

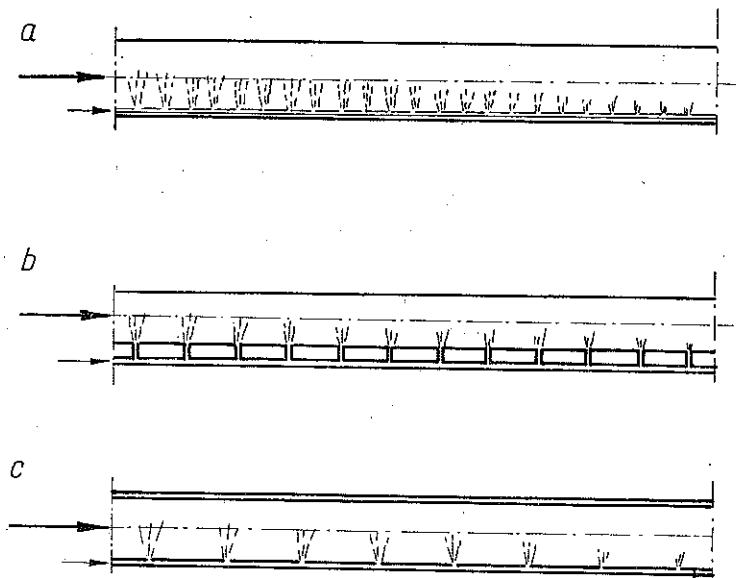
TRANSPORT PNEUMATYCZNY MATERIAŁÓW SPROSZKOWANYCH PRZY WYSOKICH KONCENTRACJACH MIESZANINY

MAREK SPERSKI (GDAŃSK)

Rozwiązano zagadnienie jednowymiarowego przepływu mieszaniny gazu i pyłu w poziome rurze. Metoda umożliwia wyrażenie zmiany ciśnienia w rurze w zależności od natężenia przepływu obu faz. Metodę wypróbowano doświadczalnie za pomocą specjalnych przewodów rurowych w warunkach wysokiego stężenia cząstek.

1. PRZEWODY DODATKOWO ZASILANE POWIETRZEM

Zasadniczym problemem transportu pneumatycznego jest obniżenie zużycia energii na jednostkę masy przeniesionego materiału. Przenośnik pneumatyczny zużywa mniejszą ilość energii, jeżeli pracuje przy wysokich koncentracjach mieszaniny. Z drugiej strony wzrost koncentracji obniża pewność pracy urządzenia, po-



Rys. 1

nieważ zwiększa niebezpieczeństwo zatkania przewodu. Zastosowanie przewodów dodatkowo zasilanych powietrzem umożliwia ciągłość pracy przenośnika przy wysokich koncentracjach mieszaniny. Przewody te przedstawiono na rys. 1. Są nimi

1. *Rurociągi z dodatkowym zasilaniem wewnętrznym.* Konstrukcja ich polega na umieszczeniu na dnie głównego rurociągu transportowego — cienkiego przewodu, w którym w górnej części wywiercono otwory. Przewodem tym dopływa powietrze pod nieco wyższym ciśnieniem niż ciśnienie panujące w głównym rurociągu i wydobywając się przez otwory powoduje dodatkowe spulchnianie transportowanego materiału. W przypadku zatkania w którymkolwiek miejscu rurociągu wytwarza się na odcinku pomiędzy dwoma kolejnymi otworkami przy końcu «korka» różnica ciśnień, powodująca odsunięcie części materiału. W praktyce oczyszczenie zatkanego rurociągu trwa od kilku do kilkunastu sekund.

2. *Rurociągi z dodatkowym zasilaniem zewnętrznym.* Rysunki 1b i 1c przedstawiają dwie wersje takiego rurociągu. W wersji pierwszej dodatkowy przewód zasilający jest poprowadzony równolegle do rurociągu transportowego i w niewielkich odstępach połączony z nim prostopadłymi, cienkimi przewodami. Konstrukcja wersji drugiej polega na umieszczeniu wewnątrz szczelnego przewodu głównego rurociągu transportowego o nieco mniejszej średnicy, w którym wywiercono małe otwory. Część sprężonego powietrza doprowadzona pod nieco wyższym ciśnieniem pomiędzy ścianki obu przewodów przedostaje się przez otwory do wnętrza głównego rurociągu, powodując dodatkowe spulchnianie materiału.

Dodatkowymi przewodami zasilającymi doprowadza się około 3 – 5% całkowitej ilości powietrza zużytego do transportu. Pomiarzy wykazały, że dodatkowe zasilanie przewodu nie wywiera widocznego wpływu na spadek ciśnienia w głównym rurociągu transportowym, bowiem przy jednakowych koncentracjach mieszaniny spadek ciśnienia we wszystkich trzech rodzajach rurociągów jest w przybliżeniu taki sam jak w zwykłym przewodzie o przekroju kołowym. Natomiast wprowadzenie dodatkowego zasilania przyczynia się do bardziej równomiernego rozkładu materiału w przekroju poprzecznym rurociągu.

2. DOTYCHCZASOWE METODY WYZNACZANIA SPADKU CIŚNIENIA W RUROCIĄGU TRANSPORTOWYM

Pierwsze badania transportu pneumatycznego przeprowadził J. GASTERSTÄDT [7] w r. 1924. Na podstawie pomiarów spadku ciśnienia podczas transportu pszenicy rurociągami o średnicach 85 i 95 mm, długości 150 m, przy średnich prędkościach przepływu powietrza od 12,8 do 27,3 m/s i ciężarowych koncentracjach mieszaniny $\mu = G/Q$ od 0 do 15 GASTERSTÄDT zauważył, że przy jednakowych prędkościach powietrza spadek ciśnienia podczas przepływu mieszaniny, podzielony przez spadek ciśnienia podczas przepływu czystego powietrza, jest liniową funkcją koncentracji μ :

$$(2.1) \quad \frac{\Delta p}{\Delta p_p} = 1 + \mu \operatorname{tg} \alpha.$$

Biorąc pod uwagę, że na całkowitą różnicę ciśnień składa się spadek ciśnienia, spowodowany przepływem fazy gazowej, oraz dodatkowy spadek ciśnienia, spowodowany wprowadzeniem do przepływu ziarn materiału

$$(2.2) \quad \Delta p = \Delta p_p + \Delta p_m,$$

oraz

$$\Delta p = \lambda_p \frac{\Delta l}{D} \frac{\rho_p v^2}{2},$$

otrzymał on następującą zależność:

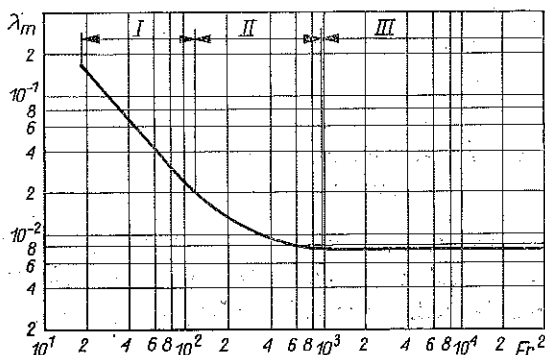
$$(2.3) \quad \Delta p_m = \lambda_m \mu \frac{\Delta l}{D} \frac{\rho_p v^2}{2},$$

gdzie $\lambda_m = \lambda_p \operatorname{tg} \alpha$ nazywa się współczynnikiem oporu fazy stałej.

Własności współczynnika λ_m jako funkcji liczb

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{Dg}}, \quad Fr^* = \frac{w_f}{\sqrt{Dg}}, \quad \mu = \frac{G}{Q},$$

warunkujących podobieństwo dynamiczne przepływów dwufazowych, określił W. BARTH [2 i 3]. Przedstawienie tego współczynnika w zależności od kwadratu liczby Froude'a (rys. 2) pozwala na wyróżnienie trzech charakterystycznych obsza-



Rys. 2

rów: 1) obszaru I, w którym $\lambda_m = \text{const}/Fr^2$, 2) obszaru przejściowego II oraz 3) obszaru III, w którym $\lambda_m = \text{const}$.

Kwadrat liczby Froude'a przedstawia stosunek masowych sił bezwładności do sił ciężkości: $Fr^2 \approx F_B/F_c$. W obszarze I dla małych liczb Fr siła powierzchniowa, działająca na mieszanke, znajdującą się w przewodzie o polu przekroju F i długości Δl , jest zgodnie z zależnością (2.3) proporcjonalna do sił ciężkości:

$$(2.4) \quad \Delta p_m F = \frac{\text{const}}{Fr^2} \mu \frac{\Delta l}{D} \frac{\rho_p v^2}{2} F \approx \frac{F_c}{F_B} F_B \approx F_c,$$

dotatkowa zaś strata ciśnienia, spowodowana przepływem materiału,

$$(2.5) \quad \Delta p_m = \text{const} \mu g \rho_p \Delta l$$

nie zależy od prędkości gazu.

W obszarze III dla $\lambda_m = \text{const}$ siła naporu

$$(2.6) \quad \Delta p_m F = \text{const} \mu \frac{\Delta l}{D} \frac{\rho_p v^2}{2} F \approx F_B$$

jest proporcjonalna do masowych sił bezwładności.

W obszarze przejściowym II o charakterze przepływu decydują jednocześnie oba rodzaje sił, tj. siły bezwładności i siły ciężkości.

W zakresie prędkości stosowanych w praktyce i przy wyższych koncentracjach mieszaniny transport pneumatyczny odbywa się w obszarze I, w którym decydującą rolę odgrywają siły ciężkości. Opracowane dotychczas dla tego obszaru wzory W. S. PALCEWA [5],

$$(2.7) \quad \Delta p = \frac{k\mu\gamma_2 \Delta l}{1 - \frac{k\mu\gamma_2 \Delta l}{2p_2}},$$

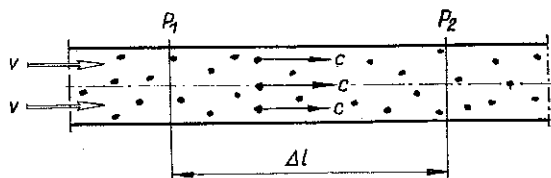
oraz E. MUSCHELKNAUTZA i W. KRAMBROCKA [9]

$$(2.8) \quad \Delta p = p_1 - p_2 = p_2 [e^{k^* \mu t} - 1],$$

oparte na założeniach zgodnych z zależnościami (2.5) i (2.4), wymagają w praktyce doświadczalnego określenia współczynników k, k^* przy różnych koncentracjach mieszaniny.

3. UPROSZCZONA METODA OBLICZENIA SPADKU CIŚNIENIA W PROSTOOSIOWYM, POZIOMYM PRZEWODZIE

Rysunek 3 przedstawia schemat przepływu dwufazowej mieszaniny przez prostoosiową rurę o przekroju kołowym. Symbol c oznacza średnią prędkość przepływu ziarn materiału, v średnią prędkość przepływu gazu, G ciężarowe natężenie przepływu



Rys. 3

fazy stałej, Q ciężarowe natężenie przepływu fazy gazowej, D średnicę rurociągu oraz p_1 i p_2 — ciśnienia na początku i końcu rozpatrywanego odcinka o długości Δl .

Na przepływającą fazę stałą działają następujące siły:

1. Siła powierzchniowa (napór) równa różnicy ciśnień, pomnożonej przez pole powierzchni zajmowanej w przekroju poprzecznym przewodu przez materiał:

$$(3.1) \quad P_m = F_m \Delta p = \frac{G}{c\gamma_m} \Delta p,$$

gdzie γ_m oznacza ciężar właściwy materiału.

2. Siła tarcia materiału o dno rurociągu, proporcjonalna do ciężaru ziarn znajdujących się w danej chwili w rozpatrywanym odcinku przewodu

$$(3.2) \quad T_m = \beta N = \beta \frac{G}{c} \Delta l.$$

3. Siła tarcia gazu o materiał (zgodnie z [10])

$$(3.3) \quad R = \frac{G}{c} \left(\frac{v-c}{w_f} \right)^{2-\kappa} \Delta l.$$

Masa materiału znajdująca się w rozpatrywanym odcinku rurociągu wynosi

$$(3.4) \quad M_m = \frac{G}{gc} \Delta l.$$

Równanie ruchu fazy stałej jest następujące:

$$(3.5) \quad \frac{G}{g} dc = -\frac{G}{c\gamma_m} dp - \beta \frac{G}{c} dl + \frac{G}{c} \left(\frac{v-c}{w_f} \right)^{2-\kappa} dl,$$

gdź $dc/dt = c \, dc/dl$.

W fazie gazowej działają następujące siły:

1. Siła powierzchniowa (napór) równa różnicy ciśnień, pomnożonej przez pole powierzchni zajmowanej w przekroju rurociągu przez gaz:

$$(3.6) \quad P_p = F_p \Delta p = \frac{Q}{\gamma_p v} \Delta p,$$

ponieważ $Q = F_p \gamma_p v$.

2. Siła tarcia gazu o materiał [10]:

$$R = \frac{G}{c} \left(\frac{v-c}{w_f} \right)^{2-\kappa} \Delta l.$$

3. Tarcie gazu o ścianki przewodu. Zakładając, że średnia wartość naprężenia stycznego przy ściance przewodu wynosi

$$\tau_s = \lambda_p^* \frac{\rho_p v^2}{2},$$

siłę określa się zależnością

$$(3.7) \quad T_p = \tau_s S = \lambda_p^* \frac{\rho_p v^2}{2} \pi D \Delta l.$$

Wiedząc, że masa gazu zawarta w odcinku przewodu o długości Δl

$$M_p = \frac{Q}{gv} \Delta l,$$

można napisać równanie ruchu gazu w postaci

$$(3.8) \quad \frac{Q}{gv} dl \frac{dv}{dt} = -\frac{Q}{\gamma_p v} dp - \frac{G}{c} \left(\frac{v-c}{w_f} \right)^{2-\kappa} - \lambda_p \frac{\rho_p v^2}{2} \pi D dl,$$

gdzie $dv/dt = v \, dv/dl$.

Po dodaniu stronami równań (3.5) i (3.8) oraz uwzględnieniu następujących oznaczeń:

$$G = Q\mu = F_p v \gamma_p \mu, \quad 4\lambda_p^* = \lambda_p,$$

$$\gamma_p = \frac{p}{RT}, \quad \rho_p = \frac{p}{gRT},$$

gdzie R jest stałą gazową a T temperaturą, otrzymujemy

$$(3.9) \quad -dp = \beta \frac{F_p}{F} \frac{p}{RT} \frac{v}{c} \mu dl + \lambda_p \frac{1}{D} \frac{p}{gRT} \frac{v^2}{2} dl + \frac{F_p}{F} \frac{p}{gRT} v \mu dc +$$

$$+ \frac{F_p}{F} \frac{p}{gRT} v dv = \Delta p_m + \Delta p_p + \Delta p_c + \Delta p_v.$$

Z równania tego wynika, że na całkowity spadek ciśnienia w rurociągu transportowym składają się: a) spadek ciśnienia Δp_m , spowodowany tarciem materiału o dno przewodu, b) spadek ciśnienia Δp_p , spowodowany tarciem gazu o ścianki przewodu c) spadek ciśnienia Δp_c , spowodowany przyrostem prędkości materiału oraz d) spadek ciśnienia Δp_v , spowodowany przyrostem prędkości gazu.

Ponieważ przy wyższych koncentracjach mieszaniny ($\mu > 30$) strata ciśnienia spowodowana przepływem czystego powietrza nie przekracza 2 do 3% całkowitych strat ciśnienia, można tę stratę w dalszych obliczeniach pominąć. Uwzględniając zależność

$$(3.10) \quad \frac{F_p}{F} = \frac{F_p}{F_p + F_m} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma_p}{\gamma_m} \mu \frac{v}{c}},$$

gdź

$$F_p = \frac{Q}{\gamma_p v}, \quad F_m = \frac{Q\mu}{\gamma_m c},$$

otrzymamy dla przepływu ustalonego z równania (3.9)

$$(3.11) \quad -RT \frac{c}{v} \frac{dp}{p} - \frac{\mu}{\gamma_m} dp = \beta \mu dl,$$

a po scałkowaniu

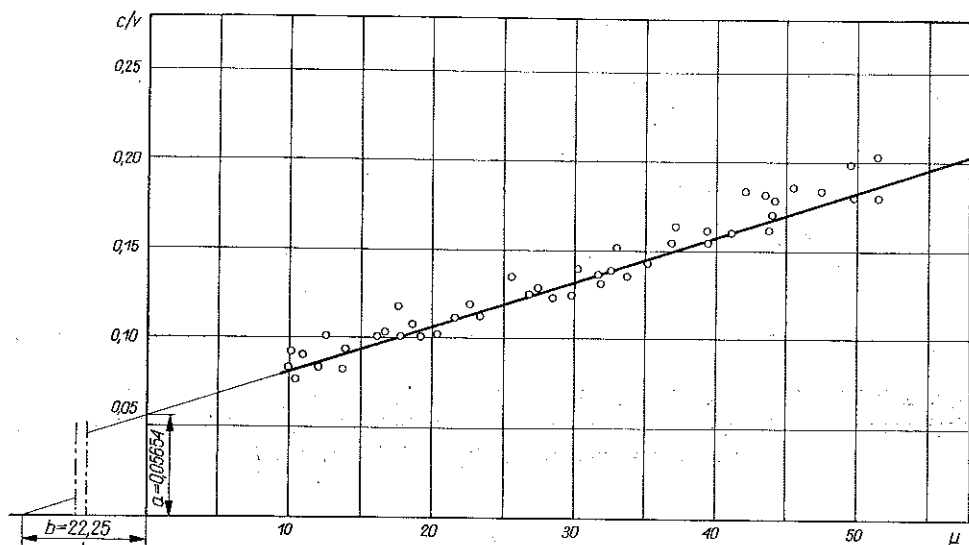
$$(3.12) \quad \frac{c}{v} RT \ln \frac{p_1}{p_2} + \frac{\mu}{\gamma_m} (p_1 - p_2) = \beta \mu l.$$

Wzór (3.12) umożliwia wyznaczenie spadku ciśnienia na prostoosiowym, poziomym odcinku rurociągu o długości l , gdy znane jest ciśnienie na końcu tego odcinka, ciężarowa koncentracja mieszaniny, ciężar właściwy transportowanego materiału, współczynnik tarcia materiału o dno przewodu oraz iloraz c/v średnich prędkości obu faz. Dwie ostatnie wielkości wyznacza się doświadczalnie.

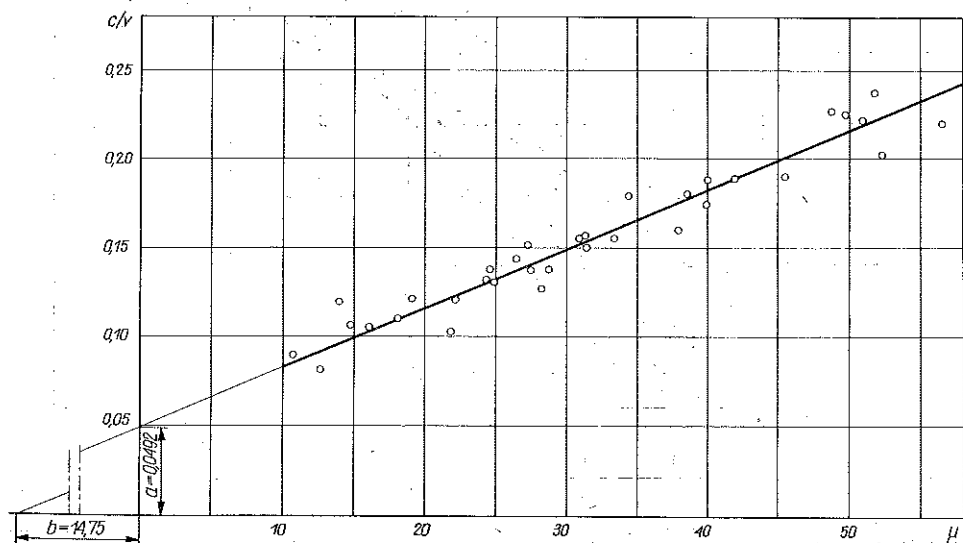
Rysunki 4 i 5 przedstawiają zależności ilorazów prędkości c/v , jako funkcji ciężarowej koncentracji mieszaniny, otrzymane doświadczalnie podczas transportu

tlenku glinu i apatytów. Wartości μ , p_1 , p_2 , β , T , γ_m zmierzono i z równania (3.12) określono ilorazy c/v . Z pomiarów wynika, że wykres tej zależności jest liniowy. Oznaczając przez a i b współrzędne punktów przecięcia prostej z osiami współrzędnych, możemy napisać jej równanie:

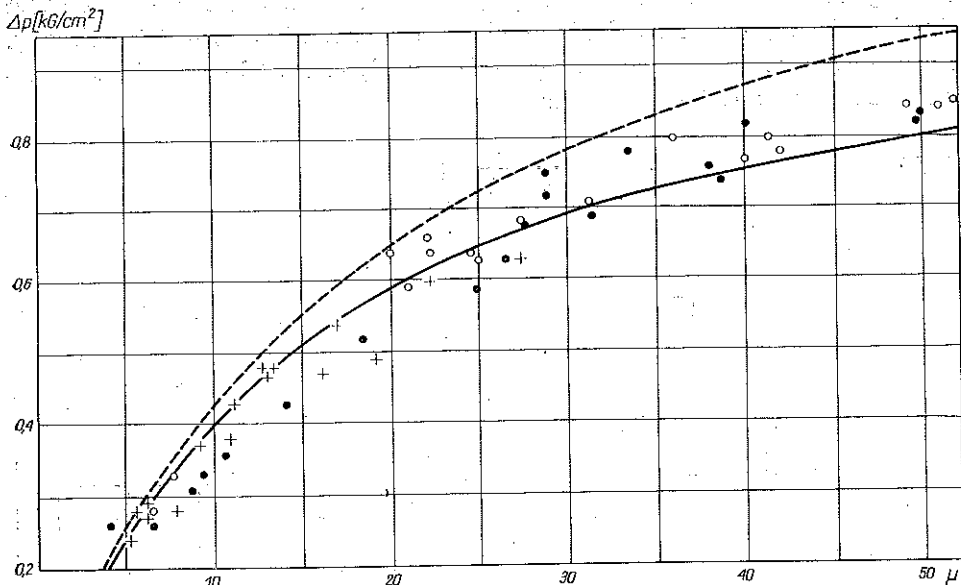
$$(3.13) \quad \frac{c}{v} = \frac{a}{b} \mu + a$$



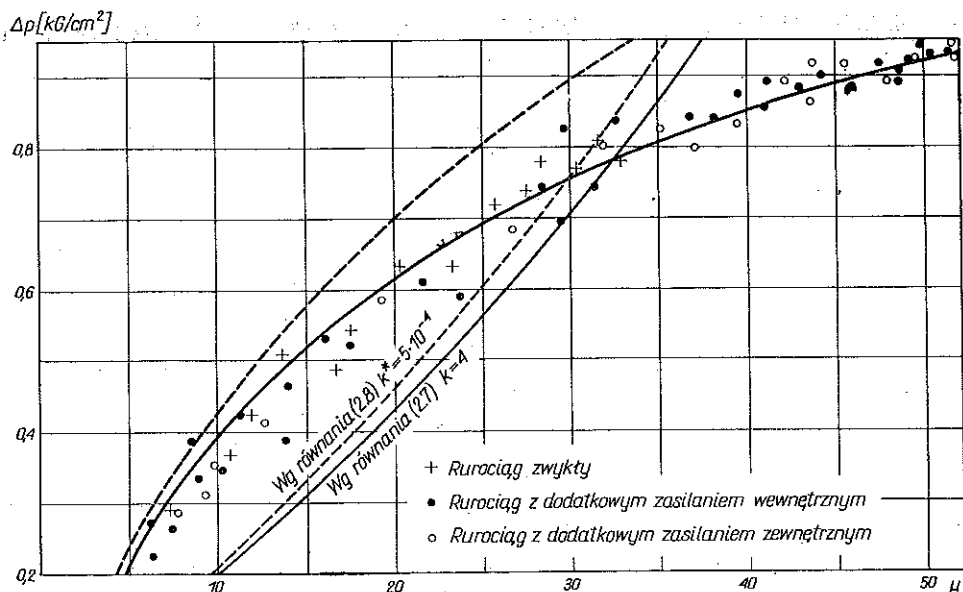
Rys. 4. Zależność ilorazu prędkości c/v od ciężarowej koncentracji mieszaniny dla tlenku glinu



Rys. 5. Zależność ilorazu prędkości c/v od ciężarowej koncentracji mieszaniny dla apatytu



Rys. 6. Zależność spadku ciśnienia od ciężarowej koncentracji mieszaniny dla tlenku glinu. Krzywa ciągła wg równania (3.14), krzywa przerywana wg (3.15). $l=30,61$ m, $\beta=0,67$, $a=0,0492$, $b=14,75$. Oznaczenia punktów pomiarowych jak na rys. 7



Rys. 7. Zależność spadku ciśnienia od ciężarowej koncentracji mieszaniny dla apatytów wg równania (3.14) (krzywa ciągła) i (3.15) (krzywa przerywana); $l=30,61$ m, $\beta=0,65$, $a=0,05654$, $b=22,25$

i po podstawieniu do równania (3.12), otrzymać zależność umożliwiającą obliczenie spadku ciśnienia w przewodzie przy pomocy trzech bezwymiarowych współczynników a , b , β , określonych doświadczalnie:

$$(3.14) \quad \Delta p = p_1 - p_2 = p_2 \left\{ \exp \left[\frac{\beta \mu l - \frac{\mu}{\gamma_m} \Delta p}{RTa \left(\frac{\mu}{b} + 1 \right)} \right] - 1 \right\}.$$

Zależność ma postać uwikłaną. Ponieważ drugi wyraz w liczniku ułamka po prawej stronie równania (3.14) ma w praktyce wielkość równą kilku procentom pierwszego wyrażenia $\beta \mu l$, można w pierwszym przybliżeniu posłużyć się zależnością:

$$(3.15) \quad \Delta p = p_2 \left\{ \exp \left[\frac{\beta \mu l}{RTa \left(\frac{\mu}{b} + 1 \right)} \right] - 1 \right\}.$$

Czwarte przybliżenie daje w praktyce dokładność rzędu 2%. Rysunki 6 i 7 przedstawiają wykresy krzywych $\Delta p = f(\mu)$ dla tlenku glinu i apatytów, określonych za pomocą równań (3.14) i (3.15) oraz ich porównanie z wynikami doświadczalnymi.

4. POBÓR MOCY I ZUŻYCIE ENERGII

Moc pobrana przez urządzenie transportu pneumatycznego jest równa iloczynowi objętościowego natężenia przepływu gazu przez różnicę ciśnień:

$$(4.1) \quad N^* = Q_{\text{obj}} \Delta p.$$

Moc pobrana przez urządzenie transportu pneumatycznego, podzielona przez ciężarowe natężenie przepływu fazy stałej,

$$(4.2) \quad L = \frac{N^*}{G},$$

nazywa się jednostkowym zużyciem energii. Przedstawia ono pracę potrzebną na przetransportowanie jednostki ciężaru materiału na daną odległość. Uwzględniając, że objętościowe natężenie przepływu fazy gazowej jest równe ciężarowemu natężeniu przepływu, podzielonemu przez ciężar właściwy gazu, $Q_{\text{obj}} = Q/\gamma_p$, otrzymamy ze wzorów (3.14), (4.1) i (4.2) wyrażenie:

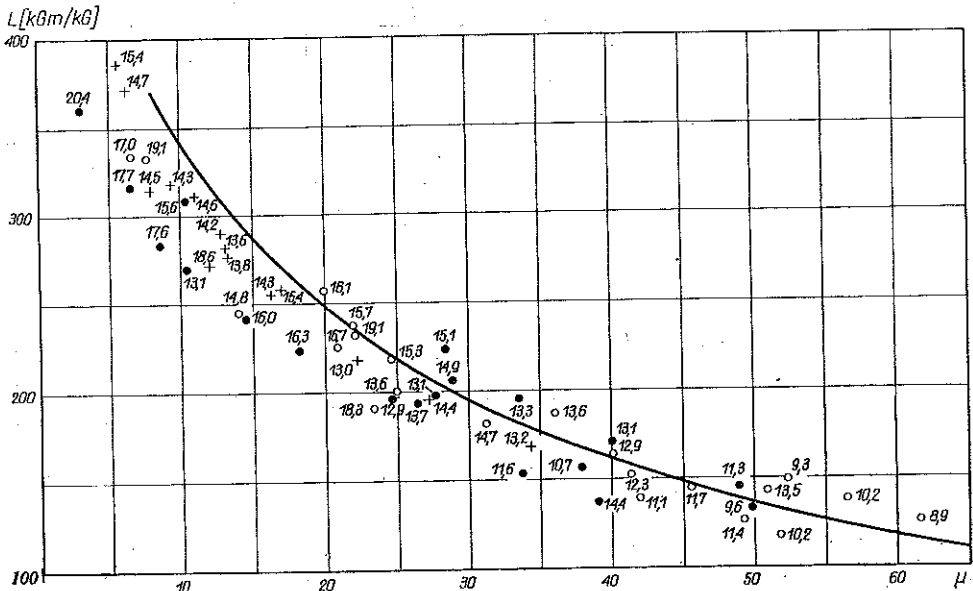
$$(4.3) \quad L = \frac{p_2}{\gamma_p \mu} \left\{ \exp \left[\frac{\beta \mu l - \frac{\Delta p}{\gamma_m} \mu}{RTa \left(\frac{\mu}{b} + 1 \right)} \right] - 1 \right\},$$

określające jednostkowe zużycie energii podczas poziomego transportu sproszkowanego materiału na odległość l .

Zgodnie z tym wzorem zużycie energii przy danej odległości transportu i rodzaju materiału jest tym mniejsze, im wyższa jest ciężarowa koncentracja mieszaniny.

Natomiast prędkość gazu w obszarze, w którym o charakterze przepływu decydują siły ciężkości, nie ma wpływu na jednostkowy koszt transportu.

Na rys. 8 przedstawiono przykładowo wielkości jednostkowego zużycia energii, uzyskane z pomiarów podczas poziomego transportu tlenku glinu przy różnych koncentracjach mieszaniny na odległość $l=30,61$ m oraz krzywą $L=f(\mu)$, określoną



Rys. 8. Zależność jednostkowego zużycia energii od ciężarowej koncentracji mieszaniny podczas transportu tlenku glinu na odległość $l=30,61$ m. Krzywa wg równania (4.3). Oznaczenia punktów pomiarowych jak na rys. 7

za pomocą równania (4.3). Liczby obok punktów pomiarowych oznaczają średnie prędkości przepływu powietrza w środku badanego odcinka.

Wielkość

$$(4.4) \quad L^* = \frac{N^*}{Gl},$$

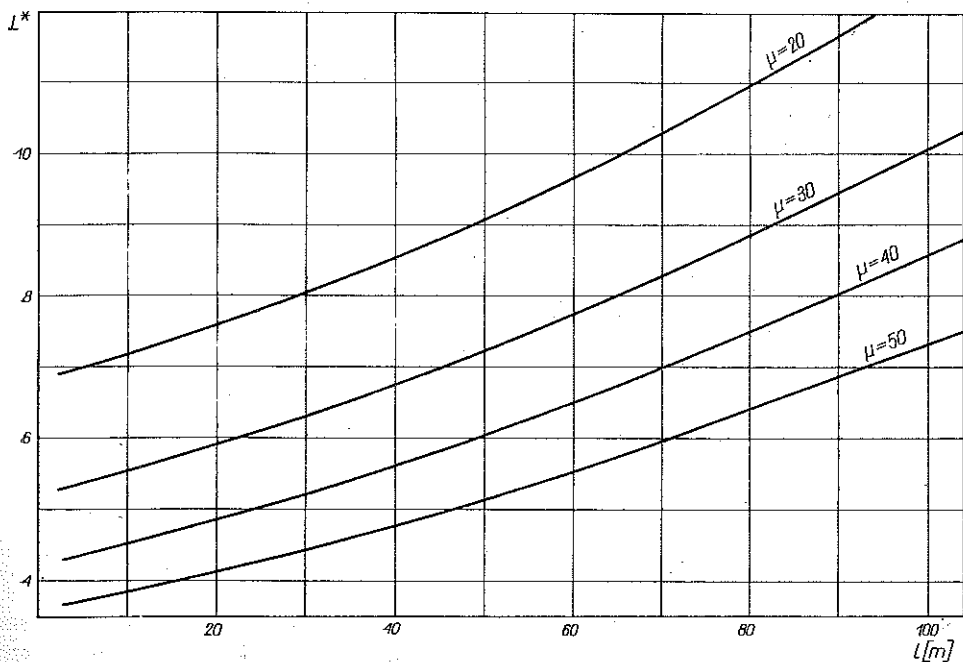
nazywana stopniem zużycia energii, przedstawia pracę potrzebną na przetransportowanie jednostki ciężaru materiału na odległość równą jednostce długości. Ze wzoru

$$(4.5) \quad L^* = \frac{p_2}{\gamma_v \mu l} \left\{ \exp \left[\frac{\beta \mu l - \frac{4p}{\gamma_m} \mu}{RTa \left(\frac{\mu}{b} + 1 \right)} \right] - 1 \right\}$$

wynika, że oprócz ciężarowej koncentracji mieszaniny na wielkość stopnia zużycia energii wpływa również odległość transportu. Na rys. 9 przedstawiono wykres wartości stopnia zużycia energii dla tlenku glinu, jako funkcji odległości transportu, dla różnych koncentracji mieszaniny, określony na podstawie zależności (4.5).

Wykres krzywych wskazuje, że najbardziej ekonomiczny transport z punktu widzenia nakładów energii uzyskuje się przy wysokich koncentracjach mieszaniny i przeładunku na nieduże odległości. Z przedstawionych rozważań wynikają następujące wnioski praktyczne.

Podczas projektowania urządzeń transportu pneumatycznego należy dążyć do stosowania możliwie wysokich koncentracji mieszaniny. Przy transporcie na dalsze odległości przyjęcie maksymalnej koncentracji jest zazwyczaj uwarunkowane wyso-



Rys. 9. Zależność stopnia zużycia energii od odległości transportu i ciężarowej koncentracji mieszaniny

kością ciśnienia, jakie może wytworzyć sprężarka, będąca w dyspozycji projektanta oraz względami konstrukcyjno-wytrzymałościowymi urządzenia pracującego pod wysokim ciśnieniem.

Transport na krótkie odległości może odbywać się przy mniejszych różnicach ciśnień i wówczas o przyjęciu maksymalnej koncentracji decyduje niebezpieczeństwo zatkania przewodu. Zastosowanie rurociągów z dodatkowym zasilaniem umożliwiło w przypadku tlenku glinu i apatytów bezpieczny transport przy dwu do trzykrotnie wyższych koncentracjach mieszaniny niż w zwykłym rurociągu i przyczyniło się do obniżenia jednostkowego zużycia energii w przybliżeniu o 40%.

Zmniejszenie prędkości powietrza w celu obniżenia zużycia energii jest uzasadnione tylko w takich zakresach liczb $Fr = v/Dg$, przy których o charakterze przepływu decydują siły bezwładności. W zakresie decydującego oddziaływania sił ciężkości prędkość powietrza nie ma istotnego wpływu na jednostkowe zużycie energii, natomiast o wielkości tego zużycia decyduje koncentracja.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. W. BARTH, *Strömungstechnische Probleme der Verfahrenstechnik*, Chemie Ing. Technik, 26, 1954.
2. W. BARTH, *Strömungsvorgänge beim Transport von Festteilchen und Flüssigkeitteilchen in Gasen*, Chemie Ing. Technik, 30, 1958.
3. W. BARTH, *Physikalische und wirtschaftliche Probleme des Transportes von Festteilchen in Flüssigkeiten und Gasen*, Chemie Ing. Technik, 3, 1960.
4. W. BARTH, *Strömungstechnische Probleme bei der Förderung von Staub-Luft Gemischen*, Chemie Ing. Technik, 3, 1963.
5. W. P. BURSIAŃ, *Pniewmaticszeskij transport na priedprijatach piszczewoj promyszlennosti*, Moskwa 1964.
6. W. FLATT, W. ALLENSPACH, *Erhohen der Förderleistung und Verbessern des Wirkungsgrades pneumatischer Förderanlagen*, Chemie Ing. Technik, 21, 1970.
7. J. GASTERSTÄDT, *Die experimentelle Untersuchung des pneumatischen Fördervorganges*, VDI Forschungsarbeiten, 265, 1924.
8. A. LIPPERT, *Pneumatische Förderung bei hohen Gutkonzentrationen*, Chemie Ing. Technik, 38, 1966.
9. E. MUSCHELKNAUTZ, W. KRAMBROCK, *Vereinfache Berechnung horizontaler pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gutbeladung mit feinkörnigen Produkten*, Chemie Ing. Technik, 21, 1970.
10. W. RAUSCH, *Untersuchungen über die Luftwiderstände von körnigen und staubförmigen Gutern im Luftstrom*, Ingenieur-Archiv, 5, 1958.
11. *Neues pneumatisches Förderverfahren*, Fördern und Heben, 12, 1964.

Резюме

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ПРИ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ

Решена проблема одномерного течения смеси газа и пыли в горизонтальной трубе. Метод дает возможность выражения изменения давления в трубе в зависимости от интенсивности течения обеих фаз. Метод проверен экспериментально при помощи специальных трубчатых проводов в условиях высокой концентрации частиц.

SUMMARY

PNEUMATIC CONVEYING AT HIGH PARTICLE CONCENTRATIONS

The solution is given to the problem of one-dimensional flow of the gas — powder mixture through a horizontal pipe. The method enables to calculate the change of pressure in the pipe as a function of the flow intensity of the both phases. The method has been tested experimentally on special pipes working at high concentrations of the mixture.

POLITECHNIKA GDAŃSKA

Praca została złożona w Redakcji dnia 10 lipca 1973 r.