Seria: GÓRNICTWO z. 148

Mieczysław ROCZNIAK, Zygmunt KLESZCZEWSKI, Bogusław NOSOWICZ

TRANSPORT PNEUMATYCZNY MATERIAŁÓW SYPKICH DO WYROBISK ŚCIANOWYCH

Streszczenie. W pracy przeanalizowano możliwość wykorzystania układu pneumatycznego do transportu materiałów sypkich w kopalniach. Założono, że układ składać się będzie z części pionowej o wysokości kilkuset metrów oraz części poziomej o zmieniającej się długości. W pierwszej części pracy przeanalizowano opory w rurociągu, co pozwoliło wyznaczyć zmiany ciśnienia w rurociągu. Uwzględniając przemiany termodwomiozne pozitowano pierwszej części precedenia w rurociągu.

pozwoliżo wyznaczyć zmiany ciśnienia w rurociągu. Uwzględniając przemiany termodynamiczne powietrza wyliczono prędkość, gęstość i ciśnienie powietrza w dowolnym miejscu układu pneumatycznego. Wykorzystano w tym celu układ równań:

$$P_2 + \frac{9_z V_z^2}{2} = P_1 + \frac{9_1 V_1}{2} + A(9^{0,75} V^{1,75} + g^{0,75} V^{1,75}) + Bg_1 V_1^2$$

91V1 = 92V2

$$\frac{s_1}{p_1} = \frac{s_2}{p_2}$$

gdzie Q , p, V - odpowiednio gęstość, ciśnienie i prędkość powietrza w dwóch różnych punktach rurociągu.

W drugiej części pracy przeprowadzono obliczenia parametrów układu. Stwierdzono, że przy wykorzystaniu dwóch typowych sprężarek tłoczących po około 600 m² godz-1 powietrzą stosunkowo prosty układ ma zdolność transportową 40-50 ton godz-1 pyłu dymnicowego. Metoda ta może być wykorzystana przy transporcie materiałów sypkich do podsadzania wyrobisk w kopalniach.

### 1. Wstep

Transport pneumatyczny jest szeroko stosowany w różnych gałęziach przemysłu. Przykładowo możne wymienić transport piasku w hutach, za- i rozładowanie materiałów sypkich w portach, czy też przemysł młynarski.

Metoda ta, ze względu na stosunkowo niskie koszty i względną prostotę, może być również stosowana w górnictwie przy transporcie materiałów sypkich do podsadzania wyrobisk w kopalniach. Materiałem transportowanym może być piasek lub pył dymnicowy.

Nr kol. 899

(1)

Celem niniejszej pracy jest analiza układu pneumatycznego do transportu pyłu dymnicowego w kopalniach oraz określenie parametrów i możliwości transportowych układu.

Ze względu na swoje przeznaczenie układ pneumatyczny składać się będzie z części pionowej o wysokości kilkuset metrów oraz części poziomej o zmieniającej się długości, ale także rzędu setek metrów. Wtłaczane w początkowej części powietrze musi mieć odpowiednie ciśnienie i prędkość przey pływu, aby pokonać wszelkie opory w samym rurociągu oraz zapewnić przy zadanych parametrach układu odpowiednią jego wydajność.

Przy analizie parametrów układu pneumatycznego bardzo ważna jest znajomość oporów rurociągu. Rozważania nasze rozpoczniemy od przeanalizowania oporów w poziomej jego części.

# 2. Opór poziomego odcinka rurociagu

Opory powstałe przy przepływie powietrza przez rurociąg dzielimy na opory spowodowane tarciem wewnętrznym (lepkością) oraz opory lokalne (zmisny kierunku, średnicy, nierówności powierzchni itp.). Spadek ciśnienia na skutek tarcia wewnętrznego wyraża się wzorem [1]

$$\Delta p = \lambda \frac{1}{d} \frac{\mathbf{g}_p \mathbf{v}_p^2}{2} ,$$

gdzie:

l, d - odpowiednio długość i średnica rurociągu,

 $9_p, v_p$  - średnia gęstość i średnia prędkość powietrza w rurociągu.

A jest współczynnikiem oporu, którego wartość zależy od rodzaju przepływu. W przypadku ruchu lawinarnego, dla małych liczb Reynoldsa.

$$\lambda = \frac{64}{Re},$$
(2)  
gdzie Re =  $\frac{9 p V_{pd}}{p}$  jest liczba Reynoldsa,  $\eta$  - lepkość ośrodka.

Dla przepływów burzliwych, tzn. przy liczbie Reynoldsa Re > 2300, współczynnik  $\lambda$  określa się doświadczalnie, przy czyw najczęściej stosuje się wzór Blasiusa [2]

$$\lambda = \frac{0.316}{(Re)^{0}, 25}$$
(2a)

Latwo stwierdzić, że przy prędkościach rzędu  $V_p = 1 m/s$ , średnicy rurociągu d = 0,2 m przepływ powietrza będzie przepływem burzliwym. Dlatego dalej będziemy stosowali  $\lambda$  określone wzorem (2a) i po podstawieniu do (1) otrzymujemy wyrażenie na spadek ciśnienia wskutek tarcia wewnętrznego

230

 $dp = 0,316 \frac{dlg_p v_p^2}{d 2(\frac{g_p v_p^d}{2})}$ 

Opory lokalne wywołane przez zmianę średnicy rurociągu, kierunku ruchu czy przeszkody na drodze przepływu zależą od rodzaju przeszkody i rodzaju ruchu. Przy ruchu burzliwym spadek ciśnienia na określonej przeszkodzie wyraża się zależnością

$$\Delta p = k \frac{g_p V_p^2}{2},$$

gdzie k jest współczynnikiem oporu dla danej przeszkody, który jest najczęściej określany doświadczalnie.

and the second and share a second size and (3)

Całkowity spadek ciśnienia przy przepływie samego powietrza przez poziomą część rurociągu jest określony sumą spadków ciśnienia opisanych wzorem (3) i całki po "drodze 1 z wyrażenia określonego wzorem (1a). Warto zauważyć, że spadek ciśnienia zależy bardzo istotnie od prędkości. Przy dużych prędkościach przepływu, które są konieczne, gdy chcemy uzyskać dużą ilość transportowanej masy, należy oczekiwać znacznych spadków ciśnień.

Wyznaczenie oporu i spadku ciśnienia przy przepływie samego powietrza jest podstawą do określenia oporu poziomego odcinka przy transporcie pyłu. Eksperymentalnie stwierdzono [3], że opór rurociągu przy transporcie pyłu jest pewną wielokrotnością oporów przy przepływie samego powietrza, przy czym zależność między spadkiem ciśnienia przy przepływie pyłu △p<sub>z</sub> i spadkiem ciśnienia przy przepływie samego powietrza wyraża się wzorem

$$\Delta p_{g} = \Delta p (1 + 0 \frac{\dot{m}_{g} \nabla_{p}}{\dot{m}_{p} \nabla_{g}}),$$

gdzie C jest współczynnikiem, który zależy głównie od rodzaju transportowanego pyłu,  $m_z$  i  $m_p$  - odpowiednio masowy wydatek pyłu i powietrza:  $V_z$ ,  $V_p$  - średnia prędkość pyłu i powietrza. Wielkość  $m_z V_p / m_p V_z$  jest stosunkiem masy transportowanego pyłu do masy transportowanego powietrza.

, in stanged oddition .

Prędkość transportowanego pyłu jest zawsze mniejsza od prędkości powietrza, przy czym prędkość względna

 $V_{w} = V_{p} - V_{z}$ (5)

wzrasta ze wzrostem prędkości powietrza. Ponadto ważne jest, że ziarna pyłu poruszają się z różnymi prędkościami w zależności od ich rozmiarów.

(4)

(1a)

Ziarna o bardzo małych rozmiarach mają w zasadzie prędkość powietrza. W miarę wzrostu ziaren ich prędkość będzie malała, a ziarna bardzo duże mogą nawet opadać na dno rury. Oznacza to, że prędkość powietrza musi być dostatecznie duża, aby przy zadanych rozmiarach ziaren układ nie został zablokowany przez największe ziarna.

# 3. Opór pionowego odcinka rurociagu

W pionowym odcinku rurociągu oprócz omówionych wyżej zmian ciśnienia na skutek sił tarcia i oporów lokalnych wystąpią jeszcze zmiany ciśnienia uwarunkowane tym, że opadające ziarna pyłu mają prędkość większą niż przepływające w rurociągu powietrze. Problem ten omówiony będzie szczegółowiej.

W początkowej fazie ruch: ziaren będzie ruchem przyspieszonym, gdyż siły oporu, które są proporcjonalne do prędkości, nie równoważą sił grawitacji. W miarę wzrostu prędkości ziaren rosną siły oporu i ruch staje się jednostajny. Pierwsza faza ruchu będąca głównie funkcją wielkości ziaren i gęstości pyłu trwa stosunkowo krótko i może być w rozważaniach pominięta. Jest to tym bardziej uzasadnione, że odcinki pionowe układu będą miały kilkaset metrów długości. Ponadto można założyć, że pył będzie podawany do układu z pewną prędkością początkową, co jeszcze bardziej zmniejszy odcinek rurociągu, w którym ruch będzie niejednostajny. Jeśli przyjąć, że w stanie ustalonym powietrze z pyłem wypełni cały pionowy odcinek rurociągu o wysokości h i przekroju S, to dodatkowy wzrost ciśnienia wyniesie:

$$p = \frac{\dot{n}_z gh}{S v_z}$$
(6)

gdzie g - przyspieszenie ziemskie, pozostałe oznaczenia jak wyżej. Można więc powiedzieć, że w pionowym odcinku ciśnienie może zwiększyć lub zmniejszyć się w zależności od sił oporu i ilości podawanego pyłu.

### 4. Przemiany termodynamiczne powietrza w rurociągu

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że w różnych miejscach rurociągu wartości ciśnień będą różne. Najniższe ciśnienie na odcinku poziomym będzie na jego zakończeniu. W miarę oddalania się od zakończenia układu ciśnienie będzie wzrastało. Zmiany ciśnienia będą powodować zmiany gęstości i prędkości powietrza. Związek między ciśnieniem, gęstością i prędkością powietrza znajdujemy z równań: Transport pneumatyczny materiałów sypkich ...

a) równania Bernoulliego dla płynów lepkich

$$p_2 + \frac{9p_2 \nabla p_2^2}{2} = p_1 + \frac{9p_1 \nabla p_1^2}{2} + \Delta p_{2,1}$$
(7)

b) równania ciągłości masy

$$g_{\mathbf{p}_2} \mathbf{v}_{\mathbf{p}_2} = g_{\mathbf{p}_1} \mathbf{v}_{\mathbf{p}_1}$$

c) równania stanu gazu

$$\frac{p_2}{g_{p_2}T_2} = \frac{p_1}{g_{p_1}T_1}$$
(9)

gdzie  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $V_{p1}$ ,  $V_{p2}$ ,  $g_{p1}$ ,  $g_{p2}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  - odpowiednie ciśnienie, prędkość, gęstość i temperatura powietrza w punkcie 1 i 2,  $\Delta p_{2,1}$  - zmiana ciśnienia na skutek siż tarcia i oporów lokalnych na odcinku od punktu 2 do punktu 1.

# 5. Obliczenie parametrów układu pneumatycznego

Dysponujemy już obecnie wystarczającymi informacjani do przeprowadzenia ilościowej analizy układu pneumatycznego. Znając bowiem wartości ciśnienia, prędkości i gęstości powietrzą w określonym punkcie rurociągu oraz zmiany ciśnienia statycznego można wyznaczyć wartości p,v i g w dowolnym punkcie rurociągu. Ze względu na odmienne własności oddzielnie rozpatrzymy odcinek poziomy i pionowy.

### 5.1. Pozioma część układu

Jako zadane warunki przyjmiemy p<sub>1</sub>, V<sub>1</sub> i g<sub>1</sub> na końcu rurociągu. Takie podejście jest uzasadnione tym, że ciśnienie p<sub>1</sub> można przyjąć za znane i równe ciśnieniu atmosferycznemu w kopalni w pobliżu zakończenia układu pneumatycznego. Znając również temperaturę z równania stanu wyznaczamy gęstość, natomiast prędkość wyliczamy ze wzoru:

$$v_{p1} = \frac{m_p}{S_{p1}}$$

(10)

(8)

W ten sposób znając  $p_p$ ,  $V_p$  i  $q_p$  w jednym miejscu układu, z równań (7), (8) i (9) wyliczamy analogiczne wielkości w innym, dowolnym miejscu odcinka poziomego. Zmianę ciśnienia  $\Delta p_{2,1}$  na rozpatrywanym odcinku rurociągu wyznaczany jako sumę zmian spowodowanych siłami tarcia i oporami lokalnymi. Przyjmiemy, że na końcu rurociągu istnieje dodatkowy opór spowodowany istnieniem urządzeń wydalających pył. Na podstawie wzorów (10), (3), (4) możemy napisać:

$$\Delta P_{2,1} = (\Delta P_1 + \Delta P_2)(1 + C \frac{m_2 V_p}{m_p V_z}),$$

gdzie

$$\Delta p_{1} = 0,316 \frac{\gamma_{2}^{0},25_{1}}{2a^{1},25} \frac{9_{p1}^{0},75_{1},75_{1}+9_{p2}^{0},75_{1},75_{1}}{2}$$
(12)

jest zmianą ciśnienia na skutek dziażania siż tarcia

$$\Delta P_2 = k \frac{P_{p1} V_{p1}^2}{2}$$
(13)

zmiana ciśnienia na skutek oporów lokalnych. Wobec tego równania (7), (8) i (9) mają postać:

$$P_{2} + \frac{g_{p2}v_{p2}^{2}}{2} = P_{1} + \frac{g_{p1}v_{p1}^{2}}{2} + A(g_{p_{1}}^{0}, 75v_{p_{1}}^{1}, 75 + g_{p_{2}}^{0}, 75v_{p_{2}}^{1}, 75) + Bg_{p_{1}}v_{p_{1}}^{2}$$
(14)

$$p_2 v_{p_2} = g_{p_1} v_{p_1}$$
(15)

$$\frac{P_2}{P_2} = \frac{P_1}{q_{p_1}T_1}$$
, (16)

gdzie

q

$$A = 0,316 \frac{n^{0},25_1}{4d^{1},25} (1 + 2C \frac{m_z}{m_p}), \qquad (17)$$

$$B = 0,3(1 + 2C \frac{m_z}{m_p})$$

(18)

(11)

Wyliczając niewiadome g<sub>p2</sub>, V<sub>p2</sub> i P<sub>2</sub>, otrzymujemy:

$$b_{p2} = \frac{b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
 (19)

$$V_{p1} = \frac{g_{p1} \cdot g_{p1}}{g_{p1}} ,$$
$$g_{p2} = \frac{g_{p1} \cdot g_{p2}}{g_{p1} \cdot g_{p2}} ,$$

gdzie:

q

$$a = \frac{p_1 T_2}{q_{p1} T_1} , \qquad (22)$$

$$b = p_1 + 0,5q_{p1}v_{p1}^2 + Aq_{p1}^{0,75}v_{p1}^{1,75} + Bq_{p1}v_{p1}^2, \qquad (23)$$

$$c = 0,5 g_{p1}^2 v_{p1}^2 - A g_{p_1}^{1,75} v_{p1}^{1,75}$$
(24)

Wzory (19-21) pozwalają wyznaczyć p,V i o w dowolnym miejscu poziomego odcinka układu pneumatycznego. Przy określaniu zdolności transportowych układu ważna jest zwłaszcza znajomość prędkości powietrza. Okazuje się bowiem, że prędkość nie może być mniejsza od pewnej wartości minimalnej, zależnej od rodzaju transportowanego materiału. Wyprowadzone wzory umożliwiają wyliczenie wartości od takich parametrów, jak długość poziomego odcinka 1, średnicy rury d, tłoczonego w jednostce czasu powietrza m<sub>p</sub>, masypodawanego pyłu m.

### 5.2. Odcinek pionowy

W podobny sposób wyznaczamy ciśnienie statyczne, gęstość i prędkość powietrza na górze układu transportowego. Na odcinku pionowym wystąpi:

- a) spadek ciśnienia wywołany tarciem powietrza z pyłem o ścianki rury (wzory 1a i 4),
- b) spadek ciśnienia na skutek oporu lokalnego (wzory 3 i 4), który wystąpi przy przejściu z odcinka poziomego w odcinek pionowy,
- c) wzrost ciśnienia wywołany ciężarem znajdującego się w rurociągu pyłu (wzór 6), gdzie jako V<sub>z</sub> można przyjąć 1,05 V<sub>p</sub>, tzn., że prędkość pyłu na odcinku pionowym jest o 5% większa od prędkości powietrza [4].

(20)

(21)

Cars againing yout and a

Układ równań (7), (8) i (9) ma teraz postać:

$$p_{2} + \frac{9_{p2}v_{p2}^{2}}{2} = p_{1} + \frac{9_{p1}v_{p1}^{2}}{2} + A_{1}(\frac{9_{p1}v_{p1}^{2}}{2} + \frac{9_{p2}v_{p2}^{0}}{2}) + B_{1}9_{p1}v_{p1}^{2} - D \frac{1}{v_{p1} + v_{p2}}$$
(25)

-

$$g_{p2}v_{p2} = g_{p1}v_{p1}$$
 (26)

25

$$\frac{P_2}{p_2 T_2} = \frac{P_1}{g_p 1^T 1}$$
(27)

gdzie oznaczono:

8

$$A_1 = 0,316 \frac{n^{0,25}h}{4d^{1,25}}(1 + C \frac{m_z}{1,05m_p}),$$
 (28)

$$B_{1} = 0,05(1 + C \frac{m_{z}}{1,05m_{p}}), \qquad (29)$$

$$D = \frac{2gh}{1,055} \dot{u}_z$$

Traktując teraz jako znane (wyliczone dla odcinka poziomego) wartości P<sub>1</sub>, V<sub>p1</sub> i **9**<sub>p1</sub> przy przejściu odcinka poziomego w pionowy, z równań (25-27) wyliczamy wartości ciśnienia, prędkości i gęstości powietrza na początku odcinka pionowego.

# 6. Omówienie wyników obliczeń i wnioski

Do przeprowadzenia konkretnych obliczeń parametrów powietrza w układzie pneumatycznym przyjęto następujące dane:

1) ciśnienie  $p_1 = 1,013 \ 10^5 \ N \ m^{-2}$ 

2) temperatura powietrza (stała w całym układzie) T = 300 K,

3) stała C określająca własności dynamiczne transportowanego pyłu [4]
 C = 0,32,

4) stosunek prędkości powietrza do prędkości ziaren pyłu na odcinku poziomym  $\frac{V_p}{V_z} = 2$  [4], Transport pneumatyczny materiałów sypkich ...

5) srednica rury d = 0.15 m.

6) współczynnik oporu k (wzór 4) określający opór urzędzenia wydalającego powietrze z pyłem na zakończeniu układu pneumatycznego k = 0,6,

7) masa pyłu podawana do układu w jednostce czasu  $m_z$ , zmienna w przedziale 30-60 t godz<sup>-1</sup> (8,3-16,7 kg s<sup>-1</sup>),

8) masa powietrza podawana do układu w jednostce czasu  $h_p$  zmienna 0,3-0,75 kg s<sup>-1</sup>,

9) długość odcinka poziomego 1 zmienna w przedziale 0-500 m,

10) wysokcść odcinka pionowego h zmienna w przedziale 0-900 m.



Rys. 1. Zależność prędkości powietrza na początku poziomego odcinka układu pneumatycznego od ilości tłoczonego powietrza w jednostce czasu m i długości poziomego odcinka l, przy stałej ilości podawanej masy do transportu  $m_z = 11,1 \text{ kg/s}$ 

Fig. 1. Dependence of the velocity of air at the beginning of the horizontal section of a pneumatic system on the quantity of the air pumped in a unit of time  $m_{1}$  and the length of the horizontal section 1 with constant quantity of the mass to be transported  $m_{2} = 11,1$  kg/s

Rysunek 1 przedstawia zależność prędkości powietrza od masy wtłaczanego powietrza w różnych miejscach poziomej części układu (licząc od zakończenia rury) przy masie transportowanego pyłu  $m_e = 11,1$  kg s<sup>-1</sup>. Wzrost masy



du pneumatycznego od ilości podawanej masy pyłu w jednostce czasu m oraz długości odcinka poziomego l, przy stałej ilości tłoczonego powietrza  $m_p = 0,45 \text{ kg/s}$ 

Fig. 2. Dependence of the velocity of air at the beginning of the horizontal section of a pneumatic system on the quantity of the dust fed in a unit of time  $m_z$  and the length of the horizontal section 1 with constant quantity of the air pumped  $m_z = 0,45$  kg/s



Rys. 3. Prędkość powietrza na początku poziomego odcinka układu pneumatycznego w zależności od jego długości L i ilości masy pyłu podawanej do transportu w jednostce czasu m<sub>p</sub> przy stałej ilości tłoczonego powietrza m<sub>p</sub> = 0,45 kg/s

Fig. 3. Velocity of air at the beginning of the horizontal section of a pneumatic system depending on its length L and the quantity of the dust supplied for transport in a unit of time h with constant quantity of the air pumped m = 0,45 kg/s



Rys. 4. Prędkość powietrza na początku poziomego odcinka układu pneumatycz nego w zależności od jego długości L i ilości tłoczonego powietrza w jednostce czasu m<sub>p</sub> przy stałym wydatku pyłu m<sub>z</sub> = 11,1 kg/s

Fig. 4. Velocity of air at the beginning of the horizontal section of a pneumatic system depending on its length L and the quantity of the air pumped in a unit of time  $m_p$  with constant discharge of dust  $m_z = 11,2$  kg/s

wtłaczanego powietrza powoduje wzrost prędkości, przy czym prędkość ta zmniejsza się w miarę oddalania się od zakończenia układu.

Rysunek 2 przedstawia dla odcinka pozionego zależność prędkości powietrze V<sub>p</sub> od ilości transportowanego pyłu n<sub>z</sub>, przy ustalonej masie wtłaczanego powietrza m<sub>p</sub> = 0,45 kg s<sup>-1</sup>. Widać, że przy ustalonym m<sub>p</sub> prędkość powietrza zależy istotnie od m<sub>s</sub> i układ jest zdolny transportować określoną ilość podawanego pyłu. Nadmierne zwiększenie ilości podawanego pyłu spowoduje zablokowanie rurocięgu.

Rysunki 3 i 4 przedstawiają prędkość powietrza w zależności od długości poziomego odcinka przy różnych masach transportowanego pyłu (rys. 3) i różnych masach wtłaczanego powietrza (rys. 4).



Rys. 5. Zalečność ciśnienia na początku układu pneumatycznego (za sprężarkami) od długości odcinka pionowego h i poziomego L przy stałej ilości tłoczonego powietrza m = 0,45 kg/s i stałym wydatku transportowanego pyłu m<sub>z</sub> = 11,1 kg/s

Fig. 5. Dependence of the pressure at the beginning of the pneumatic system (behind compressors) on the length of the vertical section h and the horizontal one L with constant quantity of the air pumped  $m_p = 0.45$  kg/s and constant discharge of dust  $m_z = 11.1$  kg/s

Rysunek 5 przedstawia zależność ciśnienia statycznego od wysokości h układu pneumatycznego przy  $m_p = 0,45 \text{ kg s}^{-1}$  i  $m_z = 11,1 \text{ kg s}^{-1}$ . Warto zwrócić uwagę, że przy dostatecznie dużych wartościach h i określonych m\_ i m\_z ciśnienie wywołane pionowym słupem pyłu może równoważyć wszelkie opory przepływu odcinka poziomego.

Rysunek 6 przedstawia zależność prędkości powietrza na początku układu w zależności od długości odcinka pionowego h i poziomego 1.

Przeprowadzone obliczenia pozwalają stwierdzić, że układ pneumatyczny może być z powodzeniem wykorzystany do transportu pyłu dymnicowego na znaczne głębokości i odległości. Przy zastosowaniu dwóch typowych spręża-



Rys. 6. Zależność prędkości powietrza na początku układu pneumatycznego (za sprężarkami) od długości odcinka pionowego h i pozizmego L przy stałej ilości tłoczonego powietrza  $m_p = 0.45$  kg/s i stałym wydatku transportowanego pyłu  $m_z = 11.1$  kg/s

Fig. 6. Dependence of the velocity of air at the beginning of the pneumatic system (behind compressors) on the length of the vertical section h and the horizontal one L with constant quantity of the air pumped  $m_p =$ = 0,45 kg/s and constant discharge of the transported dust  $\dot{m}_g = 11,1$  kg/s

rek tłoczących po około 600 m<sup>3</sup> godz<sup>-1</sup> powietrza i średnicy rurociągu 0,15 m układ może mieć zdolność transportową 40-50 ton godz<sup>-1</sup>.

Najmniejsza prędkość powietrza, a więc i największe prawdopodobieństwo powstania zatorów w rurociągu, jest tuż za przejściem odcinka pionowego w poziomy.

Zdolność transportowa układu wzrasta w miarę zmniejszania się części poziomej układu.

Analiza była przeprowadzona dla przypadku, kiedy ziarna pyłu są niewielkie (średnica 0,01-0,1 mm). W przypadku większych ziaren pyłu obliczenie zdolności transportowych układu można przeprowadzić analogicznie, jednak należy w nich przyjąć odpowiednie stałe. Jak wynika z literatury [5], metoda ta może być stosowana do transportu elementów o wymiarach do kilku cm.

### LITERATURA

- [1] Bukewski J.: Mechanika płynów. PWN, Warszawa 1970.
- [2] Czetwertyński E., Utrysko B.: Hydraulika i hydromechanika. PWN, Warszawa 1969.
- [3] Dmowski A .: Transport pneumatyczny w młynarstwie. WPL, Warszawa 1967.
- [4] Zajączkowski J.: Odpylanie w przemyśle. Arkady, Warszawa 1971.
- [5] Onley J.K., Firstbrook J.: Pneumatic hoisting of minerals from deep shafts. Engineering 1978, nr 9 s. 865-868.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Jan Palarski

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1985 r.

### Spis oznaczeń

A-D	- wyrażenia pomocnicze zastosowane w zapisie wzorów (14) i (25)
a,b,c	- wyrażenia pomocnicze zastosowane w zapiste wzorów (19, 20-21)
d	- średnica rury układu pneumatycznego
g	- przyspieszenie ziemskie
h	- długość pionowej części układu pneumatycznego
ķ	- współczynnik oporu oporów lokalnych
1	- długość poziomej części układu pneumatycznego
۳p	- masa powietrza podawana do układu w jednostce czasu
œz	- masa pyłu podawana do układu w jednostce czasu
р	- ciśnienie powietrza
Re	- liczba Reynoldsa
S	- pole powierzchni przekroju rury
Sp	- pole powierzchni przekroju rury dostępne dla powietrza w czasie transportu pyłu
T	- temperatura powietrza
vp	- prędkość powietrza
Vz	- prędkość ziarna

### Transport pneumatyczny materiałów sypkich ...

η - lepkość powietrza

9 - gęstość powietrza

λ - współczynnik oporu

9. - gęstość pyłu

ПРЕВМОТРАНСПОРТ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛАВЛВЫХ ВЫРАБОТСК

#### Резюме

В работе дан анализ возможности использования пневмосистемы для транспорта сыпучих материалов в пахтах. Предполагается, что система будет состоять с вертикальной части, высотой в несколкосот метров и горизонтальной части с измеияющейся длинной.

В первой части работы дан анализ сопротивлений в трубопроводе, что позволило определить изменения давления в нем. Учитывая термодинамические перемены воздуха расчитаны скорость, плотность и давление воздуа в произвольной точке пневмосистемы. С этой целью использована следущая система уравнений:

$$P_2 = \frac{P_2 v_2^2}{2} = p1 + \frac{P_1 v_1^2}{2} + A(P_1^0, 75v_1^1, 75 + P_2^0, 75v_2^1, 75) + BP_1 v_1^2$$

 $P_{1 1} = P_2 V_2$ 

 $\frac{P_1}{P_1} = \frac{P_2}{P_2}$ 

где Р, р. V - соответственно плотность, давление и скорость воздуха в двух разных точках трубопровода.

Во второй части работы произведены расчёты параметров системы. Показано, что использование двух типовых компрессоров с производительностью ок. 600 м3/ /час, каждого, относительно простая система имеет транспортную производительность 40-50 тон/час дымовой пыли.

Метод этот может быть использован для транспорта сыпучих материалов для закладки выработанного пространства в шахтах.

PNEUMATIC CONVEYING OF LOOSE MATERIALS LONGWALL EXCAVATIONS

### Summary

A possibility of using pneumatic systems for the conveying of loose materials in collieries has been analyzed. It has been assumed that the system will comprise a vertical part a few hundred meters high, and a horizontal part of varied length.

In the first part of the paper the resistances in the pipeline have been analyzed which permitted the determination of pressure variations in the pipeline. Taking into account the thermodynamic processes of the air, the velocity, density and pressure of air at any point the pneumatic system have been calculated.

The following system of equations has been used for this purpose:

$$P_{2} = \frac{9_{2}v_{z}^{2}}{2} = p_{1} + \frac{9_{1}v_{1}^{2}}{2} + A(9_{1}^{0}, 75v_{1}^{1}, 75 + 9_{2}^{0}, 75v_{2}^{1}, 75) + Bg_{1}v_{1}^{2}$$

$$9_{1}v_{1} = 9_{2}v_{2}$$

$$\frac{9_{1}}{p_{1}} = \frac{9_{2}v_{2}}{p_{z}}$$

where q, p, v - respectively - density, pressure and velocity of air at two different points of the pipeline.

In the second part of the paper calculations of the system parameters have been made. It has been found that when using two typical compressors pumping about 600  $m^3/h$  of air, a relatively simple system can carry 40-50 t/h of dust.

The method may be used for conveying loose materials in colliery excavations.