

Aleksander PABIŚ

e-mail: apabis@chemia.pk.edu.pl

Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Hydrodynamika zmodyfikowanego złoza fontannowego w aparacie stożkowo-cylindrycznym z głowicą kierującą strumień gazu**Wstęp**

Aparaty ze złożem fontannowym wykorzystywane są do suszenia, głównie zbóż i innych produktów przemysłu rolno-spożywczego, do obróbki termicznej metali, granulacji i powlekania granulek warstwami ochronnymi, w procesach katalitycznych i w spalaniu. Do wad procesu fontannowania należą: występowanie stref złoza różniących się znacznie właściwościami, bardzo wysoki pik ciśnienia poprzedzający przejście złoza stacjonarnego w stan fontannowania oraz wąski przedział prędkości prawidłowego fontannowania. Ponadto w przypadku konieczności ogrzewania lub chłodzenia złoza poprzez ściany aparatu wymiana ciepła jest mało intensywna z uwagi na wolno opadające przy ścianach cząstki ciała stałego i znaczne różnice porowatości i prędkości w poszczególnych strefach złoza.

W literaturze opisano szereg rozwiązań konstrukcyjnych aparatów mających poprawić strukturę złoza i warunki fontannowania [Nemeth, 1983; Hatori, 1984; Gawroński, 1989; Pabiś, 1991; Kurita, 1997].

Mając na uwadze poprawę warunków wymiany ciepła w strefie przyściennej, ujednorodnienie struktury złoza oraz zmniejszenie różnic prędkości i porowatości między strefami zaproponowano aparat stożkowo-cylindryczny ze szkła organicznego z centralnie usytuowaną głowicą zmieniającą kierunek cyrkulacji złoza.

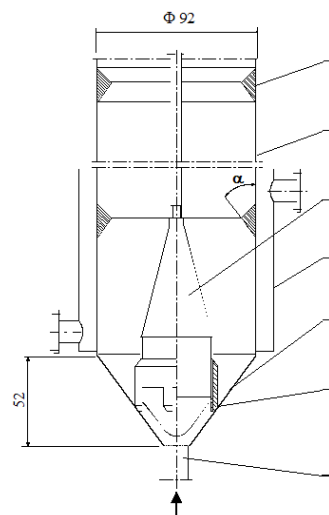
Kolejnym elementem mającym poprawić strukturę złoza pseudo-fontannowego było wprowadzenie pierścieni o trójkątnym przekroju poprzecznym. Pozwoliły one na zwiększenie zasięgu złoza i polepszenie jego jednorodności w całej objętości. Opisane rozwiązanie zostało objęte ochroną patentową [Pabiś, 2003].

W pracy zawarto wyniki badań hydrodynamiki zmodyfikowanego złoza fontannowego w aparacie stożkowo-cylindrycznym.

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze. w badaniach wykorzystano kolumnę stożkowo-cylindryczną, której schemat pokazano na rys.1. Wysokość stalowej części stożkowej wynosiła 0,052 m, natomiast część cylindryczna o wysokości 1,4 m wykonana była z przezroczystego szkła organicznego. W dolnej części kolumny współosiowo umieszczono głowicę – 3, zaopatrzoną w nagwintowany pierścień – 6, regulujący wielkość szczeliny kierujących powietrze i cząstki stałe w kierunku ścian aparatu. Strumień powietrza i cząstki stałe poruszające się ze znaczną prędkością w strefie przyściennej sprzyjają intensyfikacji wymiany ciepła z otoczeniem lub płaszczem grzewczym/chłodzącym – 4. Drugim ważnym elementem konstrukcyjnym mającym na celu polepszenie jednorodności złoza i zwiększenie jego zasięgu są pierścienie -1 o przekroju trójkątnym. Spełniają one rolę pseudopótek, między którymi zachodzi podobna cyrkulacja złoza. Wyjątek stanowią: dolna strefa, gdzie znajduje się głowica i strefa nad najwyższą półką, gdzie formuje się tzw. czapa charakterystyczna dla złoza fontannowego.

Materiały. W badaniach wykorzystano dziewięć materiałów ziarnistych: siarczan amonu, kaszę kukurydzianą, wypełnienie porolitywe, proso, ryż, katalizator glinokrzemianowy, pszenicę, tarnamid, oraz groszek. Średnie średnice badanych cząstek wynosiły od 0,55 mm do 6,5 mm. Gęstości zmieniały się od 873 do 2347 kg/m³. Porowatości złoź stacjonarnych znajdowały się w przedziale 0,31±0,58.



Rys. 1. Schemat ideowy badanego aparatu; 1 – pierścień, 2- płaszcz cylindryczny, 3 – głowica sterująca, 4 – płaszcz grzewczy lub chłodzący, 5 – część stożkowa, 6 – pierścień regulacyjny głowicy, króciec wlotowy powietrza [Pabiś, 2003]

W badaniach zmieniano rodzaj materiału ziarnistego oraz prędkość przepływającego powietrza i wysokość złoza w stanie stacjonarnym.

Metodyka. Wielkościami mierzonymi były: spadek ciśnienia w aparacie w funkcji prędkości średniej powietrza, wysokość dynamiczna złoza oraz profile prędkości w przekroju poprzecznym aparatu na różnych wysokościach jego wysokościach. Ponadto, wprowadzano dla wybranych wypełnień zabarwione ziarna badanego ciała stałego w celu wizualnego określenia torów cząstek w aparacie.

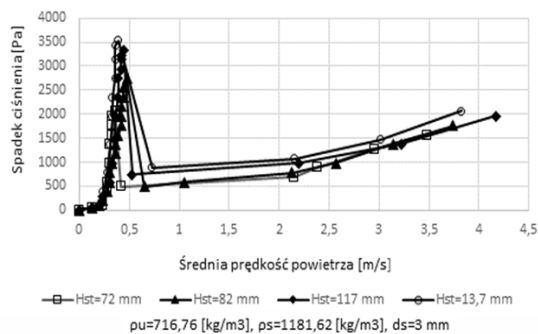
Pomiar spadku ciśnienia w kolumnie dokonywano za pośrednictwem manometru typu U. Do pomiaru prędkości i pośrednio wydatku wykorzystywano rurkę Prandtla umieszczoną na prostym odcinku przewodu doprowadzającego powietrze do kolumny i połączoną z mikromanometrem cyfrowym Dwyer DH006 lub w przypadku kilku serii pomiarowych z mikromanometrem Ascania. Podziałka naklejona na cylindrycznej części kolumny pozwalała na odczyt aktualnych wysokości złoza. Profile prędkości lokalnych określano na czterech wysokościach dla trzech wybranych średnich prędkości powietrza.

Wyniki i dyskusja

Otrzymane wyniki pomiarów przedstawiono jako zależności:

- spadku ciśnienia Δp w aparacie w funkcji średniej prędkości powietrza w_g ,
- maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{max} od wysokości złoza stacjonarnego H_{st} ,
- spadku ciśnienia w punkcie minimum fontannowania $\Delta p_{m,f}$ od wysokości złoza stacjonarnego H_{st} ,
- prędkości lokalnych powietrza na czterech wysokościach złoza dla trzech wybranych średnich prędkości.

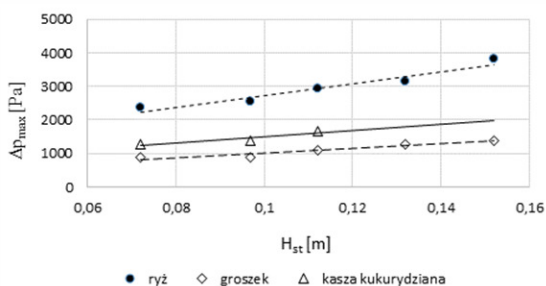
Wykresy $\Delta p = f(w_g)$ charakteryzują się wyraźnym skokiem ciśnienia na granicy między złożem stacjonarnym i ruchomym, typowym dla fontannowania. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zmiany ciśnie-



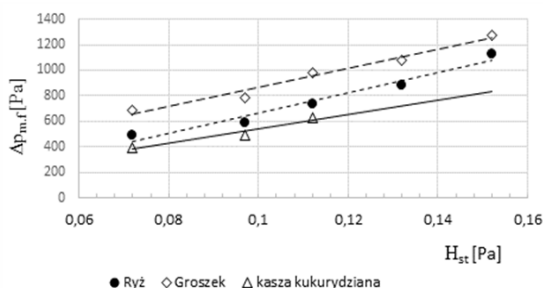
Rys. 2. Spadek ciśnienia w kolumnie ze złożem prosa w funkcji średniej prędkości powietrza

nia dla prosa w zależności od prędkości powietrza. Wyjątek stanowi wykres $\Delta p = f(w_g)$ dla groszku o średnicy 6,5 mm, o zdecydowanie niższym pikie ciśnienia od pozostałych. W celu uzyskania spadku ciśnienia tylko na samym złożu należy odjąć wartości Δp zmierzone w pustej kolumnie.

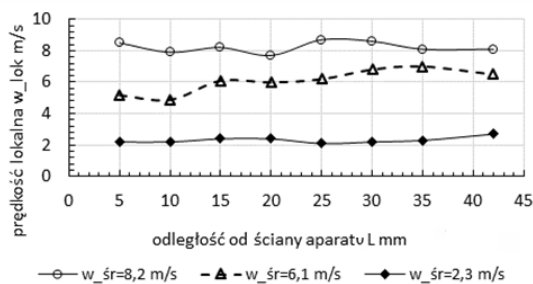
Zależności maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{max} i spadku ciśnienia w punkcie minimum fontannowania $\Delta p_{m,f}$ od wysokości złożeń stacjonarnych H_{st} mają charakter prostoliniowy dla przebadanych materiałów ziarnistych, co widać na rys. 3 i 4.



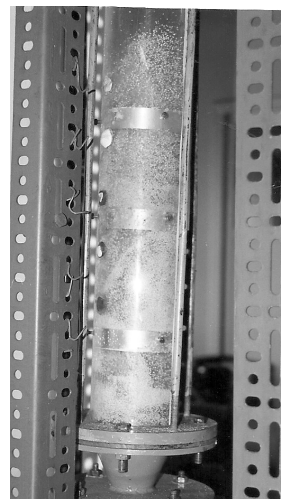
Rys. 3. Maksymalny spadek ciśnienia w kolumnie w funkcji wysokości złożeń stacjonarnych dla trzech materiałów ziarnistych: ryżu, groszku i kaszy kukurydzianej



Rys. 4. Zależność spadku ciśnienia przy prędkości minimum fontannowania od wysokości stacjonarnej złoża dla trzech wybranych materiałów.



Rys. 5. Promieniowe profile prędkości powietrza na wysokości 0,155 m, dla trzech średnich prędkości w trakcie fontannowania katalizatora glinokrzemianowego



Rys. 6. Kolumna z wypełnieniem porolitywowym $H_{st} = 0,122$ m, $w_g = 3,6$ m/s

Na rys. 6 pokazano złożo wypełnienia porolitywowym z głowicą centralną i trzema pierścieniami.

Wnioski

Badania potwierdziły możliwość ukierunkowania powietrza i cząstek stałych w kierunku ścian aparatu stożkowo-cylindrycznego, co może być wykorzystane do intensyfikacji wymiany ciepła z otoczeniem, płaszczem grzewczym lub chłodzącym, głównie w dolnej strefie ruchomego złoża. Dodatkowym elementem wymuszającym zawracanie cząstek w kierunku osi aparatu były pierścienie o przekroju trójkątnym. Odgrywają one też rolę pseudo półek, między którymi następuje powtarzalna cyrkulacja złoża.

Zastosowane rozwiązanie techniczne zapewniło również wyrównanie prędkości gazu i cząstek w przekroju aparatu, a więc znaczne przyspieszenie przy ścianach i spowolnienie w osi w porównaniu z klasycznym złożem fontannowym. Stosunek spadku ciśnienia w złożu fontannowym do spadku w złożu fluidalnym waha się zwykle w granicach 0,64 do 0,75. Dla przebadanego aparatu stosunek ten wyniósł 0,95.

Zależności maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{max} i spadku ciśnienia w punkcie minimum fontannowania $\Delta p_{m,f}$ od wysokości stacjonarnej H_{st} przebadanych złożów ziarnistych mają charakter liniowy.

Zachowane zostały natomiast dwie charakterystyczne cechy złoża fontannowego: wyraźny pik ciśnienia oraz *plateau* w szczytowej strefie złoża.

LITERATURA

- Gawroński Z., Jeżowski A., (1989). *Sposób wytwarzania oscylującego złoża fontannowego i urządzenia do wytwarzania oscylującego złoża fontannowego*. Patent PL 163197
- Hattori H., Kobayashi A., Aiba I., (1984). Modification of the outlet structure on the spouted bed with inner draft-tube. *Chem. Eng. Japan*, 17(1), 102-103. DOI: 10.1252/jcej.17.102
- Kurita Y., Jida H., Sekiguchi I., (1997). Fluidization characteristics of particulates in conical fluidized bed granulators with vortex orifice. *J. Chem. Eng. Japan*, 30(1), 166-169. DOI: 10.1252/jcej.30.166
- Nemeth J., Pallai E., Peter M., (1983). Heat transfer in a novel type spouted bed. *Canadian J. Chem. Eng.*, 61, 406-410. DOI: 10.1002/cjce.5450610322
- Pabiś A. (2003). *Pneumatyczne urządzenie fontannowej obróbki materiałów proszkowych i drobnociarnistych*. Patent PL 199821
- Pabiś A., Bukir L., Arroum S., (1991). Fluidyzacja gaz-ciało stałe w kolumnie o przekroju prostokątnym w obecności wkładek pryzmatycznych. *Inż. Ap. Chem.*, 30(2-3), 18-21