

Bożena MAŹNIAK

Instytut Podstaw Budowy Maszyn  
Politechnika Świętokrzyska

## ANALIZA WPŁYWU NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW NA PROCES EROZJI MATERIAŁU WARSTWY FLUIDALNEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono opracowanie wyników badań wpływu erozji warstwy fluidalnej na mechanizm unoszenia ziaren w zależności od prędkości przepływu gazu, średnicy ziaren, czasu trwania procesu i gęstości materiału sypkiego.

### 1. Wstęp

Szerokie zastosowanie techniki fluidalnej stwarza konieczność prowadzenia badań erozji warstwy fluidalnej i elementów konstrukcyjnych komory fluidyzacyjnej.

Zjawisko erozji materiału ziarnistego tworzącego warstwę, pomimo iż powszechnie znane, nie doczekało się dotychczas uogólnionego opracowania. Szereg prac [2-11], poświęconych problemowi erozji, ujmujących wpływ takich parametrów, jak: kształt i wielkość ziaren, twardość i gęstość materiału, prędkość gazu fluidyzującego, wysokość warstwy fluidalnej, czas trwania procesu, swobodny przeswyt rusztu itp. umożliwia wyciągnięcie tylko wniosków jakościowych, ponieważ uzyskane wyniki badań przedstawione najczęściej w postaci wzorów empirycznych obowiązują dla ściśle określonych warunków. Analityczne obliczenia stopnia erozji jest utrudnione z uwagi na zupełnie przypadkowy charakter wzajemnych zderzeń ziaren i uderzeń o ścianki komory fluidyzacyjnej.

Rozważania teoretyczne [14, 3] opierają się na hipotezie o zależności erozji materiału ziarnistego i ścianek kolumny fluidyzacyjnej od sił tarcia między ziarnami a ściankami. W pracy [14] siły tarcia wyznaczono w zależności od składowej promieniowej ziaren, która jest równa składowej promieniowej prędkości pulsacyjnej w postaci:

$$w_{z,pl} = \frac{3 \rho_g \cdot w_g}{2(\rho_g + 2\rho_z)} \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho_g}{2\rho_z}}, \quad /1/$$

a spadkiem ciśnienia wywołanego tarciem ziaren o ścianki, określonego równaniem:

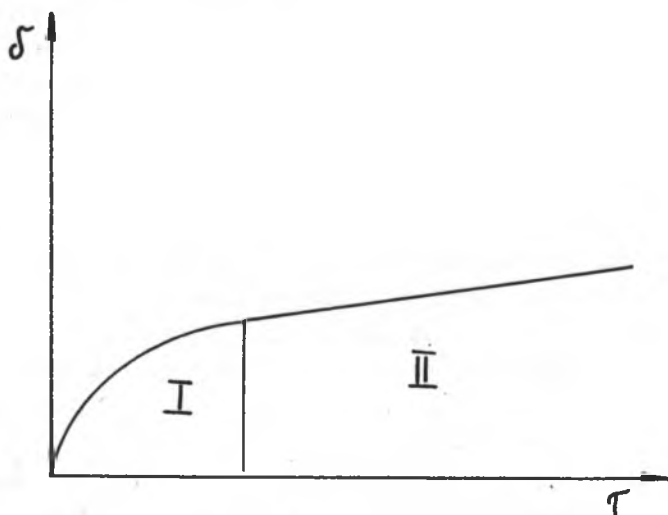
$$\Delta p = \frac{4 \rho_g G \beta w_{z,pl}^2 \cdot l \cdot w_g}{2 D w_z}, \quad /2/$$

Powyższe wzory nie określają zużycia energii na wzajemne zderzenia się ziaren i uderzenia ich o ścianki komory fluidyzacyjnej, zatem nie odzwierciedlają strat energii.

I.P.Muchlenow [10] założył, że ściernie się materiału ziarnistego jest proporcjonalne do energii kinetycznej poruszających się w warstwie ziaren:

$$\delta = A \cdot \frac{m \cdot w_z^2}{2}. \quad /3/$$

Na podstawie zaś wyników badań doświadczalnych stwierdził występowanie dwóch okresów procesu erozji materiału ziarnistego /rys.1/.



Rys.1. Zużywanie się materiału ziarnistego w warstwie fluidalnej

I okres charakteryzuje się bardzo intensywnym ścieraniem się ziaren i trwa do osiągnięcia przez ziarna dobrze wykształconych powierzchni kulistych. II okres cechuje stała szybkość ścierania się ziaren.

Badania stopnia ścierania się katalizatora wykazały [7], że intensywność ścierania można określić z równania:

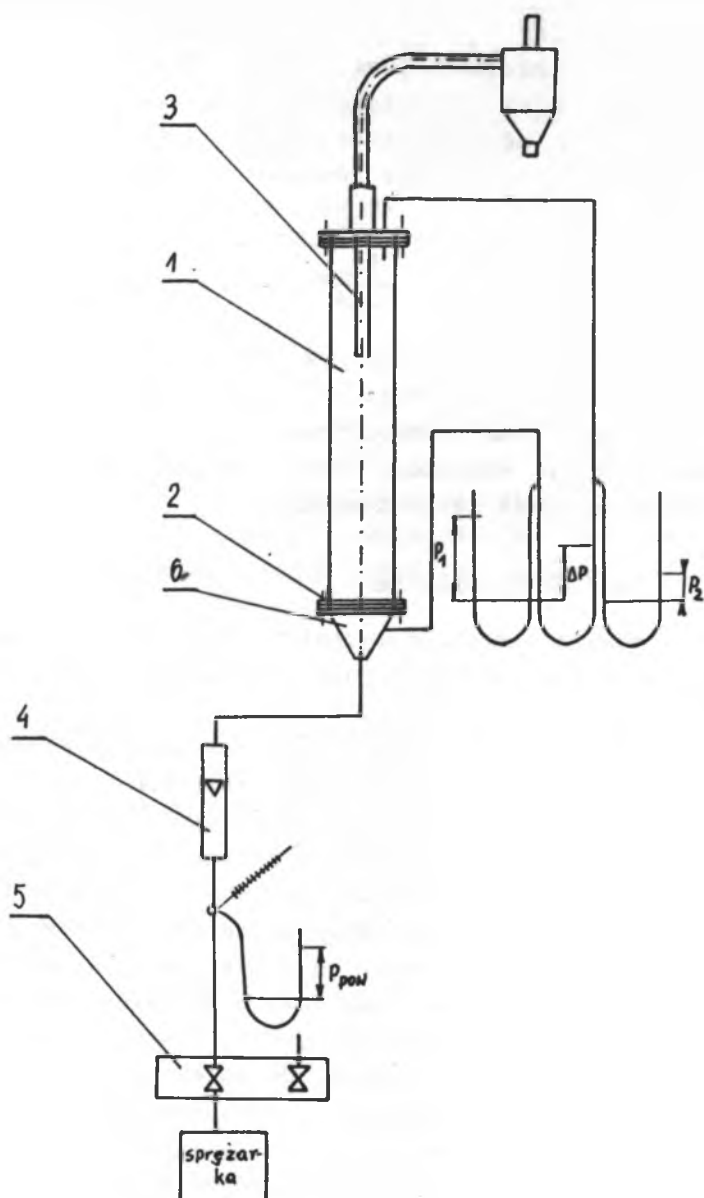
$$v = \frac{D_{\max}}{10^4} (a - b D_{\max}) \sqrt{1} \quad /4/$$

Przytoczony wzór nie uwzględnia wpływu prędkości gazu, a więc podstawowego czynnika decydującego o zużyciu materiału ziarnistego, poza tym obowiązuje dla ściśle określonych warunków. Zatem pozwala na wyciągnięcie tylko wniosków jakościowych.

## 2. Część doświadczalna

Badania erozji materiałów tworzących warstwę fluidalną przeprowadzono na aparaturze, której schemat przedstawiono na rys.2.

Kolumnę fluidyzacyjną (1) wykonano ze szkła o średnicy wewnętrznej 49,9 mm i długości 1 m. Kolumnę tę umieszczono między dwoma kołnierzami wykonanymi ze stali. Do dolnego kołnierza przymocowano komorę rozdzielczą powietrza (6). W rozdzielaczu na odpowiednim podtoczeniu centrującym umieszczono ruszt sitowy (2) wykonany z blachy aluminiowej i nawiercony na całej powierzchni równomiernie otworkami o średnicy 0,8 mm. Wolny prześwit rusztu wynosił 0,0314. Sprężone powietrze doprowadzono ze sprężarki do kolektora (5) a następnie przez rotometr (4) podawano do kolumny. Zapyłone powietrze odprowadzano sondą (3) umieszczoną w obszarze transportu pneumatycznego. Ciśnienie nad i pod warstwą fluidalną mierzono manometrem bateryjnym (6) napełnionym wodą, o działce elementarnej 1 mm. Pomiar przeprowadzono przy wysokości warstwy nieruchomej równej średnicy kolumny. Analizę sitową badanych materiałów dokonano w oparciu o normę PN-71/C-04501. Zakres prowadzonych badań ujęto w tabelicy 1.



Rys.2. Schemat stanowiska badawczego erozyjności warstwy fluidalnej

Tablica 1

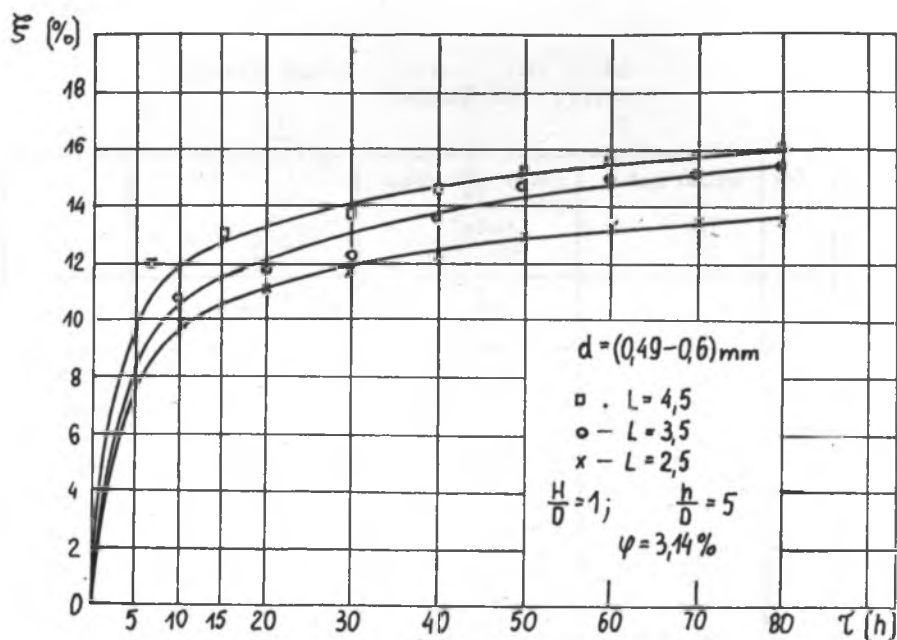
Zakres prowadzonych badań erozji  
warstwy fluidalnej

Lp	materiał	czas trwania pomiarów [godz]	$d_z$ [mm]	L
1	glino- krzemian	80	0,3 - 0,385	2,5
		150	0,49 - 0,6	2,5
				3,5
				4,5
80	0,75 - 1,02	2,5		
2	piasek	200	0,49 - 0,6	2,5
3	CaCO <sub>3</sub>	250	0,49 - 0,6	2,5

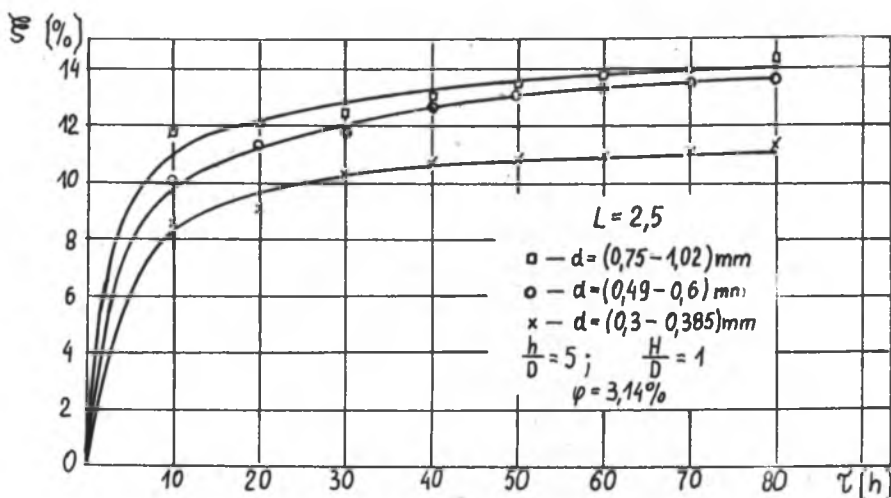
### 3. Zestawienie i omówienie wyników

Prędkość krytyczna dla poszczególnych frakcji materiałów ziarnistych wyznaczona była metodą doświadczalną.

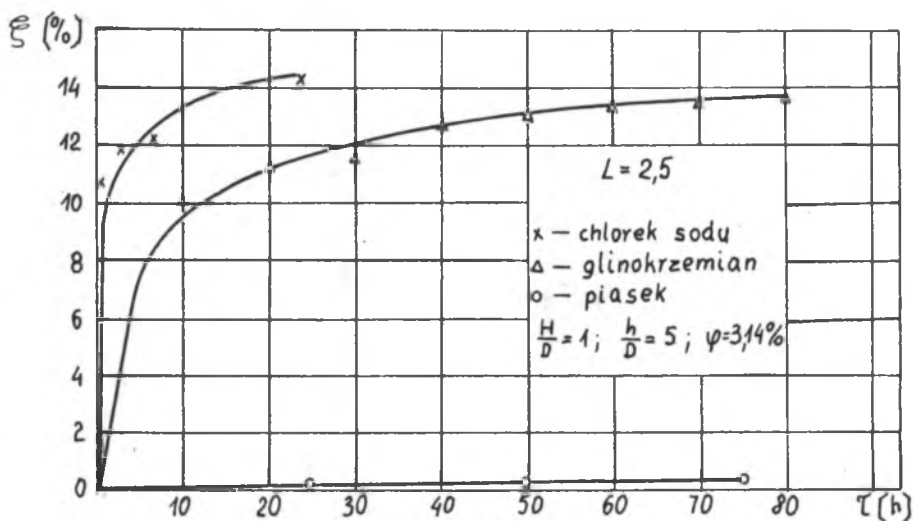
Wyniki badań erozji materiału ziarnistego przedstawiono na rys. 3 - 5. Z analizy tych wykresów wynika, że erozja materiału warstwy fluidalnej rośnie wraz ze wzrostem prędkości gazu fluidyzującego. Podobny wpływ na proces erozji warstwy wywiera wielkość ziaren i czas trwania procesu wraz ze wzrostem wartości tych parametrów rosną udziały frakcji pozasitowych. Przeprowadzone badania potwierdziły, że erozja zależy również od twardości materiału. Natomiast szybkość erozji /definiowana jako przyrost masy frakcji pozasitowej w jednostce czasu do początkowej masy tej frakcji w badanym materiale/ maleje wraz ze wzrostem czasu trwania procesu. Spadek



Rys.3. Sumaryczny udział procentowy frakcji pozasitowej dla glinokrzemianu w zależności od czasu trwania procesu i liczby fluidyzacji



Rys.4. Sumaryczny udział procentowy frakcji pozasitowej dla glinokrzemianu w zależności od czasu trwania procesu i ziarnistości warstwy fluidalnej



Rys.5. Sumaryczny udział procentowy frakcji pozyskowej w zależności od czasu trwania procesu i gęstości materiału tworzącego warstwę

szybkości erozji wyjaśniają w pewnym stopniu zdjęcia mikroskopowe kryształów chlorku sodu. Początkowo ziarna o ostrych, nieregularnych kształtach /rys.6a/ wskutek wzajemnych zderzeń i uderzeń o ścianki kolumny kruszą się i ścierają się. W miarę trwania procesu powierzchnia ziaren coraz bardziej wygładza się /rys. 6 b,c,d/, tworzą się ziarna o dobrze wykształconych powierzchniach kulistych, zmniejszając tym samym szybkość erozji.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że intensywne ścieranie glinokrzemianu następuje w początkowym okresie pracy trwającym około 10 h. Po tym okresie czasu następuje wyraźny spadek intensywności erozji charakteryzujący się niewielkim przyrostem



Rys.6. Erozja ziaren chlorku sodu  
/0,6 - 0,49/ mm w warstwie  
fluidalnej:

a - 0 godz.

b - 125 godz.

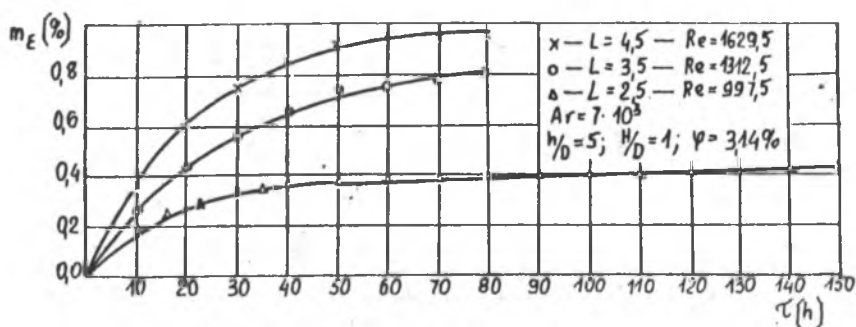


c - 200 godz.

d - 250 godz.



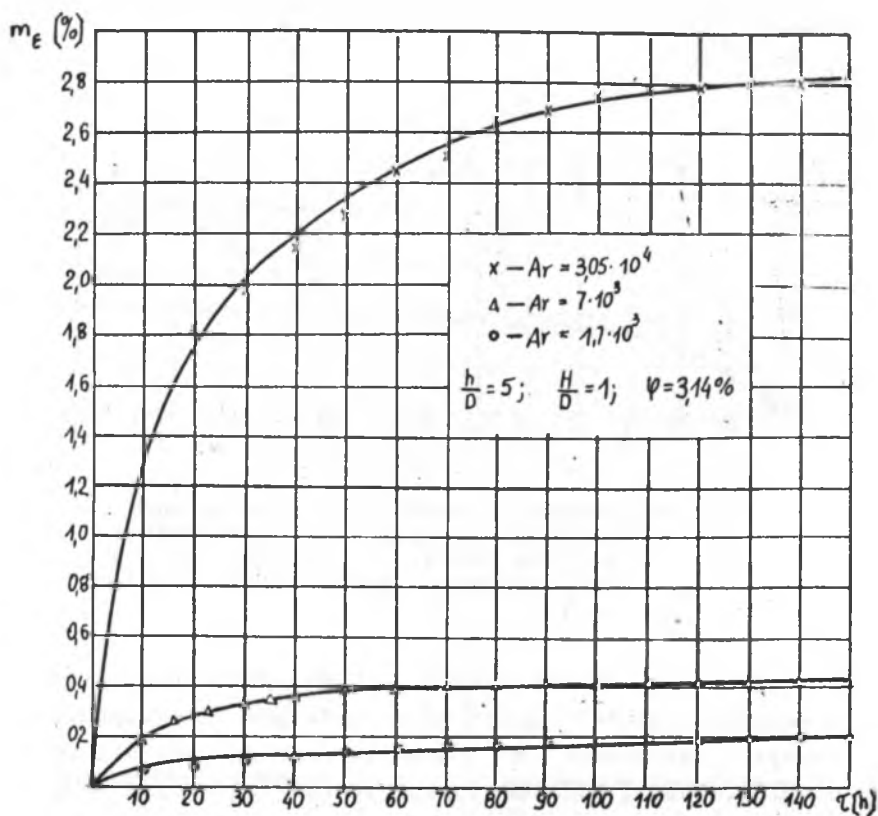
udziału procentowego frakcji pozasitowej. Na rys. 7 przedstawiono ubytek procentowy glinokrzemianu spowodowany uniesieniem pyłu powstałego podczas erozji, w zależności od czasu trwania procesu i różnych liczb fluidyzacji.



Rys. 7. Ubytek procentowy glinokrzemianu wskutek uniesienia pyłu powstałego podczas erozji w zależności od czasu trwania procesu i liczby fluidyzacji

Natomiast rys. 8 przedstawia ubytek procentowy glinokrzemianu wskutek uniesienia pyłu powstałego podczas erozji w zależności od czasu trwania procesu dla różnych wielkości ziaren tworzących warstwę. Wpływ rodzaju materiału ścieranego na ubytek procentowy pyłu powstałego podczas erozji w funkcji czasu przedstawiono na rys. 9. Fakt, że zaledwie niewielki procent frakcji pozasitowej powstającej w warstwie zostaje uniesiony z kolumny można wytłumaczyć jedynie ciągłą zmianą kierunku gazu przepływającego między ziarnami oraz działaniem sił elektrostatycznych.

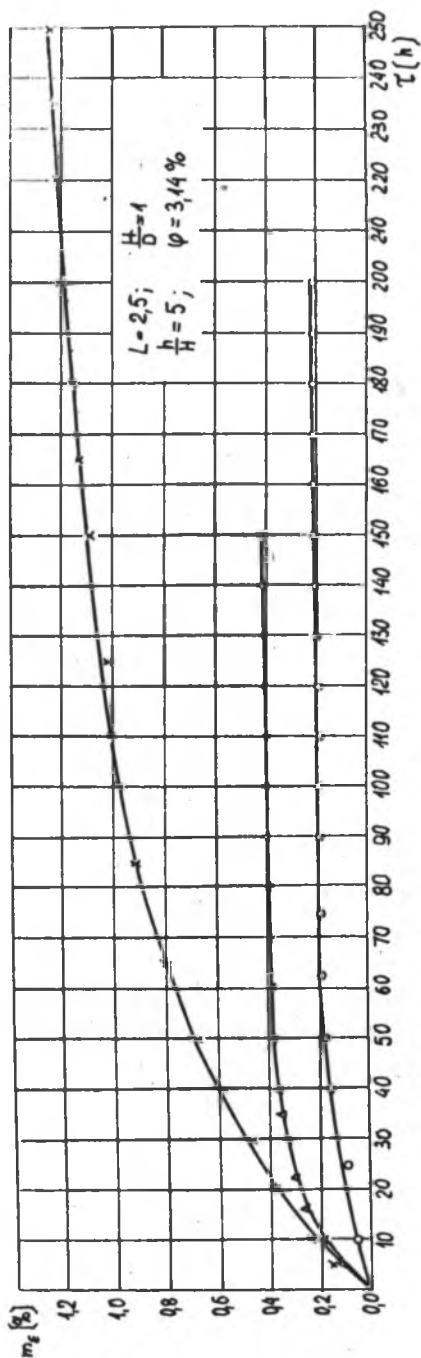
Ponieważ materiały wzięte do badań różniły się znacznie własnościami fizykochemicznymi, zatem można pokusić się o sformułowanie uogólnienia, że w podobny sposób będą zachowywały się inne materiały ziarniste o podobnych własnościach. Oczywiście pełne uzasadnienie tego spostrzeżenia wymaga dalszych badań.



Rys.8. Ubytek procentowy glinokrzemianu wskutek uniesienia pyłu powstałego podczas erozji w zależności od czasu trwania procesu i liczby Archimedes'a

Stosując teorię podobieństwa uzyskane wyniki badań przedstawiono w postaci równania:

$$\xi = 1,48 \cdot Ho^{0,18} \cdot Ar^{0,02}$$



Rys.9. Wpływ rodzaju materiału ścieranego na ubytek procentowy pyłu powstałego podczas erozji w funkcji czasu  $\tau$  dla: x - chlorku sodu,  $\Delta$  - glinokrzemianu, o - piasku o ziarnistości /0,6 - 0,49/ mm

ważnego dla zakresu:

$$1,7 \cdot 10^3 < Ar < 3,05 \cdot 10^4$$

$$1,4 \cdot 10^4 < Ho < 7,8 \cdot 10^5$$

pozwalającego na obliczenie masy frakcji pozasitowej powstałej w wyniku erozji warstwy fluidalnej.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły, że spośród szeregu analizowanych czynników najsilniejszy wpływ na szybkość erozji materiału ziarnistego wywiera prędkość przepływu gazu oraz średnica ziaren tworzących warstwę. Natomiast obecność w warstwie frakcji pozasitowej, spełniającej rolę "smaru", zmniejsza intensywność ścierania. Wyprowadzone zaś równanie (5) umożliwia obliczenie masy frakcji pozasitowej powstałej w wyniku erozji warstwy fluidalnej.

#### Oznaczenia

A, a, b	- współczynniki,
D	- średnica kolumny fluidyzacyjnej,
$d_z$	- średnica ziaren,
H	- wysokość warstwy fluidalnej,
l	- wysokość kolumny fluidyzacyjnej,
m	- masa warstwy fluidalnej,
$w_g$	- prędkość gazu,
$w_z$	- prędkość ziaren,
$w_z, pl$	- prędkość pulsacyjna ziaren,
$\frac{G}{G}$	- stężenie objętościowe fazy stałej,
$\beta$	- średni współczynnik tarcia między ziarnem a ścianką,
$\rho_g$	- gęstość gazu,
$\rho_z$	- gęstość materiału ziarnistego,
$\lambda$	- współczynnik oporów,
$\tau$	- czas,
$\nu$	- lepkość kinematyczna,

$$\begin{aligned} \text{liczba Archimedes} & - Ar = \frac{gd_z^3 (\rho_z - \rho_g)}{\nu^2 \cdot \rho_g}, \\ \text{liczba jednoczesności} & - Ho = \frac{w_g \tau}{d_z}, \\ \text{liczba fluidyzacji} & - L = \frac{w_g}{w_{kr}}. \end{aligned}$$

## LITERATURA

- [1] J.Ciborowski: Fluidyzacja, PWT, Warszawa 1957.
- [2] A.Haba, J.Łagocki: Materiały Ogólnopolskiego Sympozjonu Termofluid 73, Częstochowa 1973.
- [3] I.M.Razumow: Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich, Warszawa 1975.
- [4] I.M.Razumow: Chimija i techn. topliwa, Nr 12, 57, 1956.
- [5] M.Leva: Fluidisation, New York 1959.
- [6] L.A.Akopjan, A.G.Kasatkin: Chim. prom. Nr 12, 30, 1955.
- [7] Borguet J., Drew R., Valentin S.: Chem.Eng.Progr.Sympos.Ser. 34, 57, 1961.
- [8] S.Ergun, A.S.Orning: Ind.End.Chem. 41 /6/, 1949.
- [9] F.Zenz: Hydrocarbon Processing, 50, 103, 1971.
- [10] I.P.Muchlenow: Kataliz w kipjaszczim słoje, Moskwa 1971.
- [11] W.L.Forsythe a, W.R.Hertwig: Ind. Eng. Chem.41,1949
- [12] W.Gajewski, B.Maźniak: Zeszyty Nauk. Polit. Częst. Mechanika t.10, 1974.
- [13] B.Maźniak: Praca doktorska, Częstochowa 1975.
- [14] B.I.Brounsztejn, O.M.Todes: Żur.techn.fiz.23,1,1953.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ  
НА ПРОЦЕСС ЭРОЗИИ ФЛЮИДНОГО СЛОЯ

Р е з ю м е

В работе представлено разработку результатов испытаний влияния эрозии флюидного слоя на механизм уношения зерён в зависимости от скорости течения газа, диаметра зерён, продолжительности процесса и густоты /плотности/ сыпучего материала.

ANALYSIS OF EFFECT OF CERTAIN PARAMETERS  
ON THE EROSION OF FLUIDIZED LAYER

S u m m a r y

The paper describes the results of examinations of fluidized layer erosion on the grain carrying action depending on the gas flow velocity, grain diameter, process duration time and density of the loose material.