

Zbigniew BIS, Władysław GAJEWSKI, Jacek LESZCZYŃSKI
Instytut Maszyn Ciepłych, Politechnika Częstochowska

DIAGNOSTYKA STANU FLUIDYZACJI MATERIAŁÓW SYPKICH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodykę identyfikacji stanu fluidyzacji materiałów sypkich, opartą na stochastycznym modelu procesu zmian koncentracji rejestrowanej przy użyciu sondy fotoelektrycznej.

DIAGNOSTICS OF FLUIDIZATION STATE OF SOLID PARTICLES

Summary. The identification of the fluidization state of solids particles was presented. The method of identification is based on the stochastic model of concentration changes measured by using an optical probe.

EINE IDENTIFIZIERUNGSMETHODIK DES FLUIDISATIONSZUSTANDES DES SCHÜTTGUTS

Zusammenfassung. In der Arbeit ist die Identifizierungsmethodik des Fluidisationszustandes des Schüttguts vorgestellt, die auf dem stochastischem Modell der Konzentrationsänderungen, registrierten mit einer photoelektronischen Sonde, aufgebaut ist.

1. WSTĘP

Kluczowym zagadnieniem analizy przepływu dwufazowego gaz–ziarna materiału sypkiego jest identyfikacja jego struktur m.in. w celu ustalenia ogólnych podstaw do sformułowania kryteriów klasyfikacji jego stanów. Spośród stanów takiego układu dwufazowego, możliwych do praktycznego wykorzystania, najbardziej interesujący jest stan fluidyzacji obejmujący stosunkowo szeroki zakres prędkości przepływu gazu i koncentracji ziaren materiału sypkiego. Jeśli można uznać za wyczerpujące rozpoznanie stanu filtracji i początku fluidyzacji układu gaz – warstwa materiału sypkiego, to ciągle nie

rozwiązany pozostaje problem ustalenia np. jednoznacznego kryterium wyznaczającego zakres fluidyzacji cyrkulacyjnej.

Niniejsza praca zawiera propozycję w miarę uogólnionego sposobu podejścia do modelowego opisu struktury warstw fluidalnych występujących w różnych stanach.

2. MODEL STRUKTURY WARSTWY FLUIDALNEJ

Charakterystyczną osobiwością warstw fluidalnych jest intensywny, chaotyczny ruch ziaren materiału sypkiego, mający zasadniczy wpływ zarówno na strukturę warstwy, jak i na przebieg procesów transportu oraz reakcji chemicznych realizowanych w tych warunkach. Zmiany w czasie prędkości poszczególnych ziaren lub ich grup w przepływie dwufazowym wywołane są następującymi zasadniczymi przyczynami:

- bezpośrednim oddziaływaniem z omywającym je płynem,
- wzajemnym oddziaływaniem z sąsiednimi ziarnami drogą zarówno bezpośrednich zderzeń, jak również poprzez gaz,
- znacznym niekiedy zróżnicowaniem ich rozmiarów, kształtu i stanu powierzchni,
- chwilową lokalizacją bądź to we wnętrzu pęcherza gazowego, lub skupiska. Czynniki te są wzajemnie zależne, a niektóre z nich są wręcz trudne do sformułowania (mechanizm powstawania pęcherzy gazowych, łączenia się ziaren w skupiska itp.).

Powszechnie już dziś wiadomo, że struktura gazowych warstw fluidalnych szerokiej grupy materiałów sypkich (z wyjątkiem ultradrobnych) jest niejednorodna z występowaniem w niej charakterystycznych elementów, tj. pęcherze gazowe, skupiska ziaren, tłoki itp. Występowanie owych niejednorodności jest objawem znacznego zróżnicowania koncentracji materiału sypkiego w przestrzeni kolumny fluidyzacyjnej, będącej następstwem losowych przemieszczeń ziaren [2]. Obecność w warstwie fluidalnej pęcherzy gazowych lub stosunkowo dużych skupisk ziaren wykonujących mniej lub bardziej bezładny, pionowy ruch wykazali zarówno autorzy prac [2, 7] poświęconych fluidyzacji pęcherzowej, jak również autorzy prac [2, 7, 9] poświęconych cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej.

Wnikliwa wizualna obserwacja struktury warstw fluidalnych (pęcherzowych i cyrkulacyjnych) wykazała, że w obszarze zajęтым przez tego rodzaju układy zawsze można wyróżnić następujące dwa typowe podobszary:

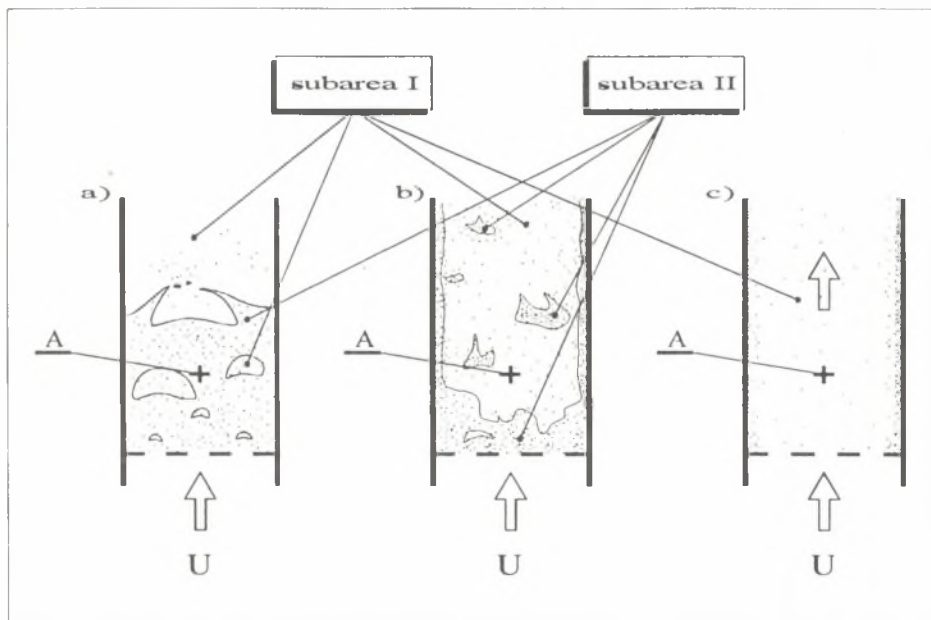
- podobszar I rozrzedzonej zawiesiny ziaren w gazie o niskiej koncentracji,
- podobszar II skupisk (aglomeratów) ziaren materiału sypkiego o wysokiej koncentracji.

W przypadku warstw pęcherzowych pierwszy z nich obejmuje wnętrze pęcherzy gazowych oraz strefę nadwarstwową [2]. W cyrkulacyjnej warstwie

fluidalnej obszar ten zajmuje przeważającą część przestrzeni kolumny fluidyzacyjnej. Drugi z wyodrębnionych podobszarów w warstwach pęcherzowych występuje w postaci tzw. fazy emulsyjnej [7], natomiast w warstwie cyrkulacyjnej tworzą go skupiska ziaren unoszące się w strumieniu zawiesiny stanowiącej pierwszy z wyodrębnionych obszarów. Schematyczne rozmieszczenie obu podobszarów dla różnych stanów fluidyzacji prezentuje rys. 1.

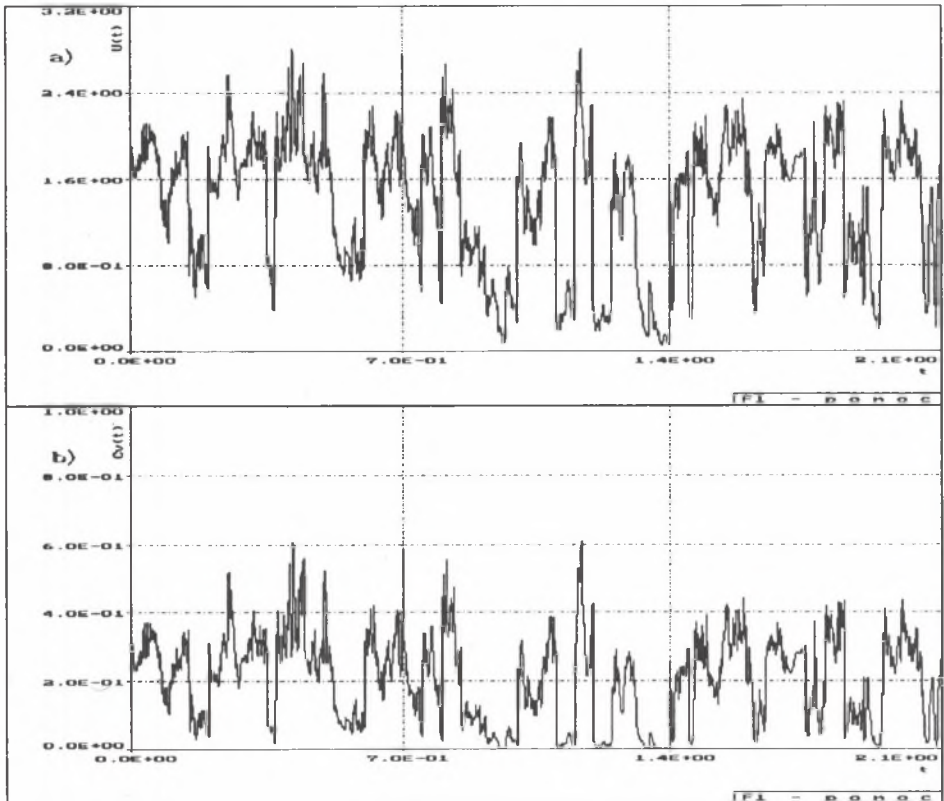
W określonym punkcie przestrzeni zajętej przez warstwę pęcherzową, rozwiniętą lub cyrkulacyjną (np. punkt A rys. 1), oba wyodrębnione wyżej podobszary będą występowały naprzemiennie ze względu na znaczną dynamikę ruchu obu faz – gazowej i stałej.

Jeśli w przypadkowo wybranym punkcie A (rys. 1) umieścimy np. sondę fotoelektryczną [1, 9], to jej sygnał wyjściowy $U(t)$ będzie zawierał informacje o obu wyodrębnionych podobszarach, co ilustruje rys. 2a. Znamienne jest, że przebieg sygnału $U(t)$ cechują znaczne zmiany amplitudy, zależnie od tego czy sonda rejestruje pęcherz lub podobszar rozrzedzonej zawiesiny ziaren, czy też obszar zagęszczony (faza emulsyjna, grupa ziaren).



Rys. 1. Schematy struktury warstw fluidalnych w różnych stanach: a) fluidyzacja pęcherzowa, b) cyrkulacyjna, c) transport pneumatyczny

Fig. 1. Structures diagram for several fluidization states: a) bubbling fluidization, b) circulating fluidization, c) pneumatic conveying



Rys. 2. Przebieg realizacji sygnału sondy fotoelektrycznej: a) sygnał napięciowy, b) sygnał zmian koncentracji. Piasek kwarcowy; $d_p = 158 \cdot 10^{-6}$ m, $U = 0,79$ m/s

Fig. 2. Some signal realization measured by the probe: a) voltage output signal, b) volume concentration signal. Quartz sand; $d_p = 158 \cdot 10^{-6}$ m, $U = 0,79$ m/s

Amplituda sygnału $U(t)$ zawiera informacje o koncentracji ziaren materiału sypkiego. W zależności od zastosowanej sondy wobec odpowiedniego wyrażenia skalującego można sygnał $U(t)$ przetworzyć w sygnał $c_v(t)$ [1, 7].

3. MODEL MATEMATYCZNY STOCHASTYCZNEGO PROCESU ZMIAN KONCENTRACJI

Na rys. 2b przedstawiono przekształcony z sygnału $U(t)$ przebieg sygnału $c_v(t)$. Przedstawia on realizację stacjonarnego procesu stochastycznego $c_v(t)$

zmian koncentracji ziaren materiału sypkiego dla wybranej lokalizacji sondy (punkt A rys. 1).

Zgodnie z opisem zawartym w poprzednim rozdziale założono, że procesy $c_{v_1}(t)$ oraz $c_{v_2}(t)$ reprezentują odpowiednio zmiany koncentracji ziaren w podobszarach I i II. O procesach $c_{v_1}(t)$ oraz $c_{v_2}(t)$ zakładamy, że są stacjonarne i statystycznie niezależne. Wartości, jakie przyjmują oba wyodrębnione procesy, opisują odpowiednie funkcje gęstości prawdopodobieństw $f_1(c_v)$ i $f_2(c_v)$, przy czym ich wartości średnie winny spełniać warunek $c_{v_1} \leq c_{v_2}$.

Zjawisko występowania w określonym punkcie analizowanej przestrzeni (np. punkt A rys. 1) wyodrębnionych podobszarów I lub II wykazuje cechy procesu losowego, który może być reprezentowany przez dwuwartościowy proces stochastyczny $g(\mathbf{x}, t)$ w postaci:

$$g(\mathbf{x}, t) = \begin{cases} 1 & \text{– jeżeli w chwili } t \text{ punkt A} \\ & \text{należy do podobszaru II,} \\ 0 & \text{– jeżeli w chwili } t \text{ punkt Aa} \\ & \text{znajduje się w podobszarze I,} \end{cases} \quad (1)$$

O procesie $g(\mathbf{x}, t)$ zakładamy, że chwile czasu $\{t_k, k = 0, 1, 2, \dots\}$, w których następuje przeskok $g(\mathbf{x}, t)$ z wartości 1 na 0 lub odwrotnie, będą uporządkowanym ciągiem zmiennych losowych rozłożonych na osi rzeczywistej zgodnie z procesem Poissona o parametrze gęstości n [6, 13].

Przyjmujemy, że w przedziałach określonych przez kolejne punkty skok $g(\mathbf{x}, t)$ jest stały i równy 1 lub 0 z prawdopodobieństwem odpowiednio p i $1 - p$. Ponadto zakładamy, że wartości $g(\mathbf{x}, t)$ w poszczególnych przedziałach są statystycznie niezależne.

Wobec powyższego sygnał złożony $c_v(\mathbf{x}, t)$, przedstawiający zmiany w czasie i przestrzeni koncentracji ziaren materiału sypkiego, można przedstawić w postaci:

$$c_v(\mathbf{x}, t) = g(\mathbf{x}, t) c_{v_2}(t) + [1 - g(\mathbf{x}, t)] c_{v_1}(t) \quad (2)$$

Wartość średnią sygnału złożonego reprezentuje zależność:

$$c_v(\mathbf{x}) = \overline{c_v(\mathbf{x}, t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} c_v(\mathbf{x}, t) dt = p(\mathbf{x})c_{v_2} + [1 - p(\mathbf{x})]c_{v_1} \quad (3)$$

gdzie:

$$c_{v_1} = \overline{c_{v_1}(t)}; \quad c_{v_2} = \overline{c_{v_2}(t)}; \quad p(\mathbf{x}) = \overline{g(\mathbf{x}, t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} g(\mathbf{x}, t) dt \quad (4)$$

Wartość $p(\mathbf{x})$ wyraża także udział objętościowy podobszaru II.

Funkcję autokorelacji sygnału złożonego (2) można obliczyć korzystając z zależności na funkcję autokorelacji sygnału będącego sumą lub iloczynem dwu procesów stochastycznych [6]:

$$R_{c_v c_v}(\tau) = R_{gg}(\mathbf{x}, \tau) \cdot \left[R_{c_{v_2} c_{v_2}}(\tau) - R_{c_{v_1} c_{v_1}}(\tau) \right] + R_{c_{v_1} c_{v_1}}(\tau) \quad (5)$$

gdzie:

$$R_{gg}(\mathbf{x}, \tau) = p^2(\mathbf{x}) + p(\mathbf{x}) [1 - p(\mathbf{x})] e^{-n|\tau|} \quad (6)$$

jest funkcją autokorelacji binarnego sygnału asynchronicznego całkowicie losowego [13].

Wariancja oraz wartość średniokwadratowa sygnału złożonego (3) będzie równa odpowiednio:

$$\sigma_c^2(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x}) [1 - p(\mathbf{x})] (c_{v_2} - c_{v_1})^2 + p(\mathbf{x}) \delta_2^2 + [1 - p(\mathbf{x})] \delta_1^2 \quad (7)$$

gdzie:

δ_1 i δ_2 – odchylenia standardowe sygnałów $c_{v_1}(t)$ i $c_{v_2}(t)$.

$$\overline{c_v^2}(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x}) \overline{c_{v_2}^2} + [1 - p(\mathbf{x})] \overline{c_{v_1}^2} \quad (8)$$

Zaproponowany model matematyczny stochastycznego procesu zmian koncentracji materiału sypkiego, sformułowany przy tak ogólnych założeniach, będzie słuszny dla całego zakresu występowania fluidyzacji materiałów sypkich. Podstawowe parametry tego modelu, tj. $p(\mathbf{x})$, c_{v_1} , c_{v_2} , δ_1 , δ_2 , n , będą określone z eksperymentu. Procedura określania tych parametrów została przedstawiona w pracy [1]. Procedura ta oparta jest na metodzie dyskretnej aproksymacji średniokwadratowej eksperymentalnie określonych funkcji gęstości prawdopodobieństwa amplitudy sygnału $c_v(\mathbf{x}, t)$ funkcją o postaci:

$$f(\mathbf{x}, p(\mathbf{x}), c_v) = p(\mathbf{x}) f_2(c_v) + [1 - p(\mathbf{x})] f_1(c_v) \quad (9)$$

gdzie:

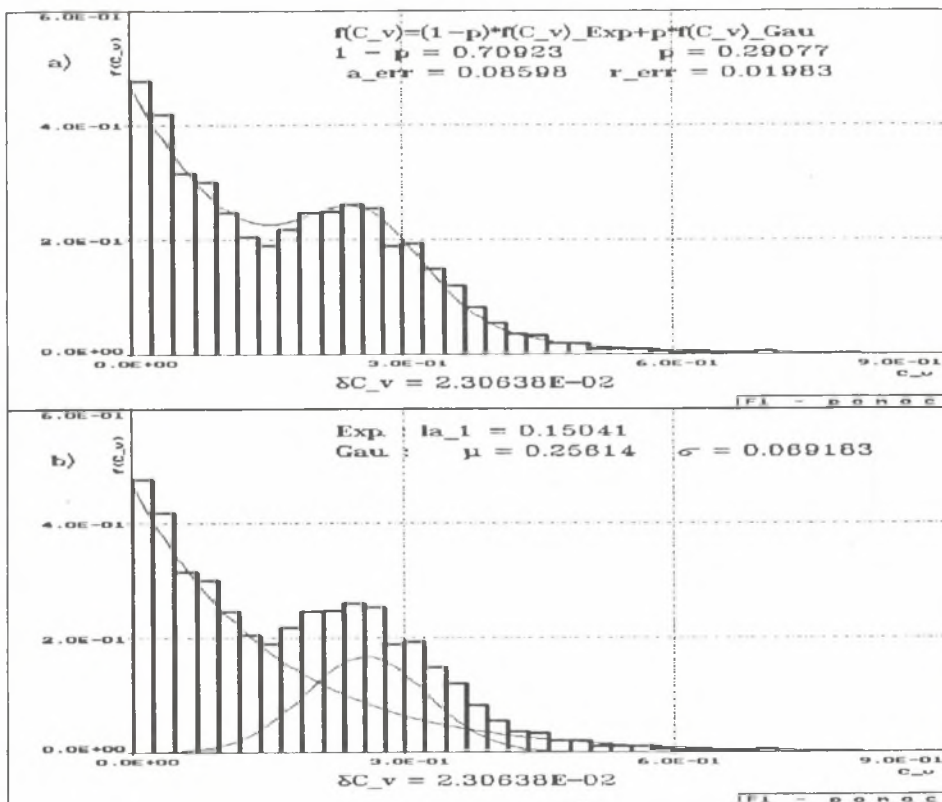
$f_1(c_v)$ i $f_2(c_v)$ – są funkcjami gęstości prawdopodobieństwa sygnałów odpowiednio $c_{v_1}(t)$ i $c_{v_2}(t)$.

Parametr gęstości n może być określony w wyniku aproksymacji eksperymentalnie określonej funkcji autokorelacji wyodrębnionego procesu $g(\mathbf{x}, t)$ funkcją o postaci (6).

Na rys. 3 przedstawiono przykładowy przebieg funkcji gęstości prawdopodobieństwa amplitudy sygnału określonej z eksperymentu (wykres słupkowy)

oraz uzyskanej w wyniku aproksymacji średniokwadratowej (linia ciągła). W wyniku analizy błędu aproksymacji uzyskanego przy zastosowaniu różnych postaci funkcji aproksymacyjnych [1] oraz uwzględniając warunki fizyczne procesu fluidyzacji, ostatecznie do opisu funkcji gęstości prawdopodobieństwa procesu $c_v(t)$ wybrano dwa rozdziały:

- normalny dla procesu c_{v2} ,
- wykładniczy dla procesu c_{v1} .



Rys. 3. Przebieg funkcji gęstości prawdopodobieństwa amplitudy sygnału sondy.-Histogram – funkcja określona z pomiaru, linia ciągła – aproksymacja numeryczna: a) rozkład dla sygnału złożonego (wykładniczy + normalny), b) rozkłady składowe. Piasek kwarcowy, $d_p = 158 \cdot 10^{-6}$ m, $U = 0,79$ m/s

Fig. 3. Histogram approximation by mixed distribution (Exponential + Gaussian): a) mixed distribution and histogram, b) distribution's components and histogram. Quartz sand, $d_p = 158 \cdot 10^{-6}$ m, $U = 0,79$ m/s

Wobec powyższego, używając standardowych oznaczeń, równania (3) i (7) możemy zapisać w postaci:

$$c_v(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x})\mu + [1 - p(\mathbf{x})]\lambda \quad (10)$$

$$\sigma_c^2 = p(\mathbf{x})[1 - p(\mathbf{x})](\mu - \lambda)^2 + p(\mathbf{x})\sigma^2 + [1 - p(\mathbf{x})]\lambda^2 \quad (11)$$

4. KRYTERIA WYSTĘPOWANIA POSZCZEGÓLNYCH STANÓW FLUIDYZACJI

Reasumując rozważania zawarte w poprzednich rozdziałach, dwa następujące parametry opisujące strukturę warstwy fluidalnej będą zmieniały się w przestrzeni zajętej przez warstwę:

- względna koncentracja

$$N(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x}) N_2 + [1 - p(\mathbf{x})] N_1 \quad (12)$$

gdzie:

$$N = \frac{c_v}{1 - \varepsilon_0}; \quad N_1 = \frac{c_{v_1}}{1 - \varepsilon_0}; \quad N_2 = \frac{c_{v_2}}{1 - \varepsilon_0}$$

- udział objętościowy podobszaru aglomeratów ziaren (podobszar II) $p(\mathbf{x})$.

Pozostałe parametry $c_{v_1} = \lambda$, $c_{v_2} = \mu$, $\sigma = \lambda$, $\sigma_2 = \delta$ oraz n zależą głównie od fizycznych i geometrycznych własności materiału sypkiego, gazu i geometrii kolumny fluidyzacyjnej oraz stanu fluidyzacji, tzn. parametrów p lub N .

Wykorzystując zaproponowaną metodykę opisu procesu zmian koncentracji materiału sypkiego, rejestrowaną za pomocą sondy fotoelektrycznej [1, 7], dla danych warunków fluidyzacji można uzyskać zależności podobne do tych, które prezentują rysunki 4 i 5.

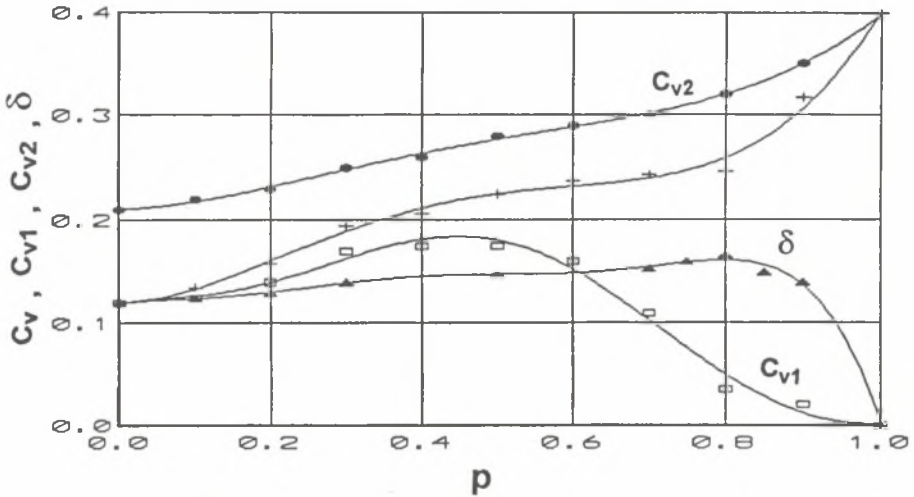
Na rys. 4 przedstawiono zależności koncentracji w podobszarach I (linia c_{v_1}) i II (linia c_{v_2}) oraz ich superpozycji zgodnie z zależnością (10) (linia c_v) od parametru p .

Dodatkowo na rys. 4 przedstawiono także przebieg zmian odchylenia standardowego zmian koncentracji określonej z równania (11).

Linia ciągła δ na tym rysunku została wykreślona na podstawie równania o postaci:

$$\delta = (1 - \varepsilon_0) \frac{N(1 - N)}{\sqrt{1 - N - \frac{17}{32} N^2 + \frac{11}{16} N^3}} \quad (13)$$

określonego w pracy [2].



Rys. 4. Zależność średniej koncentracji c_v oraz koncentracji c_{v1} i c_{v2} , oraz odchylenia standardowego δ zmian koncentracji od udziału objętościowego podobszaru II. Piasek kwarcowy, $d_p = 158 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Fig. 4. Dependence of mean concentration c_v , c_{v1} and c_{v2} of concentration standard deviation on subarea II volume ratio. Quartz sand, $d_p = 158 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Rys. 5 przedstawia zależność względnej koncentracji N oraz zredukowanego odchylenia standardowego $\frac{\delta}{N(1 - \epsilon_0)}$ od udziału objętościowego podobszaru I ($1 - p$).

Przebieg krzywej $c_v = f(p)$ na rys. 4 oraz krzywych $N = f(1 - p)$ i $\frac{\delta}{N(1 - \epsilon_0)} = f(1 - p)$ na rys. 5 cechuje występowanie wyraźnie widocznego plateau w zakresie wartości $p = 0,5 \div 0,8$ ($1 - p = 0,2 \div 0,5$). Jednocześnie poziom koncentracji $N \cong 0,6$ występujący we wskazanym wyżej zakresie zmian p odpowiada krytycznej wartości N_0 ustalonej w pracy [2] jako kryterium przejścia fluidyzacji pęcherzowej w rozwiniętą (turbulentną). Wartość $p = 0,5$ ma także znaczenie graniczne, przy którym następuje swoista inwersja wyodrębnionych podobszarów. W zakresie występowania fluidyzacji pęcherzowej i turbulentnej ($0,6 < N \leq 1$; $0,5 \leq p \leq 1$) dominuje podobszar II, czyli zagęszczona zawiesina ziaren w gazie tzw. faza emulsyjna, rozdzielona wypełnionymi rozrzedzoną zawiesiną reprezentującą podobszar I.

W zakresie wartości p spełniających relację $0 < p < 0,5$ ($0 < N < 0,6$) podobszar II stopniowo zanika występując jedynie w postaci losowo rozmieszczonych skupisk ziaren (ang. clusters) poruszających się w rozrzedzonej zawieszynie ziaren w gazie (podobszar I), wypełniającej całą objętość kolumny fluidyzacyjnej. W stanie transportu fluidalnego podobszar II zanika zupełnie ($p = 0$).

Wobec powyższego można zaproponować następujące kryteria występowania poszczególnych stanów fluidyzacji:

- 1) $N = 1$; $p = 1$ – filtracja
- 2) $0,6 < N \leq 1$; $0,8 \leq p \leq 1$ – fluidyzacja pęcherzowa
- 3) $0,6 \leq N \leq 1$; $0,5 \leq p < 0,8$ – fluidyzacja rozwinięta (turbulentna)

$$4) \frac{m_0}{V_k \rho_p (1 - \varepsilon_0)} \leq N < 0,6; 0 < p < 0,5 \text{ – fluidyzacja cyrkulacyjna}$$

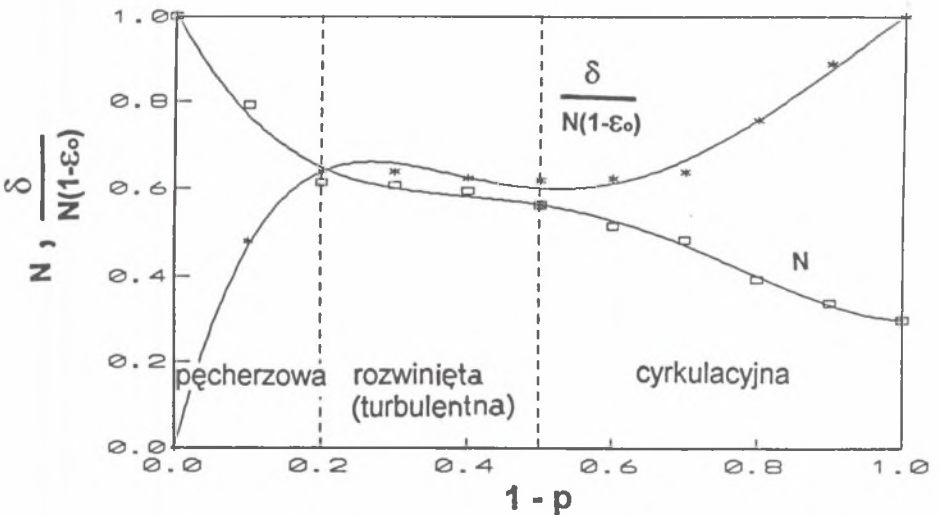
$$5) 0 < N < \frac{m_0}{V_k \rho_p (1 - \varepsilon_0)}; p = 0 \text{ – transport pneumatyczny}$$

gdzie:

m_0 – masa materiału sypkiego w układzie,

V_k – objętość kolumny,

ρ_p – gęstość materiału sypkiego.



Rys. 5. Zależność średniej względnej koncentracji N oraz zredukowanego odchylenia standardowego od udziału objętościowego podobszaru I

Fig. 5. Dependence of mean relative concentration and of concentration reduced standard deviation on subarea I volume ratio

5. WNIOSKI

Przeprowadzona w pracy analiza oraz porównanie jej wyników z wynikami badań pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. W strukturze warstw fluidalnych, niezależnie od stanu w jakim się znajdują, można wyróżnić dwa podobszary:
 - podobszar I wypełniony rozrzedzoną zawiesiną ziaren w gazie o małej koncentracji,
 - podobszar II wypełniony zagęszczoną zawiesiną ziaren w gazie o wysokiej koncentracji (aglomeraty ziaren, faza emulsyjna).
2. Zmiany koncentracji ziaren materiału sypkiego w określonym punkcie przestrzeni zajętej przez warstwę fluidalną można modelować jako stacjonarny proces stochastyczny $c_v(t)$ złożony z dwóch niezależnych procesów $c_{v_1}(t)$ i $c_{v_2}(t)$, reprezentujących zmiany koncentracji, odpowiednio w podobszarze I i II.
3. Parametry procesu złożonego $c_v(t)$ (p , c_{v_1} , c_{v_2} , c_v , σ_1 , σ_2 , n) mogą być określone drogą statystycznej analizy funkcji gęstości prawdopodobieństwa amplitudy sygnału $c_v(t)$ z pomiaru oraz wyodrębnionych z niego składowych.
4. Parametry p i $N = \frac{c_v}{1 - \varepsilon_0}$ mogą być użyte do identyfikacji stanu fluidyzacji określonego materiału sypkiego realizowanego zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i przemysłowych.

LITERATURA

- [1] Bis Z.: Badania struktury cyrkulacyjnej warstwy fluidalnej. Sprawozdanie z pracy wykonanej w ramach badań własnych. IMC Politechnika Częstochowska 1992.
- [2] Bis Z.: Aerodynamika cyrkulacyjnej warstwy fluidalnej. Monografia nr 21. Wyd. Politechnika Częstochowska 1991.
- [3] Elsner J. W.: Turbulencja przepływów. PWN, Warszawa 1987.
- [4] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1980.
- [5] Fisz M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN, Warszawa 1969.
- [6] Franks L. E.: Teoria sygnałów. PWN, Warszawa 1975.
- [7] Hartge E. U.: Experimentelle Untersuchungen zur lokalen Stromungsmechanik zirkulierender Wirbelschichten. Dissertation, Hamburg 1989.
- [8] Jankowsky J. i M.: Przegląd metod i algorytmów numerycznych. Część 1. WNT, Warszawa 1988.

- [9] Kociński J.: Badania ruchu ziaren w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej. Sprawozdanie z pracy wykonanej w ramach badań własnych. IMC Politechnika Częstochowska 1991.
- [10] Kręglewski T., Rogowski T., Ruszczyński A., Szymanowski J.: Metody optymalizacji w języku FORTRAN. PWN, Warszawa 1984.
- [11] Mendenhall W., Sincich T.: Statistics for the engineering and computer sciences, Dellen Publishing Company, San Francisco 1990.
- [12] Swiesznikow A. A.: Podstawowe metody funkcji losowych. PWN, Warszawa 1965.
- [13] Szabatin J.: Podstawy teorii sygnałów. WKiŁ, Warszawa 1982.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

Wpłynęło do Redakcji 27. 08. 1994

Abstract

The identification of the fluidization state of solids particles was presented.

It was assumed that the bed structure can be characterized by two subareas:

- dense cluster of particles,
- dilute suspension.

The concentration signal was divided into two components by a binary function of $g(\mathbf{x}, t)$. Using a numerical mean-square approximation the parameter of the probability density function were determined.

These parameters were applied for formulation of the particular state of fluidization.