

Wojciech KUDZIA

Instytut Energetyki Paliwowej

WARUNKI FLUIDYZACJI WILGOTNEGO WĘGLA

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę możliwości zastosowania propozycji Lewisa i in. [7] do opisu warunków fluidyzacji suchych materiałów ziarnistych. Następnie przedstawiono wyniki eksperymentów mających na celu uchwycenie wpływu zawilżenia węgla na warunki jego fluidyzacji.

1. Wstęp

Suszarki fluidyzacyjne ze względu na wysokie wskaźniki techniczno-ekonomiczne znajdują częste zastosowanie w praktyce przemysłowej. Z punktu widzenia prędkości przepływu czynnika suszącego zajmują one pozycję pośrednią między suszarkami z przepływem gazu przez warstwę nieruchomą a suszarkami pneumatycznymi. Fluidyzacja warstwy wilgotnego materiału przez gorący strumień gazu stwarza dogodne warunki do prowadzenia procesu suszenia. Duża rozwinięta powierzchnia kontaktu między ciałem stałym i czynnikiem suszącym oraz duże współczynniki wymiany ciepła i masy powodują, że suszarka fluidyzacyjna ma mniejsze rozmiary niż alternatywne typy suszarek. Dodatkowo niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, możliwość suszenia materiałów nieodpornych termicznie, znaczna równomierność wysuszenia materiału oraz wysoka sprawność termiczna stawiają suszarkę fluidyzacyjną wręcz dzie najkorzystniejszych urządzeń suszarniczych.

Suszenie fluidyzacyjne może znaleźć szersze zastosowanie w przemyśle, chociaż brak jest dotychczas pełnych podstaw teoretycznych do obliczeń i projektowania tego typu suszarek. Wynika to przede wszystkim ze złożoności samego procesu oraz braku ścisłych modeli matematycznych opisujących dynamikę warstwy jak również wymianę ciepła i masy.

W Instytucie Energetyki Paliwowej Politechniki Śląskiej od dłuższego już czasu prowadzone są badania podstawowe dotyczące powyższych problemów. W pracy tej przedstawiono pewien wycinek tych badań, w którym podjęto próbę opisu warunków fluidyzacji wilgotnego węgla.

Stosowane oznaczenia

- d_1 - średnica kolejnej frakcji ziaren,
 d_z - zastępcza średnica ziaren,
 n - wykładnik (liczba),
 w - pozorna prędkość płynu,
 w_g - graniczna prędkość fluidyzacji,
 z_1 - udział gramowy frakcji w mieszaninie ziaren,
 ϵ - porowatość warstwy fluidalnej.

2. Warunki fluidyzacji materiałów suchych

Znajomość stężenia fazy stałej w warstwie fluidalnej w zależności od prędkości czynnika fluidyzującego ma olbrzymie znaczenie praktyczne. W literaturze [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] można spotkać różne propozycje tej zależności. Część autorów stosuje tzw. liczbę fluidyzacji, czyli stosunek aktualnej prędkości płynu do prędkości w stanie krytycznym. Propozycja ta jednak nie oddaje w pełni zjawiska, gdyż o ile jeden warunek brzegowy jest tutaj ściśle określony, tzn. początek fluidyzacji określa liczba równa 1, to jednak moment przejścia w transport pneumatyczny określony jest różnymi liczbami w zależności od parametrów termicznych płynu fluidyzującego. Mankament powyższy nie występuje, jeśli warunki fluidyzacji określa się z pomocą funkcji porowatości warstwy od prędkości płynu fluidyzującego. Istnieje wiele sposobów uogólnienia tej funkcji, zebranych i opisanych przez Ciborowskiego [5]. Dla celów prac prowadzonych w Instytucie Energetyki Paliwowej wykorzystywana jest zależność podana przez Lewisa i in. [7], która w układzie podwójnie logarytmicznym jest linią prostą:

$$\frac{w}{w_g} = \epsilon^n \quad (1)$$

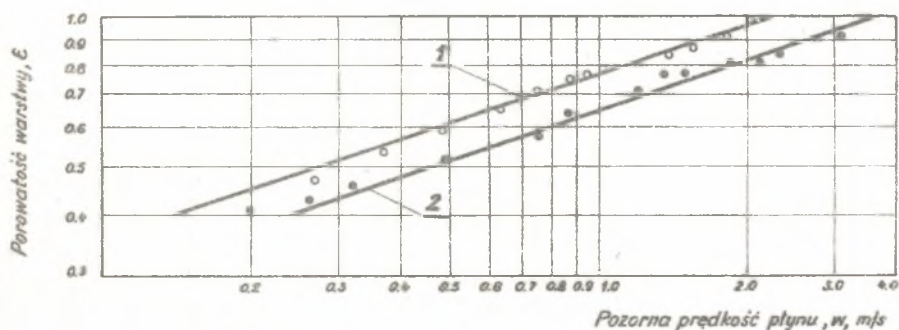
Moment początku fluidyzacji opisywany jest w tej zależności poprzez krytyczną porowatość warstwy i krytyczną prędkość fluidyzacji. Natomiast moment przejścia fluidyzacji w transport pneumatyczny opisuje graniczna prędkość fluidyzacji oraz porowatość warstwy równa -1.

Zależność powyższa (1), jak twierdzą autorzy, jest słuszna dla fluidyzacji gazowej, a ponadto jest także słuszna, gdy fluidyzacji poddawany jest materiał polidywersyjny, jeśli zastępcza średnica ziaren obliczana będzie następującym wzorem:

$$d_z = \frac{1}{\sum \frac{z_i}{d_i}} \quad (2)$$

Istotną zaletą wyżej wymienionej propozycji (1) jest to, że daje ona dobre wyniki właśnie w przypadkach, gdy występują odchylenia od fluidyzacji regularnej, to jest pulsacje podczas fluidyzacji gazowej [7].

Eksperymenty przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym potwierdziły słuszność tej zależności. Badania przeprowadzono dla suchego piasku, aby wyeliminować wpływ wilgoci na ich wyniki. Wyniki eksperymentów dla dwóch przedziałów ziarnistości piasku przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wyniki eksperymentów zależności porowatości warstwy fluidalnej w funkcji prędkości płynu dla piasku o ziarnistości

$$1 - d_z = 0,340 \text{ mm}, \quad 2 - d_z = 0,515 \text{ mm}$$

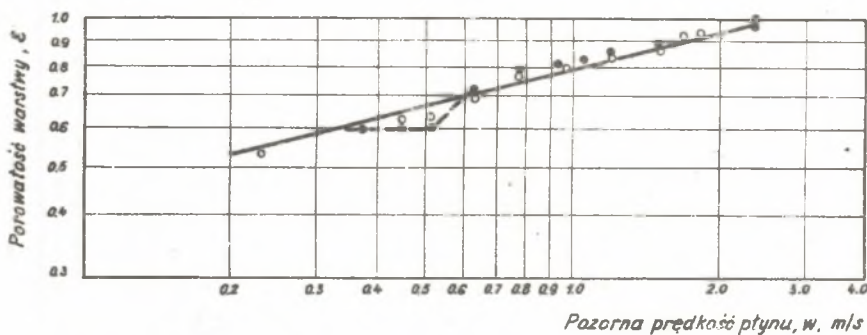
3. Warunki fluidyzacji wilgotnego węgla

W procesach fluidalnego suszenia węgla istotny wpływ na przebieg procesu fluidyzacji będzie miała wilgoć fluidyzowanego węgla. Uchwycenie tego wpływu ma olbrzymie znaczenie przy analizie i praktycznym prowadzeniu takiego procesu.

Arrai i Sugiyama [1] stwierdzili, że nawet niewielka zawartość wilgoci w piasku ma duży wpływ na warunki jego fluidyzacji, powodując znaczne odstępstwa od tegoż procesu dla piasku suchego. Ze wzrostem zawartości wilgoci wzrasta porowatość krytyczna oraz wartość krytycznej prędkości. Dla piasku o zawartości wilgoci ok. 7% porowatość krytyczna wynosi 0,51, natomiast dla piasku suchego 0,40. Krytyczna prędkość dla tak zawilżonego piasku jest ok. 5-krotnie większa niż dla piasku suchego o tej samej średnicy ziaren. Podobne wyniki uzyskał Podkowa [9] badając krytyczną prędkość fluidyzacji dla wilgotnego węgla. Stwierdził on, że wilgoć węgla, który jest materiałem higroskopijnym, nie ma wpływu na krytyczną prędkość flui-

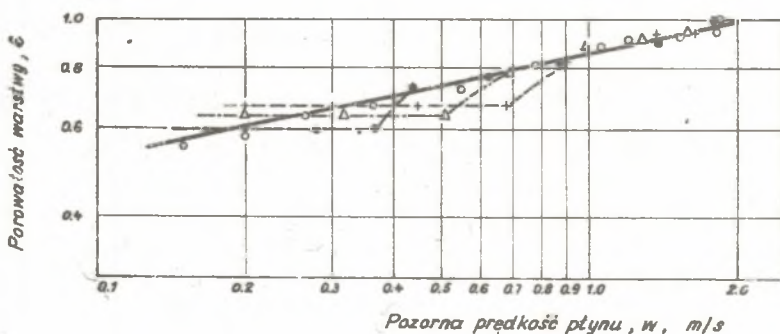
dyzacji aż do momentu, gdy jej wartość jest mniejsza od 5-6%. Po przekroczeniu tej granicy występuje wzrost wartości prędkości krytycznej fluidyzacji.

Eksperymenty przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym o przekroju komory $0,0151 \text{ m}^2$ potwierdziły wyniki uzyskane przez cytowanych autorów. Wyniki eksperymentów dla węgla o różnym stopniu zawilżenia przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rysunkach tych naniesiono również teoretyczną linię określoną na podstawie propozycji Lewisa i in. [7]. Z rysunków tych wynika, że tylko węgiel powietrzno-suchy, czyli o wilgoci zbliżonej do higroskopijnej, podlegał fluidyzacji zgodnej z teoretycznymi przesłankami.



Rys. 2. Wpływ wilgoci węgla na dynamikę fluidyzacji (proces periodyczny)

- zależność teoretyczna ($d_z = 0,885 \text{ mm}$)
 ○ wyniki eksperymentów dla $W = 3,6\%$
 ● wyniki eksperymentów dla $W = 8,3\%$



Rys. 3. Wpływ wilgoci węgla na dynamikę fluidyzacji (proces periodyczny)

- zależność teoretyczna, ($d_z = 0,625 \text{ mm}$)
 ○ wyniki eksperymentów dla $W = 3,66\%$
 △ — △ " " " " $W = 7,9\%$
 □ — □ " " " " $W = 12,7\%$
 + — + " " " " $W = 18,1\%$

Węgiel o wilgoci wyższej od higroskopijnej ulegał najpierw skanałowaniu, a następnie przy pewnych prędkościach dużo większych od krytycznej ulegał rozwiniętej fluidyzacji. Można wyciągnąć z tego wnioski, że dla węgla mocno wilgotnego nie da się prowadzić procesu fluidyzacji przy niskich porowatościach warstwy. Dla węgla o wilgoci ok. 18% fluidyzacja regularna wystąpi dopiero przy porowatości warstwy wyższej niż 0,8.

Bardzo podobne zjawisko występuje w procesie fluidyzacji wilgotnego węgla prowadzonej w sposób ciągły. Przy dużej intensywności podawania mocno wilgotnego węgla, tzn. gdy fluidyzujący w warstwie węgiel posiada dużą wilgoć, zauważono, że część tego węgla gromadzi się w dystrybutorze, zmniejszając jego powierzchnię przepływową aż do całkowitego zasypania, a ładunek staje się nieruchomą warstwą skanałowaną. Zjawisku temu można zapobiec stosując większe prędkości czynnika fluidyzującego, czyli wyższe porowatości warstwy fluidalnej. Biejlin i in. [2] na podstawie analizy działania fluidalnych suszarek przemysłowych zainstalowanych w ZSRR stwierdzili, że przy większych prędkościach czynnika fluidyzującego, czyli wyższych porowatościach warstwy fluidalnej, występuje większa równomierność działania suszarki. Większe prędkości czynnika fluidyzującego powodują również przesunięcie strefy tworzenia się pęcherzy gazowych tuż nad rusztem na pewną wysokość nad nim. Zjawisko to jest bardzo korzystne, gdyż - jak wiadomo - tuż nad rusztem następuje najbardziej intensywna wymiana ciepła i masy w warstwie fluidalnej. Istnieje jednak niebezpieczeństwo obserwowane w trakcie eksperymentów, że przy dużych prędkościach czynnika fluidyzującego oraz dużej wilgoci materiału fluidyzującego w warstwie wystąpi intensywne wyrzucanie bardzo wilgotnych cząstek z warstwy, co zmniejsza równomierność wysuszenia. Zjawisku temu można zaradzić przez zastosowanie większych wysokości warstwy fluidalnej.

4. Wnioski

Porowatość warstwy fluidalnej w funkcji pozornej prędkości płynu fluidyzującego dla fluidyzacji materiałów suchych można określać na podstawie propozycji podanej przez Lewisa i in. [7]. Zależność ta, jak stwierdzają cytowani autorzy, jest przydatna szczególnie w przypadku fluidyzacji gazowej. Wyniki eksperymentów własnych potwierdziły powyższą zależność.

Fluidyzacja materiałów wilgotnych odbiega od tego zjawiska dla materiałów suchych. W przypadku węgla, który jest materiałem higroskopijnym, można przyjąć, że przy zawilżeniu niższym niż wilgoć higroskopijna proces fluidyzacji przebiega według teoretycznych przesłanek, natomiast przy zawilżeniu wyższym - występują znaczne odstępstwa. Porowatość krytyczna węgla zawilżonego powyżej wilgoci higroskopijnej jest większa niż węgla suchego. Warstwa węgla wilgotnego ulega najpierw skanałowaniu, a następnie przechodzi w stan fluidalny przy prędkościach gazu kilkukrotnie wyższych, niż te wynika z obliczeń prędkości krytycznej. Im większa jest wartość

wilgoci węgla w warstwie, tym przejście w stan fluidalny odbywa się przy wyższej prędkości płynu. Na tej podstawie można stwierdzić, że dla węgla mocno zawilżonego nie można prowadzić procesu fluidyzacji przy niskich porowatościach warstwy.

LITERATURA

- [1] Arrai N., Sugiyama S.: Journal of Chem. Eng. Japan, 7, 1974, s. 247-251.
- [2] Biejlin M.I., Hadziogło A.W., Butko W.I., Czernarda N.A.: Ugol Ukrainy, 11, 1965, s. 48-50.
- [3] Bennett C.O., Myers J.E.: Przenoszenie pędu, ciepła i masy. WNT, Warszawa 1967.
- [4] Boothroyd R.G.: Tieczeniye gaza so wzwieszonymi czasticami. Izd. "MIR", Moskwa 1976 (tłum. z j. ang.).
- [5] Ciborowski J.: Fluidyzacja. PWT, Warszawa 1957.
- [6] Kunii D., Lenenspiel O.: Promyslennoje pseudozizeniye. Izd. "Chimija", Moskwa 1976 (tłum. z j. ang.).
- [7] Lewis W.K., Gilliland E.R., Baner W.C.: Ind. Eng. Chem., 41, 1949, s. 1104-1117.
- [8] Łykov M.B.: Suszka w chemicznej promyszlennosti. Izd. "Chimija", Moskwa 1970.
- [9] Podkowa K.: Koks, Smoła, Gaz, 7-8, 1970, s. 210-214.
- [10] Razumow I.M.: Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich. WNT, Warszawa 1975.
- [11] Romankow P.G., Raszkowskaja N.B.: Suszka wo wzwieszonom sostojanii, Izd. "Chimija", Leningrad 1968.
- [12] Tomaszek J., Gradoń B., Kudzia W., Remarczyk L., Jastrząb Z.: Gospodarka Paliwami i Energią, 7-8, 1975, s. 16-19.

УСЛОВИЯ ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ ВЛАЖНОГО УГЛЯ

Резюме

В статье представлен анализ возможностей применения предложения Левиса и других [7] для описания условий псевдоожигения сухих зернистых материалов. Затем представлены результаты экспериментов, целью которых являлось определение влияния влажности угля на условия его псевдоожигения.

THE CONDITIONS OF FLUIDIZATIONS OF THE MOIST COAL

Summary

The usefulness of the Lewis and co-workers [7] procedure for the description of the fluidization condition of dry fine-grained materials is analysed. To know the influence of the coal moisture on the fluidization conditions some experiments were carried out. The experimental results are discussed in the paper.