direcția de deplasare a acesteia. Când dimensiunea particulei este comparabilă valoric cu dimensiunea drumului liber al moleculelor gazului, se ține seama de efectul de “discontinuitate” al mediului gazos. Acest lucru se realizează prin intermediul factorului de corecție **Cunningham E.** (n. 1881 – d. 1977) sau al factorului de lunecare C_c care intră în ecuația lui **Stokes G.G.** sub forma:

$$F_d = -9,42 \cdot d_p \cdot \mu_g \cdot v_r / C_c, \quad (16)_5$$

unde:

$$C_c = 1 + K_n \cdot [1,257 + 0,40 \cdot \exp(-1,10 / K_n)], \quad (16)_6$$

în care K_n reprezintă numărul lui **Knudsen M.** (n. 1871 – d. 1949) [32].

Folosind ρ_p ca densitate a materialului particulei sferice, forța centrifugă în direcția razei, spre exterior, este de forma:

$$F_c = 0,523 \cdot \rho_p \cdot d_p^3 \cdot v_t^2 / r, \quad (17)$$

neglijându-se densitatea gazului.

Notă. În lucrarea [23], luând în considerare și densitatea gazului, relația (17) se adaptează corespunzător:

$$F_c = 0,523 \cdot (\rho_p - \rho_g) \cdot d_p^3 \cdot v_t^2 / r. \quad (17)_1$$

Forța de flotabilitate (plutire) este în direcția radială, orientată spre axa de rotire (opusă forței centrifuge), cu relația:

$$F_b = -0,523 \cdot d_p^3 \cdot v_t^2 / r. \quad (18)$$

Această forță se află pe un volum de fluid care lipsește în spatele particulei (egal cu volumul acesteia).

Determinarea deplasării radiale spre interiorul corpului ciclonului se găsește folosind a doua lege a mișcării a lui **Newton I.** (n. 1643 – d. 1727), scrisă sub forma:

$$m_p \cdot \frac{dv_r}{dt} = F_d + F_c + F_b, \quad (19)$$

unde m_p reprezintă masa particulei.

Pentru simplificarea stării analizate se poate presupune că particula a atins “**viteza critică**”, adică starea când accelerația dv_r/dt este nulă. Acest lucru se întâmplă în momentul când viteza radială a căpătat suficientă forță de rezistență pentru a contracara forța centrifugă și pe cea de flotabilitate ($F_d + F_c + F_b = 0$), deducându-se:

$$v_r = \frac{1}{18} \cdot \frac{d_p^2}{\mu_g} \cdot \frac{v_t^2}{r} \cdot (\rho_g - \rho_p). \quad (20)$$

Din relația anterioară se remarcă faptul că dacă $\rho_g > \rho_p$ particula se îndreaptă către axa de rotire, în timp ce în cazul când $\rho_g < \rho_p$, aceasta se deplasează către suprafața interioară a corpului ciclonului. În cele mai multe cazuri această soluție este folosită ca ghid pentru proiectarea unui separator ciclonic, în timp ce performanța reală este evaluată și modificată empiric.

În condiția de echilibru când accelerația radială nu este zero ($dv_r/dt \neq 0$), trebuie rezolvată ecuația generală de mai sus. Rearanjarea termenilor permite obținerea egalității:

$$\frac{dv_r}{dt} + \frac{18 \cdot \mu_g}{\rho_p \cdot d_p^2} \cdot v_r - \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_p}\right) \cdot \frac{v_t^2}{r} = 0, \quad (21)$$

Aspecte generale privind mișcarea particulelor solide în interiorul cicloanelor cu alimentare tangențială, folosite pentru desprăfuirea a gazelor industriale uscate (I)

care este o ecuație diferențială de ordinul 2, de forma: $x'' + c_1 \cdot x' + c_2 = 0$.

Experimental s-a constatat că viteza tangențială a fluxului de rotire este proporțională cu r^2 , însemnând că viteza de alimentare, stabilită, controlează/impune viteza vortexului în interiorul ciclonului.

Din cele de mai sus se remarcă o analiză simplificată, fără a se considera condițiile concrete care caracterizează procesul complicat de separare a particulelor din gazul impurificat.

CONCLUZII

Cicloanele cu alimentare tangențială a gazelor industriale impurificate cu particule solide și-au găsit utilizarea practică în fața altor tipuri constructive, practica demonstrând acest lucru.. Ca aparat de separare a particulelor solide din gaze, ciclonul a fost folosit cu peste o sută de ani în urmă. În general, este considerată o influență redusă a presiunii interioare sau a celei exterioare, a temperaturii gazelor și a mediului exterior sau a umezelii amestecului. Pentru eficientizare desprăfuirii acești parametri nu trebuie neglijați, întotdeauna.

Curgerea tridimensională a gazelor cu praf în interiorul ciclonului ridică mari dificultăți în analiza procesului de separare a celor două componente. Este evidentă starea actuală care permite evaluarea interdependenței dintre parametri, fără a putea fi prezente formule exacte pentru dimensionarea utilajului. Nu se diminuează importanța actuală a modelării proceselor tehnologice, ca și cel de față, nici metoda elementului finit. Cercetările efectuate și prezentate în documentația de specialitate aduce, după caz, efecte favorabile, care trebuie să se ia în considerație, ca modalitate de analiză particulară.

Într-o lucrare ulterioară vor fi expuse alte rezultate ale cercetărilor dezvoltate, pentru a răspunde evaluării gradului de desprăfuire a gazelor impurificate cu praf.

BIBLIOGRAFIE

1. Marinuc M., Rus F. *The effect of particle size and input velocity on cyclone separators process*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Serie II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, vol. 4 (53), nr. 2, 2011, p. 117 – 122.
2. Benthum v. R., *Cyclone performance (Investigation towards the efficiency of a multi – cyclone dust separator in biomass combustion)*, Technische Universiteit of Tecnology, Faculty of Mechanical Engineering, Eindhoven, Holand, August 2007.
3. Cortés Cr., Gil Antonia, *Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators*, Progress in Energy and Combustion Science, 33, 2007, p. 409 – 452.
4. Ordinatz W., *Combaterea prafului în întreprinderile industriale*, Editura Karl Hansen, München, 1958
5. Iatan I. R., *Progrese și tendințe în domeniul utilajelor pentru desprăfuirea gazelor industriale*, Institutul Politehnic București, 1971
6. Bîrsan I. G., Panturu D., *Utilaje pentru purificarea gazelor*, vol. I, Editura EVRIKA!, Brăila, 1997
7. Ene Gh., *Ingineria separării mediilor eterogene*, Editura Printech, București, 2011
8. Bratu A. Em., *Operații și utilaje în industria chimică*, vol. I., Editura Tehnică, București, 1969.
9. xxx *Cyclonic devices*, cap.8, p.333-369 (<http://calliope.dem.uniud.it/CLASS/IMP-CHIM/Benitezcap8.PDF>)
10. Gimbut J., Choong T.S.Y., Fakhru'L-Razi A., Chuah G.T., *Prediction of the effect of dimension, particle density, temperature, and inlet velocity ob cyclone collection efficiency*, Jurnal Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia, 40 (F), Jun. 2004, p. 37 – 50.
11. Elsayed K., Lacor Ch., *The effect of cyclone inlet dimensions on the flow pattern and performance*, Applied Mathematical Modelling, vol. 35, 2011, p. 1952 – 1968.

12. Christea Al., Niculescu N., *Ventilarea și condiționarea aerului*, Editura Tehnică, București, 1971.
13. Behrouzi P., *Performance of multicell axial – centry cyclones for industrial gas cleaning*, Thesis, Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, 1988, London, U.K.
14. Drobotă V., *Sisteme recente de ventilare și de condiționare a aerului*, Editura Tehnică, București, 1960.
15. Kasatkin G. A., *Procese și aparate principale în tehnologia chimică* (traducere din limba rusă), Editura Tehnică, București, 1963.
16. Jiao J., *Experimental and numerical study of conventional and dynamic gas cyclones*, Thesis, The University of New Brunswick, Fredericton, Canada, Dec. 2006.
17. Wang L., Parnell B.C., Shaw W.B., Lacey E.R., *A theoretical approach for predicting number of turns and cyclone pressure drop*, Transactions of the ASABE, 49, nr. 2, 2006, p. 491 – 503.
18. Ene Gh., Sima T., *Aspecte privind dimensionarea cicloanelor pentru desprăfuirea gazelor industriale*, Tehnologia Inovativă. Construcția de Mașini, nr. 1, 2015, p. 10 – 19.
19. Wang L., *Theoretical study of cyclone design*, Thesis, Texas A&M University, USA, 2004 - (<https://core.ac.uk/download/pdf/147123938.pdf>).
20. Leith D., Mehta D., *Cyclone performance and design*, Atmospheric Environment – Pergamon Press, vol. 7, 1973, p. 527 – 549, Great Britain.
21. Wang L., Parnell B.C., Shaw W.B., Lacey E.R., *Analysis of cyclone collection efficiency*, The Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems, Texas A&M University, USA, 2003.
22. Brunnmair E., *Entwicklung und modellierung eines neuer hochleistungszyklons zur trennung von feststoff/gas-gemischen*, Dissertation, Mintanuniversität Leoben, Austria, 2010.
23. Altmeyer S., Mathieu V., Jullemier S., Contal P., Midoux N., Rode S., Leclerc P.J., *Comparison of different models of cyclone prediction performance for various operating conditions using a general software*, Chemical Engineering and Processing, 43, 2004, p. 511 – 521.
24. xxx *Removal of particles from gas streams*, ch. 7, p. 391 – 478 (<https://authors.library.caltech.edu/25069/9/AirPollution88 - Ch7.pdf>).
25. Fredriksson Ch., *Exploratory experimental and theoretical studies of cyclone gasification of wood power*, Thesis, Luleå University of Technology, Sweden, 1999.
26. Hashemi B.S., *Development and validation of new equations for prediction of the performance of tangential cyclones*, IJE Transactions A: Basics, vol. 16, nr. 2, 2003, p. 109 – 124 (https://www.ije.ir/article_71431_301c7a73534545f2894329df75910f02.pdf).
27. Hashemi S.B., *A mathematical model to compare the efficiency of cyclones*, Chem. Eng. Techn., 29, nr. 12, 2006, p. 1444 – 1454.
28. De Paula A.C.O., Henriquez J.R., Figueiredo F.A.B., *Validation of a procedure for dimensioning a cyclone separator for circularizing fluidized bed gasifier*, 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 17 – 19 July 2017, Portorož, Slovenia.
29. Betoșkin G. A., *Procesși i aparati pãleocistki*, Pezenskii Gosudarstvennãi Universitet (PENZA) - <http://echemistry.ru/assets/files/books/ekologiya/skrubbery.pdf>, Rosiiskaia Federația, 2005 – <http://echemistry.ru/assets/files/books/ekologiya/skrubbery.pdf>.
30. xxx *Cyclonic theory* - https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclonic_separation.
31. Zhang J., Yan Sh., Yuan D., Alici G., Nguyen T.N., *Fundamentals and applications of inertial microfluidics: A review*, University of Wollonong, Research Online, Faculty of Engineering of Information Sciences – Paper, Part A, Australia, 2016, p. 1– 38 – <http://ro.uow.edu.au/eispapers/4850>.
32. Silva E., *Controla da Poluição do ar na industria açuacareira* – <https://nest.unifei.edu.br/english/pags/downloads/files/STAB-2.pdf>.
33. Rodrigues V. M., Aronca O. F., Barrozo S. A. M., Damasceno R. J. J., *Analysis o the efficiency of a cloth cyclone: The effect of the permeability of the filtering medium*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 20, nr. 4, 2003, p. 435 – 443.