ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: MECHANIKA z. 66 Nr kol. 570

Jan BANDROWSKI, Jerzy RACZEK
Instytut Inżynierii i Budowy Aparatury Chemicznej
Politechnika Śląska

BADANIE ZJAWISKA "ZAWAŁU" W PIONOWYM TRANSPORCIE PNEUMATYCZNYM MATERIAŁÓW SYPKICH

Streszczenie. Dla opisu zjawisk w pionowym transporcie pneumatycznym zaproponowano zastępczy model instalacji, składający się z zastępczego wentylatora oraz przewodu transportowego i wykazano przydatność modelu do opisu zjawiska zawału. Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły wysuniętą hipotezę, że zawał transportu następuje przy prędkości gazu, która odpowiada punktowi styczności efektywnej charakterystyki wentylatora z charakterystyką transportu pneumatycznego.

W porównaniu z rozwojem technologicznych zastosowań transportu pneumatycznego postęp w zakresie badań podstawowych jest znikomy. Zasadniczym problemem w projektowaniu instalacji transportu pneumatycznego jest prawidłowy dobór prędkości gazu, średnicy przewodu oraz dmuchawy dla określonej wydajności transportu. Dobór prędkości gazu ma szczególne znaczenie. Zbyt wysoka prędkość gazu to niepotrzebna strata energii i wzrost erozji instalacji, natomiast zbyt niska prędkość to niebezpieczeństwo zatrzymania transportu i zasypania przewodów /tzw. zawał transportu pneumatycznego/.

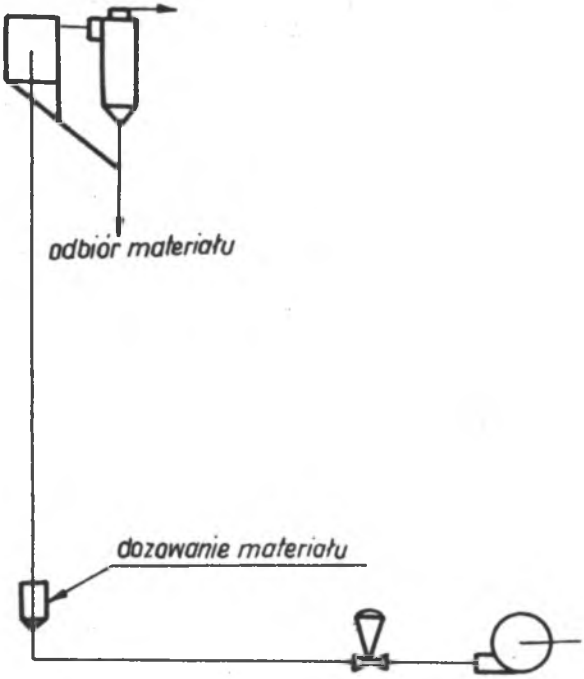
Dla usunięcia takiej awarii często niezbędne jest zatrzymanie innych współpracujących z transportem urządzeń, a niejednokrotnie konieczny jest demontaż aparatury, co ma swój wydźwięk ekonomiczny. Celem pracy było znalezienie ścisłej /mającej charakter ogólny/ metody określania prędkości gazu, przy której obserwowane jest zjawisko zawału i wiążącej parametry aerodynamiczne transportu pneumatycznego sieci przewodów z armaturą i dmuchawą.

Wspomniane już zjawisko "zawału" tłumaczy się zmniejszeniem odległości między cząstkami przy wzroście stężenia fazy stałej. W wyniku tego cząstki trafiają w obszar śladu aerodynamicznego cząstek poruszających się przed nimi, zmniejsza się opór czołowy, wzrasta prędkość zawisania i cząstki wypadają ze strumienia.

Analizując dotychczasową literaturę na temat zjawiska zawału można stwierdzić, że cytowane korelacje na prędkość zawału są bardzo nieścisłe i rozbieżności - w stosunku do danych doświadczalnych - dochodzą do 100 %. Wzory, o których mowa, nie posiadają znamion ogólności, będąc słusznymi tylko dla danej instalacji i badanego materiału. Z tego względu, jako prędkość roboczą przyjmuje się prędkość większą o 100 % od prędkości zawisania. Stwierdzenie, że przy projektowaniu należy stosować taką właśnie prędkość fazy gazowej jest nieprecyzyjne; dobór jej powinien być związany z optymalizacją, w której funkcją celu jest minimum kosztów transportu.

W skład typowego układu pionowego transportu pneumatycznego wchodzą: maszyna przetłaczająca, rurociąg z armaturą, dozownik materiału sypkiego, rura transportu pneumatycznego i urządzenia odpylające. Przykładową instalację przedstawia rys. 1.

Poszczególne elementy instalacji można opisać charakterystykami spadku ciśnienia w funkcji prędkości gazu. Sumując charakterystyki rurociągu z dozownikiem oraz urządzeń odpylających otrzymuje się wypadkową, zastępczą charakterystykę rurociągu. Odejmując z kolei tę zastępczą charakterystykę rurociągu od charakterystyki np. wentylatora, uzyskamy skorygowaną efektywną charakterystykę maszyny przetłaczającej, w tym przypadku - wentylatora. Maszynę taką w dalszych rozważaniach nazwano wentylatorem zastępczym, a jej charakterystykę - efektywną charakterystyką wentylatora. Postępowanie takie jest równoznaczne z przypisaniem instalacji z rys. 1 schematu zastępczego przedstawionego na rys. 2.

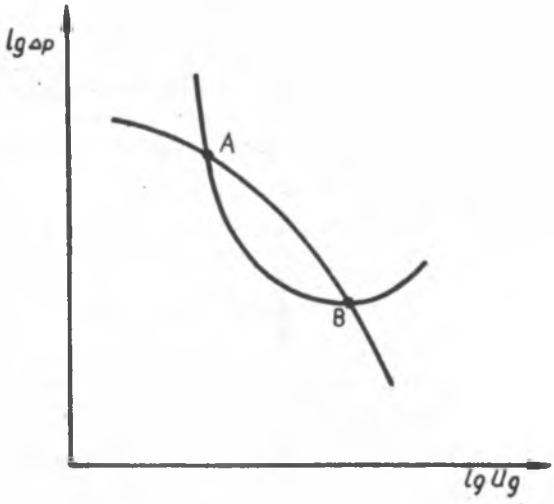


Rys.1. Schemat "teoretycznej" instalacji transportu pneumatycznego

Rys.2. Schemat zastępczej instalacji transportu pneumatycznego

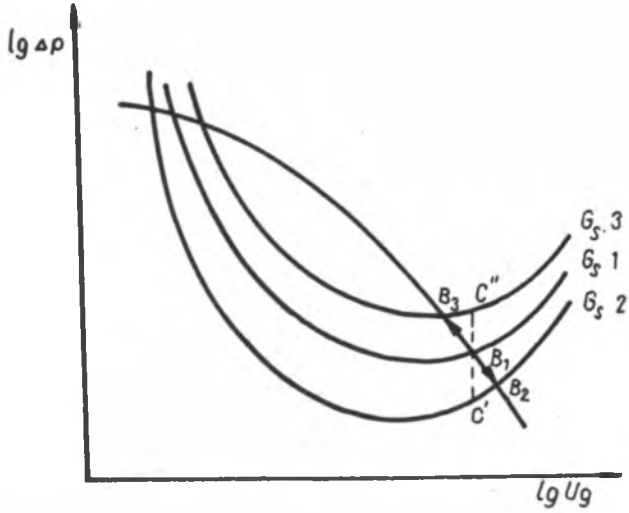
Układ taki znacznie upraszcza analizę zjawiska, nie zmieniając jego istoty. Należy jednak pamiętać, że efektywna charakterystyka wentylatora w odróżnieniu od charakterystyki wentylatora rzeczywistego dla danej instalacji nie jest stała.
Wynika to z faktu, że w skład rurociągu wchodzą zawory, których charakterystyka spadku ciśnienia w funkcji prędkości gazu zmienia się wraz ze zmianą stopnia otwarcia zaworu.

Rozpatrzmy zastępczy układ instalacji przedstawiony na rys. 2. Dla układu tego możemy przedstawić dwie charakterystyki: efektywną wentylatora oraz charakterystykę transportu pneumatycznego, jak to przedstawia rys.3.



Rys.3. Efektywna charakterystyka wentylatora i charakterystyka transportu pneumatycznego

Z rysunku tego wynika, że mamy do czynienia z dwoma punktami przecięcia. Z hydrauliki wiadomo, że punkt pracy ustala się w miejscu przecięcia się charakterystyki maszyny przetłaczającej z charakterystyką rurociągu. Rozważmy zatem, który z punktów jest stabilnym punktem pracy.

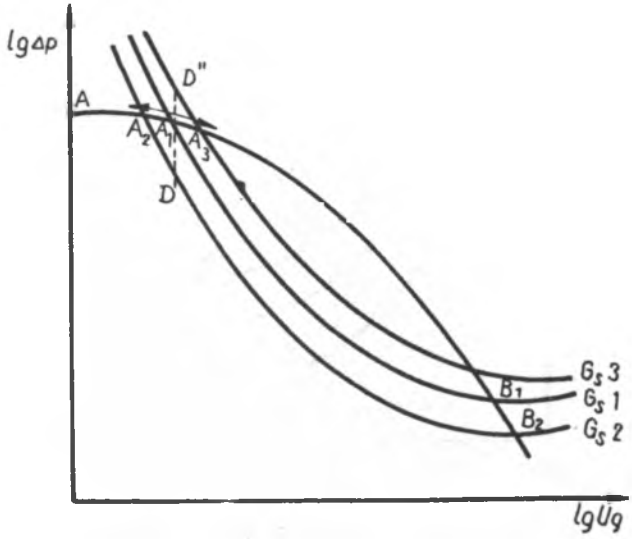


Rys.4. Analiza punktów pracy instalacji

Załóżmy, że znajdujemy się w punkcie pracy B1 na charakterystyce transportu G_{S1}. Jeżeli z jakichkolwiek powodów spadnie wydajność transportu do G_{S2}, wówczas przy niezmienionej prędkości gazu transportu G_{S2} odpowiadałoby ciśnienie w przewodzie transportowym oznaczono punktem C. Ponieważ jednak nie zmienia się efektywna charakterystyka wentylatora /gdyż nie zmieniamy stopnia otwarcia zaworu ani żadnych elementów armatury/, na zmniejszony o wartość B1 - C′ gradient ciśnienia w transporcie układ zareaguje wzrostem prędkości gazu, aż do ustalenia się nowego punktu pracy B2, po krzywej B1-B2. Załóżmy z kolei, że wydajność transportu wzrasta z G_{S1} do G_{S3}. Wówczas, przy niezmienionej prędkości gazu, transportowi G_{S3} odpowiadałoby ciśnienie w przewodzie transportowym oznaczone punktem C′′. Na zwiększony o wartość B1 - C′′ gradient ciśnienia w transporcie układ zareaguje spadkiem prędkości gazu, aż do ustalenia się nowego punktu pracy B3, po krzywej B1 - B3. W obu przy-

padkach, przy powtórnej zmianie wydajności z G_{S3} na G_{S1} lub G_{S2} na G_{S1}, układ powraca do pierwotnego punktu pracy B1. Zatem punkt B jest stabilnym punktem pracy.

Rozpatrzmy z kolei punkt A.



Rys.5. Analiza punktów pracy instalacji

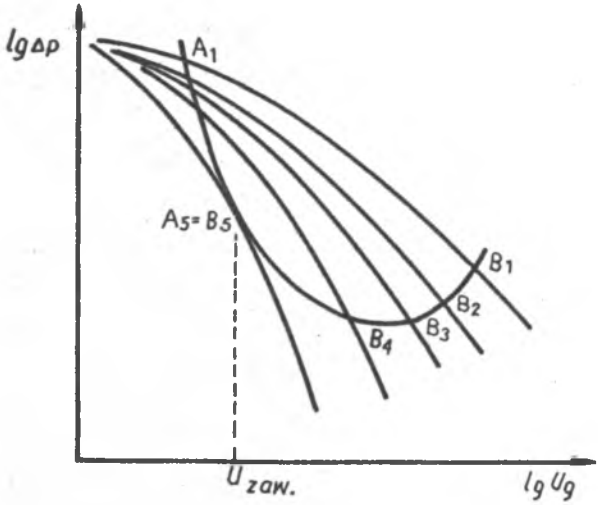
Załóżmy, że znajdujemy się w punkcie A1 na charakterystyce transportu G_{S1}. Jeżeli teraz wydajność transportu spadnie na G_{S2}, wówczas przy niezmienionej prędkości gazu transportowi G_{S2} odpowiadałoby ciśnienie w przewodzie transportowym oznaczone punktem D'.

Na zmniejszony o wartość A1 - D' gradient ciśnienia w transporcie układ zareaguje wzrostem prędkości gazu, aż do ustalenia się punktu pracy B2, po krzywej A1- B2.

Załóżmy z kolei, że wydajność transportu wzrasta z G_{S1} do G_{S3}. Wówczas, przy niezmienionej prędkości gazu, transportowi G_{S3} odpowiadałoby ciśnienie w przewodzie transportowym oznaczone punktem D''. Na zwiększony o wartość A1 - D'' gradient ciśnienia w transporcie układ zareaguje spadkiem prędkości gazu po krzywej A1 - A. Ponieważ nie istnieje punkt przecięcia się charakterystyki transportu G_{S3} z efektywną charakterystyką wentylatora powyżej punktu D'', zatem prędkość gazu

w układzie będzie nieodwracalnie spadać.

Z rozważań powyższych wynika, że punkt A nie jest stabilnym punktem pracy. Rozpatrzmy z kolei, co będzie się działo w układzie: wentylator zastępczy - rura transportowa, jeżeli dla ustalonej wydajności transportu będziemy zmniejszać prędkość gazu. Zmiana prędkości gazu realizowana jest poprzez zmianę stopnia otwarcia zaworu, przy czym zmienia się także efektywna charakterystyka wentylatora. Każdej efektywnej charakterystyce wentylatora odpowiada nowy punkt pracy.

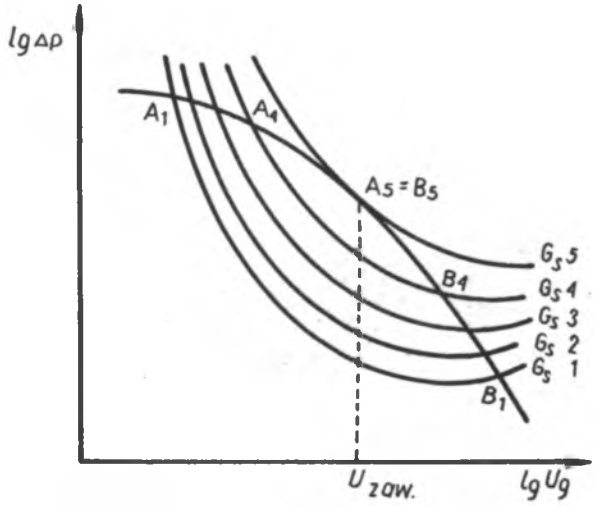


Rys.6. Analiza punktów pracy dla różnych efektywnych charakterystyk wentylatora

Wraz ze wzrostem prędkości w układzie, punkty pracy B /stabilny/ oraz A/niestabilny/ zbliżają się do siebie. W granicznym przypadku punkt A pokrywa się z punktem B, tworząc jeden punkt styczności charakterystyki transportu z efektywną charakterystyką wentylatora. Z przeprowadzonych rozważań wynikałoby, że prędkość odpowiadająca temu punktowi jest prędkością krytyczną transportu dla danej instalacji.

Analogiczne rozważania można przeprowadzić dla układu:

wentylator zastępczy - rura transportowa, w którym dla ustalonej efektywnej charakterystyki wentylatora zmieniać będziemy wydajność transportu.



Rys.7. Analiza punktów pracy instalacji dla różnych obciążeń transportem

Również i w tym przypadku dla krytycznej wydajności punkt B pokryje się z punktem A, tworząc jeden punkt styczności obu charakterystyk, a odpowiadająca mu prędkość jest również prędkością krytyczną.

Tak wyznaczoną prędkość krytyczną uznano za prędkość przy której nastąpi zjawisko "zawału", gdyż niemożliwe jest utrzymanie stabilnej pracy układu. Równocześnie wysunięto hipotezę, że w obu tych przypadkach "zawał" nastąpi w punkcie styczności charakterystyk: efektywnej wentylatora i transportu pneumatycznego. Przeprowadzony w tym celu eksperyment w pełni wykazał słuszność wysuniętej hipotezy.

ИСПЫТАНИЕ ЯВЛЕНИЯ "ЗАВАЛА" В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Р е з ю м е

Для описания явлений происходящих во время вертикального пневматического транспортирования материалов предложено заменяющую модель установки, состоящую из заменяющего вентилятора и транспортного трубопровода, а также показано пригодность модели для описания явления "завала". Проведённые эксперименты подтвердили принятую гипотезу, что "завал" ранспорта имеет место при скорости, которая отвечает пункту соприказания эффективной характеристики вентилятора и характеристики пневматического транспорта.

EXAMINATION OF THE "BREAKING-DOWN" PHENOMENON IN VERTICAL PNEUMATIC TRANSPORT "OF LOOSE MATERIALS"

S u m m a r y

The equivalent model of the installation, consisting of equivalent fan and transport line, had been designed for examination of the phenomena which take place in the pneumatic vertical transport. The model prowed to be suitable for description of the "breaking down" phenomenon.

The carried out experiments have confirmed the hypothesis according to which the "breaking-down" of the vertical transport occurs at the gas velocity that corresponds to the point of osculation between the effective characteristic of the fan and that of the pneumatic transport.