

Jan BANDROWSKI

Jarzy RACZEK

Instytut Inżynierii Chemicznej i Budowy Aparatury
Politechniki Śląskiej

ŚCIERALNOŚĆ MATERIAŁÓW SYPKICH ORAZ EROZJA
MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH ELEMENTÓW
INSTALACJI TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO

Streszczenie. W wyniku matematycznego opracowania danych doświadczalnych, otrzymanych w instalacji pionowego transportu pneumatycznego z recyrkulacją materiału sypkiego uzyskano empiryczne modele:

- 1) ścieralności transportowanych materiałów (węgiel, koksik, popiół),
- 2) erozji materiałów konstrukcyjnych (cegła szamotowa, beton, stal).

Wstęp

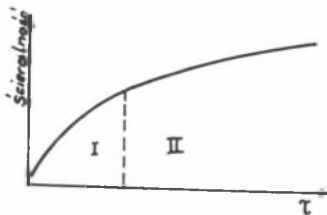
Układy transportu pneumatycznego charakteryzują się pulsacjami strumienia gazu i cząstek stałych poruszających się w kierunkach osiowym i promieniowym. Poruszając się po złożonych trajektoriach, cząsteczki materiału sypkiego zderzają się ze sobą, uderzają o ścianki i elementy konstrukcyjne aparatu. Prowadzi to do rozdrobnienia materiału transportowanego i erozji materiałów konstrukcyjnych. Nieuporządkowany ruch cząstek stałych po złożonych trajektoriach, przypadkowy charakter ich wzajemnych zderzeń oraz uderzeń o ścianki, znaczne różnice we własnościach fizycznych i mechaniczno-wytrzymałościowych materiałów sypkich oraz stosowanych materiałów konstrukcyjnych utrudniają obliczenie ścieralności materiałów sypkich oraz erozji materiału konstrukcyjnego.

Zagadnieniem ścieralności materiałów zajmowało się kilku autorów, ale na ogół w odniesieniu do procesów fluidyzacji. Można jednak na tej podstawie wysnuć pewne przesłanki natury ogólnej, dotyczące również ścierania się materiałów w transporcie pneumatycznym.

W pracy [1] przyjęto, że ścieralność materiału jest proporcjonalna do energii kinetycznej ziarn w złożu fluidalnym:

$$\text{ścieralność} = A \frac{m w_s^2}{2} \quad (1)$$

Przeprowadzone badania doświadczalne pozwoliły na stwierdzenie, że proces ścierania można podzielić na dwa etapy (rys. 1) w zależności od czasu trwania procesu:



Rys. 1. Ścieranie się materiału ziarnistego w warstwie fluidalnej

- pierwszy etap charakteryzuje się intensywną ścieralnością i trwa do momentu uzyskania przez cząstki kształtu prawie kulistego,
- drugi etap charakteryzuje się stałą szybkością ścierania się ziarna.

W pracy [2] przeprowadzono badania efektu ścierania się materiału w warstwie fluidalnej, badając proces w zależności od średnicy cząstek i gęstości materiału. Otrzymano wykresy o przebiegu podobnym jak w pracy [1] (rys. 1).

Problem ścierania się takich materiałów, jak: pszenica, kukurydza, jęczmień, ryż i in., w transporcie pneumatycznym rozpatruje Zujew [3]. Przeprowadził on eksperymenty w skali półtechnicznej przy koncentracji materiału $\mu = 1:4$ kg/kg oraz prędkościach powietrza 16 ± 26 m/s. Badania wykazały, że ścieralność w dużej mierze zależy od fizykochemicznych własności materiału, wilgotności i współczynnika kształtu. Analiza danych eksperymentalnych prowadzi do wniosku, że przy wzroście prędkości powietrza transportującego i koncentracji materiału wzrasta zdecydowanie ścieralność, przy czym znacznie większy wpływ wywiera pierwszy z podanych parametrów.

W pracy [4] przedstawiono mechanizm zjawiska erozji materiałów konstrukcyjnych elementów instalacji transportu pneumatycznego. Wynika stąd, że spośród wielu wielkości charakteryzujących proces erozji materiału konstrukcyjnego istotny wpływ mają: kąt uderzenia, prędkość cząstek materiału transportowanego, czas trwania operacji, natężenie przepływu materiału sypkiego (względnie jego koncentracja) oraz własności fizykochemiczne zarówno materiału konstrukcyjnego, jak i transportowanego.

W pracy [5] omówiono - na podstawie danych literaturowych [4], [6], [7] - wpływ tych czynników na proces erozji.

Celem niniejszej pracy było znalezienie modeli empirycznych opisujących ścieralność materiałów transportowanych oraz erozji materiałów konstrukcyjnych. Jako materiałów sypkich użyto w badaniach: węgla, koksiku i popiołu, zaś jako materiałów konstrukcyjnych: betonu, cegły szamotowej oraz stali St3C, które erodowały pod wpływem koksiku i węgla. Za miarę ścieralności w przyjęto procent masowy frakcji pozasitowej (pyłowej) cząstek o średnicach $\leq 0,5$ mm.

Na podstawie danych literaturowych oraz w oparciu o analizę wielkości mogących mieć wpływ na ścieralność zdecydowano się na wybór następujących zmiennych:

- średnica ekwiwalentna frakcji d_e (mm), rozumiana jako średnia arytmetyczna średnic cząstek, obliczone według wzoru:

$$d_e = \frac{\sum x_i d_i}{\sum x_i} \quad (2)$$

- prędkość strumienia transportującego w_g (m/s),
- czas trwania procesu τ (h),
- masowe natężenie przepływu fazy stałej G_s (kg/h).

Innymi słowy, założono zależność funkcyjną:

$$W = f(d_e, w_g, \tau, G_s) \quad (3)$$

Z teorii transportu pneumatycznego wynika, że odpowiedniejszą prędkością jest prędkość cząstek ciała stałego w_s , która jest jednoznacznie funkcją prędkości strumienia fazy gazowej w_g . Ze względu jednak na ograniczone możliwości zmierzenia prędkości w_s , jako zmienną niezależną wybrano prędkość gazu w_g .

Za miarę erozji Y przyjęto ubytek masy badanej próbki materiału konstrukcyjnego w czasie, odniesiony do powierzchni uczestniczącej w procesie erozji:

$$Y = \frac{\Delta m}{\tau \cdot F} = \frac{\Delta m}{\tau \cdot k \cdot F_{rZ}} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}} \right) \quad (4)$$

gdzie:

$$F_{rZ} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot \sin \alpha} \quad (\text{m}^2) \quad (5)$$

Na podstawie analizy danych literaturowych zdecydowano się na wybór następujących zmiennych niezależnych:

- masowe natężenie przepływu fazy stałej G_s ($\frac{\text{kg}}{\text{h}}$),
- prędkość strumienia transportującego w_g ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$),
- czas trwania procesu τ (h),
- kąt nachylenia płytki badanego materiału konstrukcyjnego w stosunku do osi rury transportowej, α ($^\circ$).

Innymi słowy, założono zależność funkcyjną:

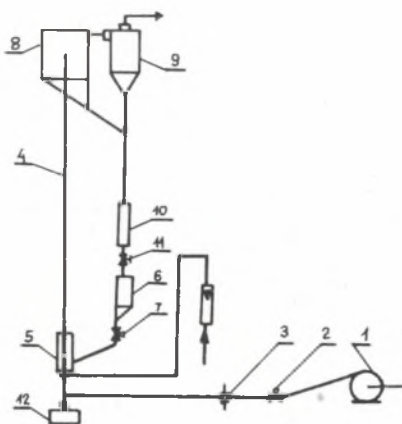
$$Y = f(G_s, w_g, \tau, \alpha) \quad (6)$$

Wprowadzenie prędkości strumienia transportującego w_g zamiast prędkości cząstek stałych w_s uzasadnione jest tym, że:

- możliwości zmierzenia prędkości w_g związane są z dużymi trudnościami,
- istnieje jednoznaczna zależność pomiędzy w_g i w_s , przedstawiona w pracy [8].

Metodyka badań

Badania przeprowadzono w instalacji pionowego transportu pneumatycznego, której schemat przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat instalacji doświadczalnej

ry zapewnia równomierne obciążenie materiałem sypkim powierzchni przekroju rury oraz ciągle dozowanie.

Badania przeprowadzono w dwu etapach. Etap pierwszy dotyczył ścieralności materiałów sypkich.

Wykonanie pomiarów wymagało wstępnych przygotowań polegających na: wysuszeniu materiału, uzyskaniu określonych ilości frakcji danego uziarnienia (frakcja pozasitowa pyłowa stanowiła mniej niż 4% mas.), pomiarze gęstości usypowej danej frakcji oraz gęstości pozorniej metodą piknometryczną. Następnie pobierano próbkę zgodnie z normą PN-58/H-11079, określając ilość frakcji pozasitowej (pyłowej) w próbce podstawowej analizę sitową. Po pobraniu próbki badany materiał umieszczano w zbiorniku przelotowym 6. Ustalono odpowiednie wielkości parametrów i uruchamiano instalację. W czasie pojedynczego pomiaru utrzymywano na stałych poziomach następujące zmienne:

- prędkość przepływu powietrza,
- masowe natężenie przepływu fazy stałej,
- przepływ sprężonego powietrza do dozownika fluidalnego w ilości $2 \text{ m}^3/\text{h}$, mierząc jednocześnie czas procesu, temperaturę, ciśnienie i wilgotność powietrza atmosferycznego.

Prędkość przepływu powietrza mierzono zwężką pomiarową 3 za pomocą mikromanometru Recknagla, masowe natężenie przepływu fazy stałej mierzono w rurze pomiarowej 10 przez zamknięcie zaworu 11 i odczytanie czasu przyrostu 100 mm słupa materiału sypkiego. Po upływie ustalonego czasu przerywano przepływ powietrza transportującego. Materiał odbierano w zbiorniku 12. Następnie pobierano próbkę zgodnie z podaną poprzednio normą i wykonywano analizę sitową.

Etap drugi dotyczył erozji materiałów konstrukcyjnych. Badany materiał konstrukcyjny w formie płytki mocowano u wylotu rury transportowej w specjalnym uchwycie, który pozwalał na regulację kąta nachylenia płytki.

Wykonanie pomiarów wymagało wstępnych przygotowań polegających na: wysuszeniu materiału transportowanego i uzyskaniu frakcji w zakresie $0,5 \pm 2,5 \text{ mm}$, pomiarze gęstości usypowej danej frakcji i gęstości pozornej metodą piknometryczną, przygotowaniu badanych płytek z cegły szamotowej, betonu i stali.

Badany materiał transportowany umieszczono w zbiorniku przelotowym 6, a badaną płytkę w specjalnie wykonanym w tym celu uchwycie u wylotu rury transportowej. Ustalano odpowiednie wielkości parametrów i uruchamiano instalację. W czasie pojedynczego pomiaru utrzymywano na stałych poziomach następujące zmienne:

- a) prędkość przepływu powietrza,
- b) masowe natężenie przepływu fazy stałej,
- c) przepływ powietrza sprężonego do dozownika fluidalnego.

Jednocześnie mierzono czas procesu, temperaturę w rurociągu, ciśnienie i wilgotność powietrza atmosferycznego.

Prędkość przepływu powietrza mierzono zwężką pomiarową 3 za pomocą mikromanometru Recknagla. Masowe natężenie przepływu fazy stałej mierzono w rurze pomiarowej 10 poprzez zamknięcie zasuwki 11 i odczytanie czasu przyrostu 100 mm słupa materiału sypkiego. Natężenie przepływu powietrza sprężonego mierzono za pomocą rotametu, utrzymując je na stałym poziomie. Po upływie ustalonego okresu czasu przerywano przepływ powietrza transportującego, zdejmowano płytkę, ważono ją, ponownie zakładano u wylotu rury transportującej w celu przeprowadzenia drugiej części eksperymentu. Po zakończeniu eksperymentu dla badanej próbki ważono ją, a materiał transportowany odbierano w zbiorniku 12. Eksperyment zaplanowano zgodnie z planem eksperymentu czynnikowego typu 2^n [9], dobierając odpowiednio obszar badań.

Obecnie ten określa się na podstawie charakterystyk pionowego transportu pneumatycznego oraz ograniczeń wynikających z charakteru instalacji doświadczalnej.

Wyniki badań ścieralności

Po wykonaniu eksperymentu wstępnego wyznaczono przedziały zmienności parametrów niezależnych:

średnica ekwiwalentna d_e (mm)	węgiel	koksik
poziom górny x_1'	1,75	1,75
poziom dolny x_1''	0,75	0,75
prędkość fazy gazowej w_g (m/s)		
poziom górny x_2'	9,5	9,5
poziom dony x_2''	5,18	5,12
czas trwania transportu τ (h)		
poziom górny x_3'	6	5
poziom dolny x_3''	1	1
masowe natężenie przepływu fazy stałej G_s (kg/h)		
poziom górny x_4'	150	76
poziom dolny x_4''	22,1	24

Poziomy dla czasu transportu dobrano w taki sposób, aby ścieralność dla poziomu dolnego była mierzalna, natomiast dla poziomu górnego - nie osiągnęła 100%.

Wyniki badań dla węgla, zgodnie z planem eksperymentu, przedstawia tabela 1, a dla koksiku - tabela 2.

Tabela 1

Wyniki eksperymentu czynnikowego dla węgla (ścieralność)

W		x_4''		x_4'	
		x_3''	x_3'	x_3''	x_3'
x_1''	x_2''	2,71	6,29	2,97	12,82
	x_2'	10,52	20,93	22,53	36,50
x_1'	x_2''	16,01	23,94	4,83	45,47
	x_2'	36,49	61,26	15,94	49,68

Tablica 2

Wyniki eksperymentu czynnikowego dla koksiku (ścieralność)

W		x''_4		x'_4	
		x''_3	x'_3	x''_3	x'_3
x''_1	x''_2	3,70	14,20	13,90	26,30
	x'_2	16,70	50,50	23,10	70,80
x'_1	x''_2	5,40	22,60	16,20	33,70
	x'_2	19,00	52,70	35,10	76,70

Przy użyciu analizy wariancyjnej stwierdzono, że wszystkie zmienne niezależne mają istotny wpływ na zjawisko, natomiast wzajemne oddziaływanie pomiędzy zmiennymi można pominąć. W wyniku matematycznego opracowania danych doświadczalnych metodą regresji stwierdzono, że najodpowiedniejsze modele mają postać:

dla węgla:

$$W = 6,4676 \cdot d_e^{1,6988} \cdot w_s^{0,3362} \cdot \tau^{0,7103} \cdot G_s^{-0,0841}$$

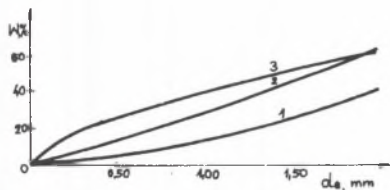
dla koksiku:

$$W = 1,2599 \cdot d_e^{1,0988} \cdot w_s^{0,3362} \cdot \tau^{0,7103} \cdot G_s^{0,4867}$$

dla popiołu:

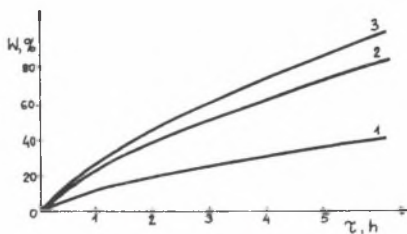
$$W = 5,1254 \cdot d_e^{0,06119} \cdot w_s^{0,3362} \cdot \tau^{0,7103} \cdot G_s^{0,2264}$$

Na podstawie otrzymanych zależności empirycznych sporządzono wykresy przedstawiające ścieralność materiałów sypkich w zależności od d_e , w_s i τ dla każdego z badanych materiałów. Wykresy zamieszczono na rys. 3, 4, 5. Przebiegi funkcji $W = f(\tau)$ są podobne do otrzymanych w pracach [1] i [2].



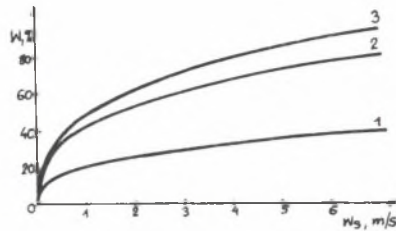
Rys. 3. Wykresy zależności $W = f(d_e)$:

1 - węgiel, 2 - koksik, 3 - popiół



Rys. 4. Wykresy zależności $W = f(w_s)$:

1 - węgiel, 2 - koksik, 3 - popiół



Rys. 5. Wykresy zależności $W = f(v_s)$
1 - węgiel, 2 - koksik, 3 - popiół

Wyniki badań erozji

Po wykonaniu eksperymentów wstępnych dla koksiku i węgla sporządzono charakterystyki pionowego transportu pneumatycznego i w oparciu o nie wyznaczono następujące przedziały zmienności parametrów niezależnych:

- masowe natężenie przepływu fazy stałej G_s (kg/h)

	węgiel	koksik
poziom górny	165	120
poziom dolny	99	47

- spadek ciśnienia na zwężce pomiarowej (mm H_2O), odpowiadający prędkości strumienia fazy gazowej w_g

	węgiel	koksik
poziom górny	142	142
poziom dolny	45	45

- czas procesu τ (h)

	węgiel	koksik
poziom górny	5	1,5
poziom dolny	2	0,5

- kąt nachylenia płytki α ($^\circ$)

	węgiel	koksik
poziom górny	60	60
poziom dolny	30	30

Poziomy górny przyjęto jako maksymalnie osiągalne w instalacji doświadczalnej. Różnice w poziomach wynikają z różnych gęstości usypowych materiałów. Poziomy dolny dobrano w taki sposób, aby przy pozostałych parametrach ustalonych na poziomach dolnych otrzymać widoczne efekty erozji.

Zdecydowano się na przyjęcie określonych spadków ciśnienia na zwężce pomiarowej ze względu na łatwość pomiarów i utrzymania stałych wartości. Jako poziom górny przyjęto największy z osiągalnych w instalacji spadków ciśnień. Przy doborze poziomu dolnego kierowano się koniecznością pracy przy minimum spadku ciśnienia w transporcie pneumatycznym.

Poziomy dla czasu procesu dobrano w taki sposób, aby ubytek masy spowodowany erozją był dla poziomu dolnego mierzalny, natomiast dla poziomu górnego głębokość wżeru nie osiągnęła grubości badanej płytki. Różnica w poziomach wynika z dużo większej aktywności erodującej koksiku.

Kąt α mierzono między osią rury transportowej a rzutem tej osi na powierzchnię badanej próbki.

Wyniki eksperymentów przedstawiono w tablicach 3÷8.

Tablica 3

Dane eksperymentalne dla przypadku węgiel - cegła szamotowa

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 2$		$\tau' = 5$	
		$\alpha'' = 30^\circ$	$\alpha' = 60^\circ$	$\alpha'' = 30^\circ$	$\alpha' = 60^\circ$
$G''_s = 99$	$w''_s = 3,30$	0,70	0,76	1,03	1,18
	$w'_s = 7,48$	2,32	2,92	3,97	4,70
$G'_s = 165$	$w''_s = 3,30$	0,96	0,93	1,32	1,22
	$w'_s = 7,48$	3,18	5,59	5,04	10,07

Tablica 4

Dane eksperymentalne dla przypadku koksik - cegła szamotowa

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 0,5$		$\tau' = 1,5$	
		$\alpha'' = 30^\circ$	$\alpha' = 60^\circ$	$\alpha'' = 30^\circ$	$\alpha' = 60^\circ$
$G''_s = 47$	$w''_s = 3,76$	0,88	1,08	1,68	2,08
	$w'_s = 7,97$	4,30	6,56	9,44	15,78
$G'_s = 120$	$w''_s = 3,76$	1,42	1,46	2,54	3,04
	$w'_s = 7,97$	7,33	10,62	17,74	27,48

Tablica 5

Dane eksperymentalne dla przypadku koksik - beton
($\alpha = 60^\circ$)

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 0,5$	$\tau' = 1,5$
$G''_s = 47$	$w''_s = 3,71$	1,54	2,70
	$w'_s = 7,94$	6,62	13,00
$G'_s = 120$	$w''_s = 3,71$	4,22	8,82
	$w'_s = 7,94$	19,10	32,44

Tablica 6

Dane eksperymentalne dla przypadku koksik - stal
($\alpha = 60^\circ$)

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 0,5$	$\tau' = 1,5$
$G''_s = 47$	$w''_s = 3,72$	0,06	0,14
	$w'_s = 7,83$	0,32	0,84
$G'_s = 120$	$w''_s = 3,72$	0,12	0,27
	$w'_s = 7,83$	0,54	1,53

Tablica 7

Dane eksperymentalne dla przypadku węgiel - beton
($\alpha = 60^\circ$)

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 2$	$\tau' = 5$
$G''_s = 99$	$w''_s = 3,49$	1,72	2,35
	$w'_s = 7,52$	9,67	13,15
$G'_s = 165$	$w''_s = 3,49$	2,68	3,70
	$w'_s = 7,52$	20,36	31,52

Tablica 8

Dane eksperymentalne dla przypadku węgiel - stal
($\alpha = 60^\circ$)

Ubytek masy próbki na skutek erozji (g)		$\tau'' = 2$	$\tau' = 5$
$G''_s = 99$	$w''_s = 3,45$	0,01	0,02
	$w'_s = 7,58$	0,09	0,17
$G'_s = 165$	$w''_s = 3,45$	0,02	0,03
	$w'_s = 7,58$	0,18	0,25

Pomiary powierzchni zużycia badanych próbek wykazały, że:

$$k = 1,6 \text{ dla kąta } \alpha = 30^\circ \text{ oraz } F_{\text{rzutu}} = 53,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$k = 1,4 \text{ dla kąta } \alpha = 60^\circ \text{ oraz } F_{\text{rzutu}} = 31,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Prędkości w_g przeliczono na w_s w oparciu o zmodyfikowany model transportu pneumatycznego [8]. Do obliczeń przyjęto na podstawie [11] wartość współczynnika kształtu cząsteczek $\phi = 1,6$.

Przy użyciu analizy wariancyjnej stwierdzono, że wszystkie zmienne niezależne mają istotny wpływ na zjawisko, natomiast wzajemne oddziaływanie pomiędzy nimi można pominąć.

W wyniku matematycznego opracowania danych doświadczalnych metodą analizy regresji otrzymano następujące równania:

1) dla układu koksik - beton:

$$Y = 2,132 \cdot 10^{-3} \cdot G_s^{1,1115} \cdot w_s^{1,9202} \cdot \tau^{-0,4306} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (7)$$

2) dla układu koksik - cegła szamotowa:

$$Y = 1,666 \cdot 10^{-3} \cdot G_s^{0,5517} \cdot w_s^{2,6304} \cdot \tau^{-0,2098} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (8)$$

3) dla układu koksik - stal konstrukcyjna:

$$Y = 3,682 \cdot 10^{-4} \cdot G_s^{0,6596} \cdot w_s^{2,2480} \cdot \tau^{-0,1664} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (9)$$

4) dla układu węgiel - beton:

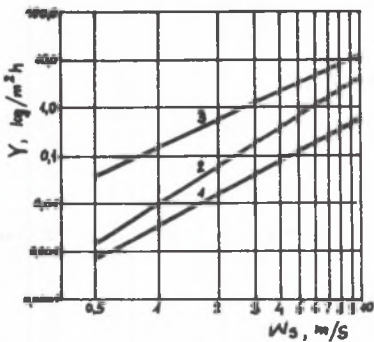
$$Y = 1,580 \cdot 10^{-4} \cdot G_s^{1,2312} \cdot w_s^{2,4784} \cdot \tau^{-0,6237} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (10)$$

5) dla układu węgiel - cegła szamotowa:

$$Y = 3,760 \cdot 10^{-4} \cdot G_s^{0,8950} \cdot w_s^{1,6965} \cdot \tau^{-0,5127} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (11)$$

6) dla układu węgiel - stal konstrukcyjna:

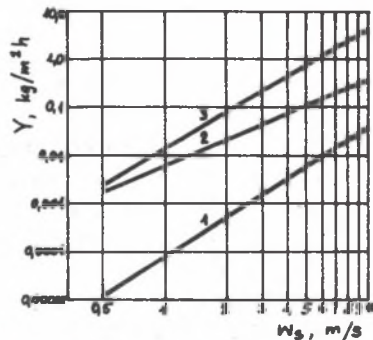
$$Y = 1,544 \cdot 10^{-6} \cdot G_s^{1,0656} \cdot w_s^{2,7490} \cdot \tau^{-0,4371} \cdot (\cos \alpha)^{1,8660} \quad (12)$$



Rys. 6. Zależność $Y = f(w_s)$, przy ustalonych wartościach:

$G_s = 85,5 \text{ kg/h}$; $\tau = 1 \text{ h}$
 $\cos \alpha = 0,683$ dla układów

1 - koksik - stal, 2 - koksik - cegła szamotowa, 3 - koksik - beton



Rys. 7. Zależność $Y = f(w_s)$ przy ustalonych wartościach:

$G_s = 132 \text{ kg/h}$; $\tau = 3,5 \text{ h}$
 $\cos \alpha = 0,683$, dla układów

1 - węgiel - stal, 2 - węgiel - cegła szamotowa, 3 - węgiel - beton

Na podstawie otrzymanych korelacji sporządzono wykresy przedstawiające zależność erozji Y od W_g , G_g , τ i α . Przykładowe wykresy tego rodzaju zamieszczono na rys. 6 i 7.

Wnioski

1. W toku badań wetępnych stwierdzono istotny wpływ średnicy i prędkości cząstek, czasu transportu oraz masowego natężenia przepływu fazy stałej na ścieralność materiałów sypkich w pionowym transporcie pneumatycznym. Stała C , wykładniki przy średnicy cząstek i masowym natężeniu przepływu fazy stałej przybierają różne wartości dla badanych materiałów i zależą przypuszczalnie od struktury i fizyko mechanicznych własności materiałów.
2. Na podstawie wykonanych zdjęć cząstek materiału sypkiego przed i po transporcie zauważono, że w czasie transportu cząstki te przybierają kształt zbliżony do kulistego, co tłumaczy otrzymaną (rys. 5) stałą szybkosc ścierania przy czasie transportu dłuższym od 3 godzin.
3. Stwierdzono istotny wpływ masowego natężenia przepływu fazy stałej, prędkości cząstek, czasu procesu i kąta nachylenia próbki na erozję materiałów konstrukcyjnych w pionowym transporcie pneumatycznym. Uzyskane korelacje wskazują, że wykładniki przy czasie procesu, dla badanego materiału transportowanego i różnych materiałów erodowanych, wykazują pewną tendencję wzrostu w miarę wzrostu twardości materiałów erodowanych.
4. Z wykresów (rys. 6 i 7) wynika, że największą erozję wykazuje beton, pośrednią - cegła szamotowa, najmniejszą zaś - stal.

Spis ważniejszych oznaczeń

d	- średnica rury transportowej, m
d_g	- średnica ekwiwalentna cząstek, mm
F	- powierzchnia wżeru, m ²
F_{RZ}	- powierzchnia rzutu przekroju rury transportowej na płaszczyznę płytki, m ²
G_g	- masowe natężenie przepływu fazy stałej, kg/h
k	- współczynnik [równ. (4)]
Δm	- ubytek masy próbki, g
W	- ścieralność, % mas.
w_g	- prędkość fazy gazowej, m/s
w_s	- prędkość fazy stałej, m/s
Y	- erozja, $\frac{kg}{m^2 \cdot h}$

- α - kąt uderzenia, °
 τ - czas, h
' - poziom górny
" - poziom dolny

LITERATURA

- [1] Muchlenow I.P.: Kataliz w kipjaszczem słoje. Chimija, Moskwa 1971.
[2] Maźniak B.: Analiza wpływu niektórych parametrów na proces erozji materiału warstwy fluidalnej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Mechanika z. 66 (1978).
[3] Zujew F.G.: Pniewmaticzeskoje transportirowanije na ziernopieriera-batywejuszczich priedprijatijach. Kołos, Moskwa 1976.
[4] Glatzel W.D., Brauer H., Chemie - Ingenieur - Technik 50, 487 (1978).
[5] Bandrowski J., Kot-Borkowska Z., Mieszal M., Raczek J.: Badanie erozji materiałów konstrukcyjnych elementów instalacji pneumatycznego transportu koksiku i węgla. Koks, Smoła, Gaz 9, 232 (1980).
[6] Mills D.: The effect of particle concentration on the erosion of pipe bends in pneumatic conveying systems, Pneumotransport 3, Paper A7, Bath, England, 1976.
[7] Mewes D.: Dissertation, TU Berlin, 1970, wg [4].
[8] Yang W.C.: Powder Bulk Solids Techn. 1, 89 (1977).
[9] Oktaba W.: Metody statystyki matematycznej w doświadczalnictwie. PWN Warszawa 1971.
[10] Fitko H., Krajzel J.: Praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Budowy Aparatury Politechniki Śl., Gliwice 1979.
[11] Kaczmarczyk G.: Praca doktorska, Pol. Śl. 1976.

ИСТИРАЕМОСТЬ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭРОЗИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Резюме

В результате математической обработки экспериментальных данных полученных в установке вертикального пневмотранспорта с рециркуляцией сыпучего материала, получены эмпирические модели истираемости транспортированных материалов (уголь, коксик, зола) и эрозии конструкционных материалов (шамот, бетон, сталь).

ATTRITION OF GRANULAR MATERIALS AND EROSION OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS
OF THE ELEMENTS OF PNEUMATIC CONVEYING INSTALLATION

S u m m a r y

In the result of mathematical treatment of the experimental data from the installation of the vertical pneumatic conveying with the recirculation of the granular material, the following empirical models have been obtained:

- 1) attrition of the transported materials (coal, coke breeze, ash),
- 2) erosion of the constructional materials (chamotte, concrete, steel).