

Ewa SKOTNICKA, Stanisław WITCZAK

e-mail: s.witczak@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Struktury przepływu gaz-ciało stałe w dyszach ssących dla podciśnieniowego transportu pneumatycznego

Wstęp

Podciśnieniowy transport pneumatyczny z wykorzystaniem dysz ssących stosowany jest w wielu gałęziach gospodarki m.in. w przemyśle materiałów sypkich oraz energetyce. Ze względu na swoje liczne zalety takie jak: hermetyczność transportu, możliwość prowadzenia rurowciągów w pionie i w poziomie oraz małe gabaryty, wykorzystywany jest do dozowania materiałów sypkich, transporcie surowca na krótkich odcinkach, w rozładunku zbiorników i beczek oraz do pobierania materiału z otwartych pryzm i ładowni statków.

Typowa instalacja podciśnieniowego transportu pneumatycznego składa się z dyszy ssącej, rurowciągu transportującego materiał, urządzenia odbiorczego pełniącego również rolę separatora ciała stałego od gazu oraz urządzenia wytwarzającego podciśnienie w rurowciągu. Dysze ssące, jako pierwszy element takiej instalacji, mają niewątpliwie bezpośredni wpływ na warunki transportu pneumatycznego a w szczególności na jego stabilność oraz energochłonność procesu [Piątkiewicz 1999; Mills, 2004; Skotnicka, 2015].

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących aerodynamiki przepływu dwufazowego gaz - ciało stałe wewnątrz dyszy o przekroju prostokątnym wraz z opisem tworzących się struktur przepływu dwufazowego oraz wskazaniem zakresów ich występowania na odpowiedniej mapie przepływu.

Badania doświadczalne

Charakterystyka dysz ssących

Do przeprowadzenia badań wykonano pięć dysz ssących bezobslugowych o kształcie ostrosłupa ściętego i przekroju prostokątnym przedstawionym na rys. 1. Inspiracją do wykonania i przebadania dysz o takim kształcie i geometrii była nowo opracowana przez autorkę dysza ssąca o przekroju sześcioramiennej gwiazdy, która uzyskała ochronę patentową [Jósko i Warowny, 2014].

α	A [mm]	B [mm]	H_A [mm]	h [mm]	V [dm ³]
25°	220	42	639	383	1,18
40°	219	42	490	234	0,72
60°	217	42	403	147	0,45
90°	214	42	345	85	0,26
120°	210	42	309	49	0,15

Rys. 1. Budowa i wymiary dysz ssących bezobslugowych o kształcie ostrosłupa ściętego i przekroju prostokątnym

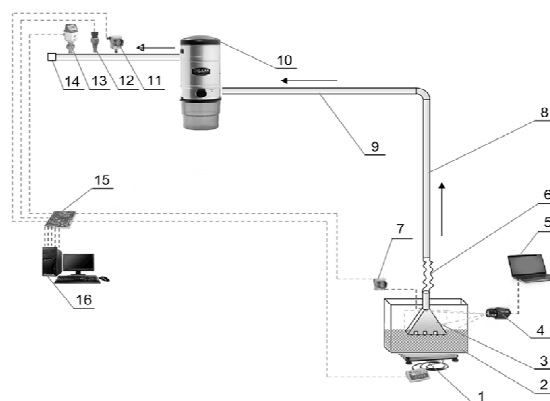
Zaprojektowane dysze różniły się między sobą kątem rozwarcia stożka α , co równocześnie powodowało zmianę wysokości pomiędzy wlotem do dyszy, a wlotem do rurowciągu transportowego. W każdej dyszy otwory powietrza zostały rozmieszczone na płycie bocznej przy krawędzi wlotowej materiału. W miejscu połączenia dyszy z rurowciągiem transportowym został umieszczony króciec impulsowy do pomiaru spadków ciśnienia na dyszy

Materiały

Materiałem sypkim użytym do badań był mak niebieski o gęstości właściwej 1018 kg/m³ i średnicy zastępczej ziaren 0,8 mm.

Stanowisko badawcze

Ocenę wpływu kształtu dysz na warunki podciśnieniowego transportu pneumatycznego przeprowadzono na stanowisku badawczym zaprojektowanym i wykonanym jako typowa instalacja podciśnieniowego transportu pneumatycznego o wydajności nominalnej



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – waga elektroniczna, 2 - zbiornik z materiałem, 3 - dysza ssąca, 4 - kamera szybkoobrotowa, 5 - laptop, 6 - przewód elastyczny, 7 - przetwornik ciśnienia, 8 - rurowciąg pionowy, 9 - rurowciąg poziomy, 10 - urządzenie zasilające ze zbiornikiem na materiał, 11 - czujnik ciśnienia, 12 – czujnik temperatury, 13 - przepływomierz, 14 - wylot powietrza, 15 - karta pomiarowa, 16 - komputer

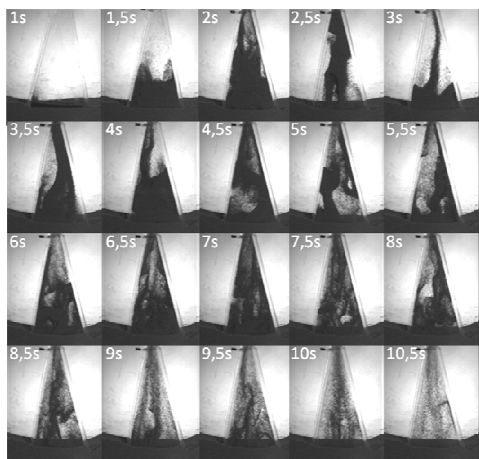
3 Mg/h, której schemat przedstawiono na rys 2. Ze względu na stosowanie bezinwazyjnej metodyki badań główne elementy instalacji, tj. zbiornik materiału, dysze ssące oraz rurowciągi transportowe pionowe i poziome, wykonano z przezroczystego polimetakrylanu.

Metodyka

Badania struktur przepływu dokonywano za pomocą zestawu szybkoobrotowej kamery Genie HM1024 (110 klatek/s; rozdzielczość 1024x768) – 4, laptopa – 5 i aplikacji do zapisu zdjęć i filmów. Jednocześnie dokonywano również pomiaru podciśnienia na dyszy za pomocą przetwornika ciśnienia – 7. Strumień materiału sypkiego mierzono poprzez pomiar ubytku masy w czasie wykorzystując wagę elektroniczną – 1, natomiast pomiaru strumienia powietrza dokonywano za pomocą elektronicznego przepływomierza masowego – 13. Należy podkreślić, że praca instalacji w każdej serii pomiarowej była cykliczna. Dysze były swobodnie zainstalowane w materiale sypkim, a ich praca trwała od momentu poderwania się pierwszych ziaren materiału do chwili opróżnienia zbiornika. W czasie transportu pneumatycznego w żaden sposób nie ingerowano w sposób pobierania materiału przez dysze ssące, traktując je jako bezobslugowe.

Wyniki i ich analiza

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano serie zdjęć i filmów obrazujących zmiany struktur przepływu w poszczególnych dyszach ssących, odpowiednio przy różnych relacjach strumieni badanego materiału ziarnistego oraz powietrza. Przykład serii zdjęć wykonanych w warunkach pracy dyszy o kącie rozwarcia 25° przedstawiono na rys. 3. Należy zaznaczyć, że podobny przebieg zmian struktur przepływu zarejestrowano także w dyszach ssących o kątach 40°, 60°, 90° i 120°. Analiza zebranego materiału fotograficznego oraz uzyskane wartości spadku ciśnienia na dyszach ssących dla różnych koncentracji masowej materiału w strudze dwufazowej gaz-ciało stałe, pozwoliły na wyróżnienie szeregu jednoznacznie różniących się struktur przepływu. Stwierdzono przy tym, że zmiany struktur przepływu w czasie, w poszczególnych dyszach ssących różniły się jedynie szybkością następowania zmian. Ponadto w przypadku dysz o większej wysokości (dysze o kącie 25° i 40°) zaobserwowano także dodatkową cyrkulację materiału wewnątrz dyszy.



Rys. 3. Przebieg zmian w czasie struktury przepływu w dyszy ssącej o kącie 25°

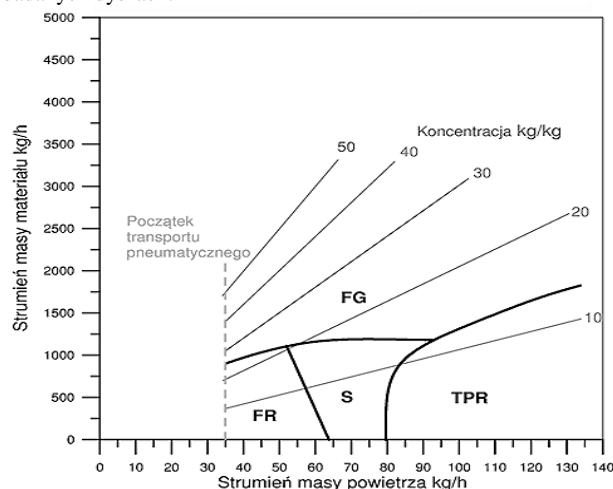
Ogółem wyróżniono 7 struktur przepływu (Tab. 1) różniących się między sobą zarówno koncentracją ciała stałego w strudze dwufazowej gaz-ciało stałe, jak i występowaniem charakterystycznych form strugi materiału w obrębie danej dyszy ssącej.

Tab. 1. Charakterystyka struktur przepływu gaz - ciało stałe w dyszy ssącej o kącie 25°

Nr	Struktura przepływu	Charakterystyka
1		<u>Struktura transportu w fazie rzadkiej TPR.</u> Powstaje w wyniku kontaktu dyszy ssącej z materiałem. Złoże materiału się rozluźnia i następuje poderwanie pierwszych ziaren materiału. Koncentracja masowa materiału sypanego wewnątrz dyszy jest bardzo mała.
2		<u>Struktura przejściowa do fazy fluidalnej gęstej PFG.</u> Zaobserwowana została tylko dla dyszy o kącie 25°. W zakresie tej struktury dysza pobiera materiał sypani pełnym przekrojem i wypełnia się całkowicie.
3		<u>Struktura fluidalna gęsta FG</u> Powstaje po całkowitym wypełnieniu wnętrza dyszy. Koncentracja materiału sypanego wewnątrz dyszy jest największa. Dysza pracuje pełnym przekrojem, a jej praca jest najkorzystniejsza pod względem wydajności transportu pneumatycznego.
4		<u>Struktura smugowa gęsta SG</u> W tej strukturze kształtuje się pionowa nieprzerwana smuga materiału o dużej koncentracji. Struga ta może ulegać przesuwaniu w prawą lub lewą stronę. Stan taki trwa do czasu, gdy struga zostaje przerwana.
5		<u>Struktura smugowa gęsta z cyrkulacją SGC</u> Kolejny stan to ponowne formowanie się smugi o wysokiej koncentracji i występowanie przy tym cyrkulacji materiału w wyniku jego kontaktu ze ścianką dyszy. Występują wyraźne obszary o niższej koncentracji będące efektem turbulencji materiału w płynącej strudze dwufazowej.
6		<u>Struktura smugowa rzadka SR</u> Stan ten charakteryzuje się znacznym rozluźnieniem fazy ciała stałego spowodowanym zmniejszoną ilością materiału w zbiorniku lub przy dużym strumieniu powietrza zmniejszającym wartość jego koncentracji.
7		<u>Struktura fluidalna rzadka FR</u> Ostatnia sklasyfikowana struktura wyróżnia się spadkiem koncentracji materiału sypanego spowodowanym brakiem materiału sypanego. Proces transportu zanika. Pojawiają się jedynie małe smugi materiału porwane na obrzeżach dyszy.

W celu opracowania uogólnionej mapy przepływu dwufazowego gaz-ciało stałe w badanych dyszach ssących dokonano połączenia zakresów występowania różnych form smugowych (SG, SGC, SR) i nazwano ten typ przepływu strukturą smugową S. W ten sposób ograniczono liczbę struktur przepływu do 4. Są to: TPR - transport pneumatyczny w fazie rzadkiej, FG - struktura fluidalna gęsta, S - struktura smugowa i FR - struktura fluidalna rzadka. Wyjątek stanowiły dysze o kącie 90° i 120°, w których praktycznie nie występowały struktury smugowe. Stwierdzono, że w tych dyszach z uwagi na wysoką koncentrację materiału w strudze dwufazowej występują głównie struktury FG. Ponadto dysze te charakteryzują się brakiem występowania w nich lokalnych zaburzeń przepływu spowodowanych kształtem dyszy.

Na podstawie zidentyfikowanych struktur przepływu i analizy map przepływu opracowanych indywidualnie dla wszystkich badanych dysz ssących na przedstawiono rys. 4 uogólnioną mapę przepływu dla wskazania zakresów czterech głównych struktur przepływu występujących w badanych dyszach.



Rys. 4. Uogólniona mapa struktur przepływu maku niebieskiego w dyszy ssącej o kącie 25°

Jakkolwiek przedstawiona mapa została opracowana dla określonego materiału ziemistego (mak niebieski), to może być ona także przydatna do wyznaczania rodzajów struktur przepływu, jakie mogą wystąpić w tego typu dyszach także dla innych materiałów o podobnych właściwościach fizycznych.

Wnioski

Zastosowane techniki rejestracji obrazu z wykorzystaniem kamery szybkoobrotowej, pozwoliły na uzyskanie obrazów charakterystycznych struktur przepływu, które mogą wystąpić w dyszach ssących o różnej geometrii. Stwierdzono przy tym, że tworzące się w dyszach struktury przepływu gaz - ciało stałe miały istotne znaczenie dla kształtowania się parametrów transportu pneumatycznego, takich jak: wydajność, podciśnienie na dyszy i zapotrzebowanie powietrza do procesu.

Najbardziej korzystną strukturą z punktu widzenia użytkownika linii technologicznej jest struktura FG - fluidalna gęsta. Była ona dominująca w pracy dysz o kącie 90° i 120°. Z kolei dla dysz o mniejszym kącie zaobserwowano inne formy przepływu (m.in. struktura smugowa gęsta z cyrkulacją SGC), na które znaczący wpływ miał kształt dyszy ssącej.

Opracowana w pracy mapa przepływu dla dysz ssących o przekroju prostokątnym może stanowić wartościowe narzędzie dla projektantów instalacji transportu pneumatycznego.

LITERATURA

Jósko E., Warowny R. 2014. *Dysza do opróżniania pojemników, zwłaszcza z materiałów sypkich*. Patent PL 216276, udzielony dnia 31.03.2014
 Mills .D., 2004. *Pneumatic conveying dosing guide*, second edition, Oxford
 Piątkiewicz Z., 1999. *Transport pneumatyczny*, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice
 Skotnicka E., Witczak S., 2012. Ocena wpływu kształtu dyszy na energochłonność podciśnieniowego transportu pneumatycznego. *Arch. Energetyki*, nr 2, 145-154
 Skotnicka E., 2015. *Kształtowanie geometrii dysz ssących dla podciśnieniowego transportu pneumatycznego*. Praca doktorska. Pol. Opolska, Opole