

Zbigniew PIATKIEWICZ, Henryk SZLUMCZYK,  
Damian HOMA, Eugeniusz KOWALSKI  
Politechnika Śląska, Instytut Odlewnictwa

#### UKŁAD CIĄGŁEGO TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO

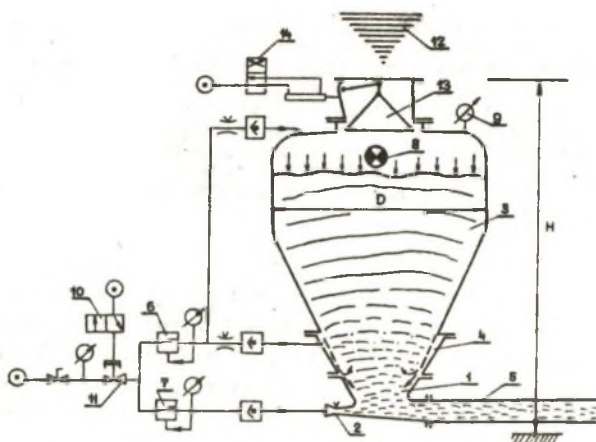
**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego pyłów dymnicowych z zastosowaniem podajników komorowych o pracy cyklicznej i ciągłej. Uzyskane wyniki pomiarów i obliczeń stanowiły podstawę do oceny wpływu cech konstrukcyjnych i funkcjonalnych na wydajność i ekonomikę pracy instalacji transportu pneumatycznego. Otrzymane zależności zmian wydajności, zużycia powietrza i energii w funkcji objętości użytecznej badanych podajników komorowych podano w formie wykresu. Zasadę działania i sterowania urządzeń nadawczych transportu pneumatycznego wyjaśniają podane schematy.

#### 1. Wprowadzenie

Przenośniki pneumatyczne są stosowane w coraz szerszym zakresie do transportu różnorodnych materiałów sypkich. Wybór rodzaju transportu pneumatycznego zależy przede wszystkim od własności fizyko - chemicznych materiałów i ich stabilności w procesie pneumatycznego przemieszczania, jak również od niezawodności i ekonomiczności pracy. Stąd w warunkach przemysłowej eksploatacji najszersze zastosowanie mają przenośniki wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego pracujące przy wysokich stężeniach mieszaniny oraz zasilane powietrzem o sprężu od 0,4 do 0,6 MPa. Urządzeniem zasilającym są podajniki komorowe, spełniające funkcje wprowadzania materiału i gazu do rurociągu transportowego, a tym samym zapoczątkowują przebieg określonego rodzaju przemieszczania mieszaniny dwufazowej /ciała stałego i gazu/. Celem prowadzonych badań jest określenie wpływu cech konstrukcyjnych i funkcjonalnych podajników komorowych o pracy cyklicznej i ciągłej, na ekonomikę pracy instalacji wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego.

#### 2. Charakterystyka instalacji doświadczalnej

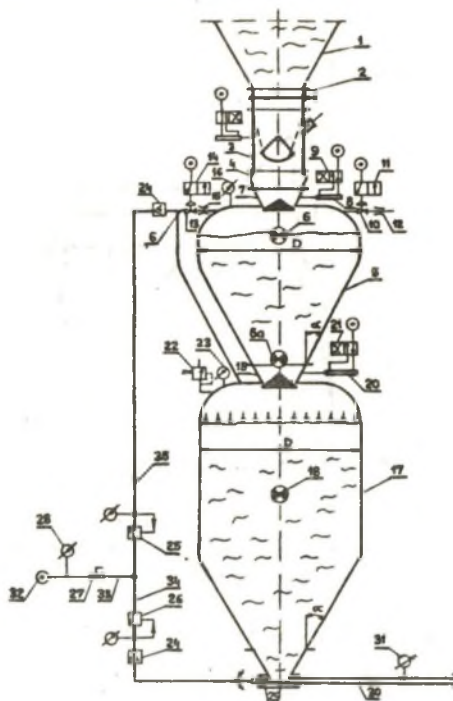
Badania podajników komorowych przeprowadzono na zbudowanej w skali technicznej instalacji badawczo - pomiarowej o zastępczej długości transportowej  $l=190m$ , średnicy wewnętrznej rurociągu transportowego  $d=100mm$ . Zastosowane urządzenie odbiorcze instalacji składa się z cyklonu rozładowniczego, cyklonu wysokosprawnego oraz filtra tkaninowego. Badania parametrów charakteryzujących pracę transportu pneumatycznego dokonano przy zastosowaniu podajników komorowych /rys.1/ o pracy cyklicznej i typoszeregu objętości objętości użytecznej: 0,4; 0,6; 1,0; 2,5 m<sup>3</sup> oraz podajnika dwukomorowego o pracy ciągłej /rys.2/.



Rys.1 Podajnik komorowy systemu POLKO wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego

W cyklu pracy podajnika komorowego /rys.1/ występują w kolejności operacje napełnianie materiałem zbiornika 3 do wysokości wskaźnika poziomu 8 przy pomocy urządzenia załadunkowego 12 oraz po zamknięciu zasypu 13 uruchomienie transportu pneumatycznego przez otwarcie zaworu 11, tj: doprowadzenie sprężonego powietrza poprzez reduktor 6 do górnej części zbiornika 3 i elastycznej przepony 4 oraz poprzez reduktor 7 do dyszy 2 i komory mieszania 1. W ten sposób wytworzona mieszanina materiałowo - powietrzna jest wprowadzana podciśnieniem do przewodu transportowego 5. Podstawowymi elementami układu sterowania są: elektrozawory 10, 14 i izotopowy wskaźnik poziomu 9 oraz manometr kontaktowy 9.

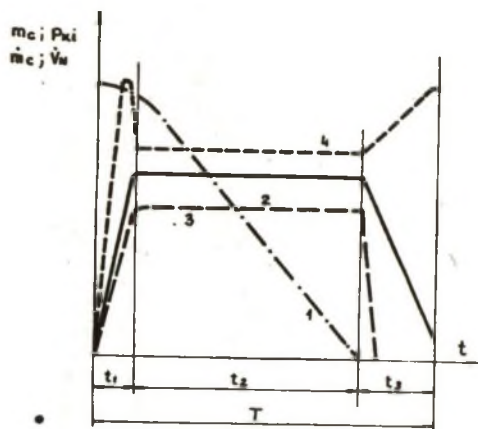
Charakter zmian parametrów cyklicznej pracy podajnika komorowego w funkcji czasu podano na rys.3, w którym wprowadzono następujące oznaczenia: 1 - masa  $m_c$  materiału w podajniku, 2 - ciśnienie  $p_k$  w komorze podajnika, 3 - wydajność  $\dot{m}_c$  podajnika, 4 - objętościowe natężenie powietrza  $\dot{V}_N$  wprowadzanego do podajnika,  $T = t_1 + t_2 + t_3$  - czas trwania cyklu pracy



Rys.2 Podajnik dwukomorowy systemu POLKO wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego

podajnika, który jest sumą czasu:  $t_1$  - rozruchu,  $t_2$  - stabilnej pracy,  $t_3$  - przedmuchiwania instalacji. Całkowity czas  $t_c$  niezbędny dla przetransportowania porcji  $m_c$  materiału z podajnika komorowego jest sumą czasu załadunku  $t_z$  i cyklu pracy  $T$  podajnika komorowego:  $t_c = t_z + T$ . Obniżenie zużycia energii na jednostkę masy przetransportowanego materiału oraz wzrost wydajności linii transportu pneumatycznego uzyskuje się przez skrócenie czasu rozruchu  $t_1$ , przedmuchiwania instalacji  $t_3$  i załadunku  $t_z$  oraz wydłużenie czasu  $t_2$  stabilnej pracy podajnika. Zwiększenie czasu stabilnej pracy podajnika komorowego uzyskuje się w miarę wzrostu jego użytecznej objętości lub przez zastosowanie podajników dwukomorowych. W badanym rozwiązaniu podajnika dwukomorowego /rys.2/ ciągłość transportu uzyskuje się przez współdziałanie ze sobą dwóch komór ciśnieniowych: dolnej 17 o pojemności użytecznej  $1,0 \text{ m}^3$  stanowiącej podajnik komorowy zasilający rurociąg transportowy 30 ciągłą strugą materiału, górnej 5 o pojemności użytecznej  $0,4 \text{ m}^3$ , która spełnia funkcję słuzy, tj; cyklicznego wprowadzania materiału do podajnika zasilającego 17.

Zgodnie z cyklogramem sterowania kolejność pracy urządzeń automatyki /rys.2/ jest następująca: sygnał wskaźnika poziomu 18 wywołany obniżeniem



Rys.3 Charakter zmian parametrów cyklicznej pracy podajników komorowych w funkcji czasu.

się poziomu materiału wraz z sygnałami manometrów kontaktowych 16, 23 potwierdzających wyrównanie ciśnień w komorach 5 i 17 powoduje otwarcie dolnego zasypu dzwonowego 19 i grawitacyjne przesypywanie materiału z komory 5 do 17. Całkowite opróżnienie komory 5 /śluzy/ potwierdzone sygnałem wskaźnika poziomu 6a zapoczątkowuje operacje dekompresji śluzy 5 przez zamknięcie zasypu 19, zaworu 13 i otwarcie zaworu 10. Sygnał manometru kontaktowego 16 wywołany dekompresją śluzy 5 do ciśnienia atmosferycznego w kolejności powoduje: otwarcie zasypu 7, zasypu obrotowej 3 i napełnianie materiałem śluzy 5 do wysokości wskaźnika poziomu 6. Wówczas następuje: zamknięcie zasypu obrotowej 3, zasypu 7 i zaworu dekompresyjnego 10. Po otwarciu zaworu 13 następuje wyrównanie ciśnień w komorach 5 i 17, co stanowi sygnał zezwalający na otwarcie zasypu dzwonowego 19. Stabilność stężenia przepływającej mieszaniny transportowanego materiału uzyskuje się przy stałym ciśnieniu powietrza w dyszy zaworu obrotowego 29 oraz w komorze 17, które są utrzymywane zaworami redukcyjnymi 25, 26. W przedstawionym schemacie sterowania /rys.2/ wprowadzono następujące oznaczenia: 1 - zbiornik magazynowy materiału transportowanego, 2 - zasuwą ręczną, 3 - dozownik obrotowy, 4 - przepona elastyczna, 5 - śluza, 6, 6a, 18 - izotopowe wskaźniki poziomu, 7, 19 - zasypy dzwonowe, 8, 20 - siłowniki pneumatyczne, 9, 11, 14, 21 - elektrozawory, 10 - zawór dekompresyjny, 12, 15 - dysze z bryzą dźwięczą przepływ powietrza, 13 - zawór odcinający zdalnie sterowany, 16, 23, 28, 31 - manometry kontaktowe, 22 - zawór bezpieczeństwa, 24 - zawory zwrotne, 25, 26 - zawory redukcyjne, 27 - zawór odcinający uruchamiany

ręcznie, 29 - zawór obrotowy, 32-35 - źródło i przewody zasilające sprężone powietrze.

### 3. Sposób opracowania wyników pomiarów.

Pomiary parametrów doświadczalnych niezbędnych dla określenia wskaźników techniczno-eksploatacyjnych dokonano na instalacji badawczej z zastosowaniem podajników komorowych o cyklicznej i ciągłej pracy. Materiał transportowany: pył dymnicowy o frakcji do 2 mm oraz gęstości właściwej  $\rho_c = 1100 \text{ kg/m}^3$  i objętościowej  $\rho_o = 855 \text{ kg/m}^3$ . Doświadczalne wskaźniki charakteryzujące badany transport pneumatyczny są określone następującymi zależnościami.

Masowe i objętościowe natężenie powietrza:

$$\dot{m} = 1,1107 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot \varepsilon \cdot d_t^2 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \rho}$$

$$\dot{V}_N = \dot{m} / \rho_N$$

gdzie:  $\alpha$  - liczba przepływu,  $\varepsilon$  - liczba ekspansji,  $d_t$  - średnica otworu zwężki w temperaturze panującej w rurociągu,  $\Delta p$  - mierniczy spadek ciśnienia na zwężce,  $\rho$  - gęstość powietrza przed zwężką,  $\rho_N = 1,293 \text{ kg/m}^3$  - gęstość powietrza w warunkach normalnych;  $p_N = 0,101325 \text{ MPa}$ ,  $T = 273,16 \text{ K}$ .

Uśrednione objętościowe natężenie powietrza zasilającego badany układ transportu pneumatycznego wynosiło: w czasie rozruchu  $\dot{V}_{N1} = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ , przy stabilnej pracy  $\dot{V}_{N2} = 0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  oraz podczas przedmuchiwania instalacji  $\dot{V}_{N3} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ciśnienie powietrza zasilającego układ transportu pneumatycznego  $p_z = 0,53 \text{ MPa}$ .

Czas cyklu pracy podajnika komorowego:  $T = t_1 + t_2 + t_3$  określony dla badanych pojemności użytecznych  $V_u = 0,4$ ;  $0,6$ ;  $1,0$ ;  $2,5 \text{ m}^3$  wynosi  $T_{0,4} = 45 \text{ s}$ ,  $T_{0,6} = 59,6 \text{ s}$ ,  $T_{1,0} = 89 \text{ s}$ ,  $T_{2,5} = 198 \text{ s}$  przy uśrednionym czasie rozruchu  $t_1 = 4 \text{ s}$  i przedmuchiwanii instalacji  $t_3 = 12 \text{ s}$ .

Wydażność transportu pneumatycznego:

- bez uwzględnienia czasu załadunku materiału  $t_2$  oraz rozruchu  $t_1$  i przedmuchiwania  $t_3$  instalacji,

$$\dot{m}_c = V_u \cdot \rho_o / t_2 = 11,76 \text{ kg/s}$$

- z uwzględnieniem czasu rozruchu i przedmuchiwania instalacji,

$$\dot{m}_{c(T)} = V_u \cdot \rho_o / T$$

dla badanych pojemności podajników komorowych wynosi:

$$\dot{m}_c(0,4) = 7,6 \text{ kg/s} \quad \dot{m}_c(0,6) = 8,6 \text{ kg/s} \quad \dot{m}_c(1,0) = 8,72 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_c(2,5) = 10,8 \text{ kg/s}$$

- eksploatacyjna:

$$\dot{m}_c(t_c) = V_u \cdot \rho_0 / t_c$$

gdzie:  $t_c = T + t_z$  - całkowity czas niezbędny do przetransportowania porcji materiału,

$$t_z = V_u \cdot \rho_0 / \dot{m}_c(z) - \text{czas załadunku porcji materiału.}$$

Przy wydajności urządzenia załadowniczego  $\dot{m}_c(z) = 15 \text{ kg/s}$ , wydajność eksploatacyjna dla badanych podajników komorowych wynosi:

$$\dot{m}_c(0,4) = 5,03 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_c(0,6) = 5,47 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_c(1,0) = 5,86 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_c(2,5) = 6,27 \text{ kg/s}$$

Z użycie powietrza podczas cyklu pracy podajników komorowych

$$V_{N(\text{cykl})} = \dot{V}_{N1} \cdot t_1 + \dot{V}_{N2} \cdot t_2 + \dot{V}_{N3} \cdot t_3$$

które dla badanych pojemności podajników komorowych wynosi:

$$V_N(0,4) = 19,2 \text{ m}^3/\text{cykl}$$

$$V_N(0,6) = 24,6 \text{ m}^3/\text{cykl}$$

$$V_N(1,0) = 35,5 \text{ m}^3/\text{cykl}$$

$$V_N(2,5) = 81,7 \text{ m}^3/\text{cykl}$$

Objętość powietrza zużytego na przetransportowanie jednostki materiału, przy pracy cyklicznej

$$V_{N(Mg)} = V_N / \dot{m}_c$$

dla badanych pojemności podajników komorowych wynosi:

$$V_N(0,4) = 56,1 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

$$V_N(0,6) = 47,9 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

$$V_N(1,0) = 41,5 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

$$V_N(2,5) = 38,2 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

natomiast przy pracy ciągłej

$$V_{N(Mg)} = \dot{V}_N / \dot{m}_c = 31,5 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

Jednostkowe zużycie energii przy pracy cyklicznej

$$N_{(\text{cykl})} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_N \cdot V_N}{\dot{m}_c} \left[ \left( \frac{p_{az}}{p_N} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

i badanych pojemnościach podajników komorowych wynosi:

$$N(0,4) = 13,78 \text{ MJ/Mg}$$

$$N(0,6) = 11,67 \text{ MJ/Mg}$$

$$N(1,0) = 10,11 \text{ MJ/Mg}$$

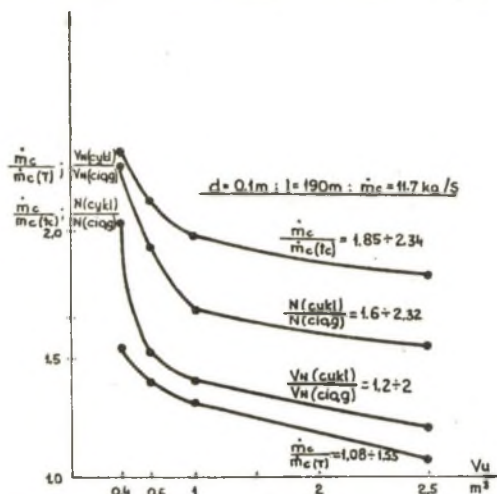
$$N(2,5) = 9,31 \text{ MJ/Mg}$$

jednostkowe zużycie energii przy pracy ciągłej wynosi:

$$N_{(\text{ciąg})} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_N \cdot \dot{V}_N}{\dot{m}_c} \left[ \left( \frac{p_{az}}{p_N} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 5,93 \text{ MJ/Mg}$$

#### 4. Analiza porównawcza

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń sporządzono wykres/rys.4/zmian wydajności zużycia powietrza i energii w funkcji użytecznej objętości badanych podajników komorowych wysokociśnieniowych transportu pneumatycznego.



Rys.4 Zmiany stosunków wydajności, zużycia powietrza i energii w funkcji użytecznej objętości podajników komorowych wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego

Z przebiegu zmian krzywej stosunku wydajności  $\dot{m}_c / \dot{m}_c(t)$  wynika, że przy malejącej użytecznej objętości podajników od 2,5 do 0,4 m<sup>3</sup> wydajność instalacji  $\dot{m}_c$  przy ciągłej pracy jest od 1,08 do 1,55 razy większa od wydajności  $\dot{m}_c(t)$  uzyskiwanej przy cyklicznej pracy podajników komorowych bez uwzględnienia czasu ich załadunku materiałem. Natomiast z przebiegu zmian krzywej stosunku wydajności  $\dot{m}_c / \dot{m}_c(tc)$  wynika, że przy malejącej użytecznej objętości podajników od 2,5 do 0,4 m<sup>3</sup> wydajność instalacji  $\dot{m}_c$  przy ciągłej pracy jest od 1,85 do 2,34 razy większa od wydajności  $\dot{m}_c(tc)$  uzyskiwanej przy cyklicznej pracy podajników komorowych z uwzględnieniem czasu ich załadunku materiałem.

Z przedstawionej na rys.4 krzywej charakteryzującej zmiany stosunku  $V_N(\text{cykl}) / V_N(\text{ciąg})$  wynika, że przy malejącej użytecznej objętości podajników od 2,5 do 0,4 m<sup>3</sup> jednostkowe zużycie powietrza  $V_N(\text{cykl})$  przy cyklicznej pracy jest od 1,2 do 2 razy większe od jednostkowego zużycia powietrza  $V_N(\text{ciąg})$  przy ciągłej pracy. Natomiast ze zmian krzywej stosunku jednostkowych zużyć energii  $N(\text{cykl}) / N(\text{ciąg})$  wynika, że przy malejącej użytecznej objętości podajnika od 2,5 do 0,4 m<sup>3</sup> jednostkowe zużycie energii  $N(\text{cykl})$  przy cyklicznej pracy jest od 1,6 do 2,32 razy większe od jednostkowego zużycia energii  $N(\text{ciąg})$  przy ciągłej pracy.

Literatura

1. Sakwa W., Jura S., Piątkiewicz Z.: Analiza pracy i wyników badań wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego. Materiały Międzynarodowej Konferencji, Transport pneumatyczny, Sofia 1977r
2. Piątkiewicz z.: Transport pneumatyczny. Poradnik inżyniera "Odlewnictwo", Tom II, rozdz. XX. WNT, W-wa 1986r

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Ludwik PASTUCHA

Wpłynęło do Redakcji 1987.03.28

## СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

## Р е з ю м е

Представленно результаты испытания высокого давления пневматического транспорта дымной пыли с применением камерного подавателя о цикличной и непрерывной работе. Полученные результаты измерения и расчётов станоят основание к оценке влияния свойств конструктивных и функциональных на продуктивность и экономику работы установка пневматического транспорта.

Полученные зависимости перемен продуктивности расхода воздуха, и энергии в функции объёма полезности испытания камерных подаватели, подано в форме диаграмма.

Принцип действия и управления отправительных устройств пневматического транспорта экспликация поданных диаграмм.

## PNEUMATIC CONTINUOUS TRANSPORT SYSTEM

## S u m m a r y

The are given here results of feeds of high pressure pneumatic transport of smoke dusts with application of chamber feeder of cyclic and continuous operation. The obtained results of research, measuring and calculation provided ground for evaluation of influence of constructional and functional features upon efficiency and economy of operation of the pneumatic transport installation.

The obtained interdependences of yields changes to air and energy consumption, in fuction of useful volume of examined chamber feeders, are given in form of diagram. The principle of operation and control of feeding devices of pneumatic transport is explained by way of schemes.