

PIOTR KANIEWSKI

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Identyfikacja modelu matematycznego procesu klasyfikacji w klasyfikatorze przepływowym z warstwą fluidalną

Wstęp

Klasyfikacja jest jedną z podstawowych operacji przerobczych surowców mineralnych. Pod pojęciem klasyfikacji należy rozumieć proces rozdziału materiału ziarnistego na co najmniej dwa produkty o określonych rozmiarach ziaren. Klasyfikatory realizujące wymieniony proces dzielą się na szereg odmian [1]. Jednym z ciekawszych rozwiązań takich urządzeń jest przepływowy klasyfikator odśrodkowy z warstwą fluidalną. Urządzenie to pozwala na realizację procesu klasyfikacji w formie dwustopniowej. W wyniku fluidyzacji złoża ziaren, dla których graniczna prędkość opadania jest mniejsza od prędkości strumienia wznoszącego, przechodzą do produktu drobnego $\dot{m}_c + \dot{m}_f$ (odśrodkowy stopień klasyfikacji), pozostałe zaś do produktu grubego \dot{m}_k (grawitacyjny stopień klasyfikacji). Iloraz \dot{m}_c/\dot{m}_k określany jest przez *Sztabę* [2] jako wychód.

Model matematyczny

W celu matematycznego opisu procesu klasyfikacji w przepływowym klasyfikatorze odśrodkowym postanowiono skorzystać z teorii kinetyczno-cząsteczkowej [3]. Ruch cząstek, szczególnie w stopniu grawitacyjnym klasyfikatora jest chaotyczny co oznacza, że poruszają się one w różnych kierunkach z różną prędkością [4]. Fakt ten umożliwia skorzystanie z równania *Maxwella-Boltzmann*a opisującego statystyczny rozkład prędkości cząstek gazu w danej temperaturze [3]

$$f(v) = \frac{dP}{dv} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{\frac{1}{2}mv^2}{kT} \right) \quad (1)$$

Niniejszy model matematyczny uwzględnia teorię prawdopodobieństwa [5]. W związku z powyższym zakłada się, że do wyniesienia cząstki z warstwy konieczne jest zaistnienie dwóch zdarzeń: zdarzenie *A* – znalezienie się cząstki na granicy warstwy pęcherzowej, zdarzenie *B* – unos cząstki z granicy warstwy. Zdarzenie *B* jest uwarunkowane wystąpieniem zdarzenia *A*. Iloczyn $P(A)P_A(B)$ nazywany jest prawdopodobieństwem wyniesienia cząstek z warstwy w jednostce czasu lub szybkością klasyfikacji:

$$\phi = P(A)P_A(B) \quad (2)$$

Prawdopodobieństwo zdarzenia *A* definiuje się jako:

$$P(A) = \frac{\langle v \rangle n(x) S}{4n(x)SH} = \frac{\langle v \rangle}{4H} \quad (3)$$

gdzie:

- $\langle v \rangle$ – średnia prędkość cząstek w warstwie,
- $n(x)$ – koncentracja cząstek w warstwie,
- S – pole powierzchni warstwy,
- H – wysokość warstwy,
- x – rozmiar cząstki.

Średnią prędkość cząstek w warstwie wyraża wzór:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{4}{\pi\beta}} \quad \beta = \frac{m}{2kT} \quad (4)$$

gdzie:

- k – stała *Boltzmann*a,
- m – masa cząstki,
- T – temperatura cząstki w warstwie.

Prawdopodobieństwo zdarzenia *B* wyraża się równaniem:

$$P_A(B) = \int_0^{v_{\max}} f(v) dv \quad (5)$$

Wypadkowa prędkość cząstki wynosi:

$$\alpha(x) = v_{\text{gaz}} - v_{\text{uc}}(x) \quad (6)$$

gdzie:

- v_{gaz} – prędkość gazu,
- v_{uc} – prędkość unoszenia cząstki

Prędkość unoszenia cząstki [6]:

$$v_{\text{uc}}(x) = Ax \quad (7)$$

We wzorze (7) wielkość *A* przedstawiona jest następującą zależnością:

$$A = \left[\frac{4g\rho_{\text{mat}}}{39\nu^{0.5}\rho_{\text{gaz}}} \right]^{1/1.5} \quad (8)$$

a poszczególne symbole we wzorze (8) oznaczają:

- $\rho_{\text{mat}}, \rho_{\text{gaz}}$ – gęstości materiału i gazu,
- ν – lepkość dynamiczna,
- g – przyspieszenie ziemskie

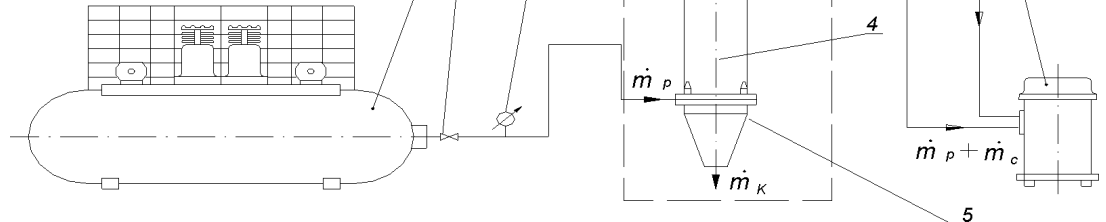
Ostatecznie prawdopodobieństwo zdarzenia *B* wynosi:

$$P_A(B) = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{v_{\max}} \exp\{-\beta[\alpha(x) - v]^2\} dv \quad (9)$$

Zależność na szybkość klasyfikacji ze znakiem ujemnym można nazwać równaniem różniczkowym kinetyki klasyfikacji w warstwie:

$$\frac{dN(x)}{dt} \frac{1}{N(x)} = -\phi = -P(A)P_A(B) \quad (10)$$

- 1 – dynamiczny klasyfikator przepływowy,
 2 – górna część kolumny klasyfikatora z zabudowanym elementem ruchomym (wirmik),
 3 – komora zasypowa,
 4 – kolumna klasyfikatora,
 5 – dolna część kolumny klasyfikatora,
 6 – sprężarka tłokowa,
 7 – zawór redukcyjny,
 8 – manometr,
 9 – urządzenie wyciągowe,
 10 – silnik elektryczny,
 11 – cyklon,



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Po rozwiązaniu powyższego równania otrzymuje się wzór na liczbę cząstek o rozmiarze x znajdujących się w kolumnie klasyfikatora:

$$N|_{t=0} = N_0$$

$$N = \begin{cases} N_0 \exp[-A_3 x^{-1,5} P(B)t] & H = \text{const} \\ N_0 - A_2 x^{-1,5} P(B)t & H = \text{var} \end{cases} \quad (11)$$

gdzie:

$$A_2 = \frac{nS}{4} \sqrt{\frac{48kT}{\pi^2 \rho_{mat}}}, \quad A_3 = \frac{1}{4H} \sqrt{\frac{48kT}{\pi^2 \rho_{mat}}}$$

Metodyka badań

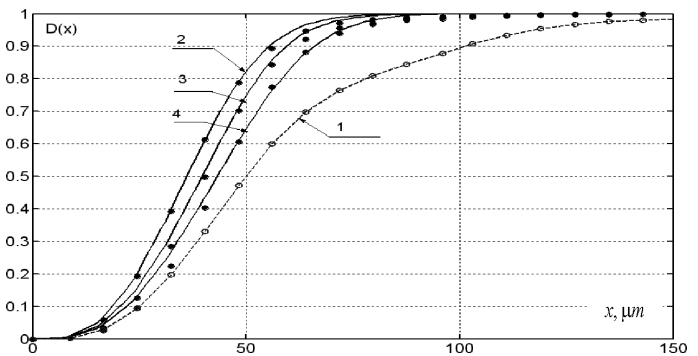
Schemat stanowiska do badań procesu klasyfikacji przepływowej przedstawiono na rys. 1. Badaniom poddany został piasek kwarcowy o uziarnieniu $63 \div 100 \mu\text{m}$. W trakcie pomiarów zmianom poddawano ciśnienie czynnika zasilającego p , czas rozdziału ziaren t oraz prędkość obrotową wirmika klasyfikatora. Wartością niezmienną podczas badań była masa materiału nadawcy. Po każdym jednorazowym eksperymencie pobierane były próbki materiału w celu określenia rozdziału mas produktów klasyfikacji. Na podstawie pobranych próbek dokonano analizy składu ziarnowego produktów klasyfikacji z wykorzystaniem urządzenia IPS.

Wyniki badań

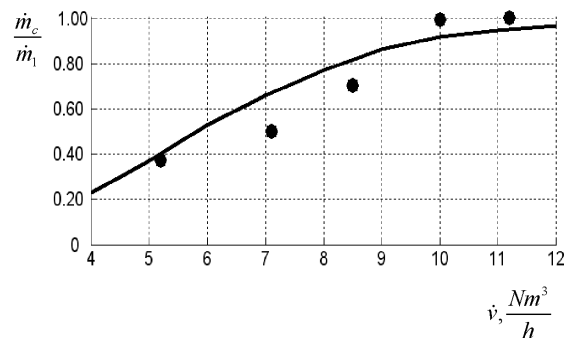
Na rys. 2 i 3 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można stwierdzić że, zmiany prędkości obrotowej wirmika wyraźnie wpływają na skład ziarnowy końcowych produktów klasyfikacji. Udział grubego produktu klasyfikacji maleje wraz ze wzrostem ciśnienia czynnika zasilającego natomiast rośnie wraz ze zwiększaniem obrotów wirmika. Skład ziarnowy drobnego produktu klasyfikacji otrzymany dzięki analizie IPS został poprawnie zweryfikowany algorytmem numerycznym. Rezultaty niniejszej pracy mogą być wykorzystane w celu optymalizacji procesu klasyfikacji w klasyfikatorach z warstwą fluidalną.



Rys. 2. Zestawienie składów ziarnowych drobnego produktu klasyfikacji wyznaczonych eksperymentalnie (kropki) oraz obliczeniowo (linie) 1 – 0 s, 2 – 30 s, 3 – 60 s, 4 – 120 s



Rys. 3. Zależność ilorazu masowego \dot{m}_c/\dot{m}_1 od strumienia objętości powietrza dla ustalonego czasu klasyfikacji

LITERATURA

1. S. Blaschke: Przeróbka mechaniczna kopalin, Katowice, Wydawnictwo Śląsk, 1982.
2. K. Sztaba: Metoda statystyczna badania procesu klasyfikacji mokrej. Archiwum górnictwa 1, 1956.
3. G.M. Barrow: Chemia fizyczna, Warszawa, PWN, 1973.
4. V.P. Zhukov: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya t.44, e.2, 2001.
5. M. Krzyśko: Wykłady z teorii prawdopodobieństwa, Warszawa, WNT, 2000.
6. V.E. Mizonov, S. Ushchakov: Aerodinamicheskaya klassifikatsiya poroshkov, Moskow, Khimiya, 1989.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy.