

Barbara GWOŹDZIEWICZ

Janusz WANDRASZ

Instytut Techniki Ciepłej
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

STABILIZACJA WARSTWY FLUIDALNEJ MATERIAŁU NIEOKREŚLONEGO KSZTAŁTU

Streszczenie. W pracy omówiono badania oraz ich wyniki dotyczące zagadnienia stabilnej pracy warstwy fluidalnej dwuskładnikowej dwufazowej utworzonej z materiału o kształtach znacznie odbiegających od kształtu kulistego. Stabilizacja taka możliwa jest do osiągnięcia poprzez zastosowanie inertnego materiału ziarnistego.

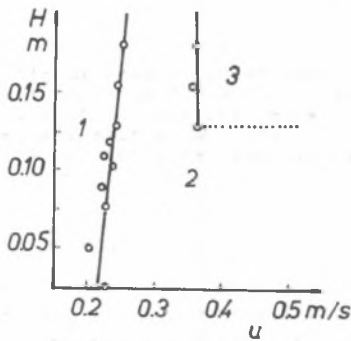
1. WSTĘP

W badaniach procesów spalania, odgazowania oraz zgazowania rozdrobnionych materiałów nieokreślonego kształtu w warstwie fluidalnej napotyka się na trudności uzyskania warstwy fluidalnej pracującej w sposób stabilny. Skłonności materiału do szczepiania cząstek w przypadku braku sił inicjujących proces fluidyzacji powodują powstawanie kanałów, a przy większych prędkościach pęcherzy o znacznych wymiarach prowadzą do zjawiska tłokowania. Zjawiskom tym można przeciwdziałać, stosując element rozdzielający typu zawirowującego [1, 2]. Rozpracowana metodyka wyznaczania zastępczego wymiaru liniowego elementu warstwy utworzonej z cząstek nieokreślonego kształtu [3, 4] pozwala określić warunki fluidyzacji takich materiałów. Badania nad możliwością realizacji procesu odgazowania substancji takich, jak: zmielone odpady komunalne (wydzielona frakcja o odpowiednich własnościach fizykochemicznych), trociny i wióry drzewne, przy zastosowaniu dodatku ziarnistego materiału inertnego (w postaci np. piasku), wykazywały znaczną poprawę procesu fluidyzacji. Uzyskane wyniki obserwacji pozwoliły podjąć szersze badania nad zagadnieniem warstwy fluidalnej materiałów wieloskładnikowych o różnych gęstościach. Należy dodatkowo wyjaśnić, że pojęcie materiału inertnego odnosi się jedynie do rzeczywistego procesu fizykochemicznego, np. odgazowania, w którym materiał ten spełnia rolę nośnika energii oraz stabilizatora pracy warstwy. Zastosowanie miazgi węglowej jako stabilizatora warstwy, a równocześnie ucze-

etniczającego w procesie, nie wymaga stosowania dodatkowych materiałów inertnych. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań [5] nad omawianym zagadnieniem, ze szczególnym zwróceniem uwagi na celowość dalszego ich prowadzenia.

2. BADANIA CHARAKTERYSTYK FLUIDYZACJI WYBRANYCH MATERIAŁÓW

Proces fluidyzacji materiałów monodispersyjnych oraz polidispersyjnych przyjęto przedstawiać w postaci różnego typu charakterystyk [2].

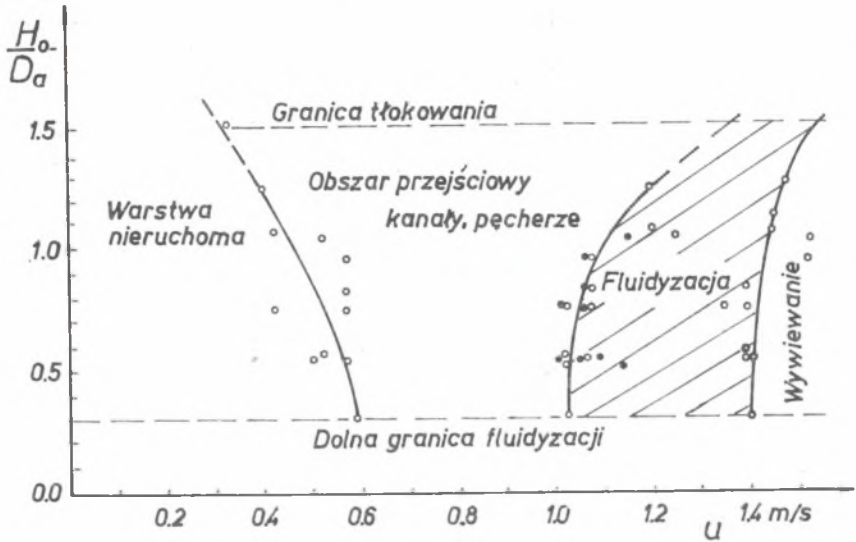


Rys. 1. Wykres fazowej fluidyzacji piasku przy wypływie gazu z pojedynczego otworu $d_o = 0,0158$ m, $D = 0,152$ m, $d_z = 0,42-0,84$ mm, 1 - warstwa nieruchoma, 2 - fluidyzacja z pęcherzowaniem, 3 - tłokowanie [7]

Fig. 1. Graph of fluidization sand phase during an outflow of the single hole

Dla każdego z badanych materiałów można sporządzić odrębną charakterystykę, przy czym za szczególnie dogodną należy uznać wykres fazowy $H_{st} = f(u)$ przedstawiający obszar fluidyzacji w postaci pola. Wielkość tego pola zależy od wielu czynników, między innymi od typu rusztu i jego powierzchni swobodnej, a także wysokości warstwy statycznej H_{st} . W literaturze technicznej wykresy takie można spotkać dla procesów fontannowania lub fluidyzacji np. piasku [7] rys. 1, a także materiałów nieokreślonego kształtu [4], rys. 2. Drugą rozpowszechnioną charakterystyką przy analizie procesów fluidalnych jest zależność $\Delta p_w = f(u)$ spadku ciśnienia w warstwie materiału dyspersyjnego od prędkości fluidyzacji w granicach u_{mf} do u_t (od minimalnej do prędkości transportu pneumatycznego). Charakterystyki powyższe sporządza się dla danego wybranego rodzaju materiału o określonej stałej gęstości.

Do chwili obecnej w prowadzonych rozważaniach nad pracą warstw fluidalnych brak jest jednoznacznego kryterium określenia jakości procesu.



Rys. 2. Wykres fazowy fluidyzacji rozdrobnionych odpadów komunalnych. Ruszt zawiruwający $\beta = 0,04$ (6-szczelinowy) [1]

Fig. 2. Graph of phase fluidization of grumbled communal scrups

Różne są również wymagania stawiane procesowi fluidyzacji ze względu na realizowaną technologię.

Jednolity opis matematyczny zjawiska nie jest możliwy i w dalszej części opracowania analiza zachodzących procesów omówiona będzie w oparciu o obserwację pracy warstwy fluidalnej oraz wyniki pomiarów przedstawione w postaci wymienionych charakterystyk.

Jako podstawowy składnik inertyjny warstwy zastosowano piasek o uziarnieniu w zakresie $d_z = (0,3-0,38) \cdot 10^{-3}$ m, dla którego metodą zaprezentowaną w pracy [3] wyznaczono charakterystyczny parametr $\delta = 0,163 \cdot 10^{-3}$ m. Pozostałe wielkości fizyczne materiału inertyjnego podano w tabeli 1. Ze względu na ograniczenie rozważań do materiałów, których proces fluidyzacji jest utrudniony, a równocześnie gęstość ich jest mniejsza od gęstości materiału inertyjnego, postanowiono prowadzić badania w zakresie stosunku gęstości:

$$0,2 < \frac{\rho_m}{\rho_{m1}} < 1 \quad (1)$$

Pozostałe parametry fizyczne badanych materiałów oraz konkretne wartości stosunków gęstości zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Podstawowe własności fizyczne badanych materiałów

Lp.	Materiał	Gęstość pozorna ρ_m kg/m ³	Gęstość nasytowa ρ_n kg/m ³	Parametr $\delta \cdot 10^4$ m	$\frac{\rho_m}{\rho_{ml}}$	$\frac{\rho_m}{\rho_{ml}}$
1	Piasek $d_z = (0,3-0,38) \cdot 10^{-3}$ m	2300	1470	1,63	1	1
2	Miśł węglowy $d_z = (0,6-3) \cdot 10^{-3}$ m	1190	740	4,15	2,55	0,52
3	Poliamid (granulki)	1100	634	5,12	3,14	0,48
4	Ziarna kukurydzy	1050	720	77,6	47,61	0,46
5	Odpady z parforacji taśm papiero- wych	934	270	1,22	0,75	0,41
6	Trociny	570	150	1,34	0,83	0,25

Występujący w tabeli 1 parametr δ , poza określeniem umownej średnicy zastępczej, zawiera w sobie inne wielkości aerodynamiczne, których bezpośrednie ujęcie byłoby utrudnione. Brak jednakowego kształtu poszczególnych elementów każdego z badanych materiałów powoduje dość znaczne różnice w wartościach stosunku tych parametrów.

Poza wymienionymi wyżej własnościami fizycznymi użytych materiałów proces fluidyzacji realizowano, stosując różne stosunki objętościowe materiału podstawowego do materiału inertejnego. Przy niezmiennym przekroju aparatu udziały te wyraża stosunek wysokości warstwy nieruchomego materiału inertejnego do wysokości warstwy danego materiału. Granice zmienności powyższych udziałów objęte badaniami wynoszą:

$$0,55 \leq \frac{H_1}{H_m} \leq 3,43 \quad (2)$$

3. WYNIKI BADAŃ

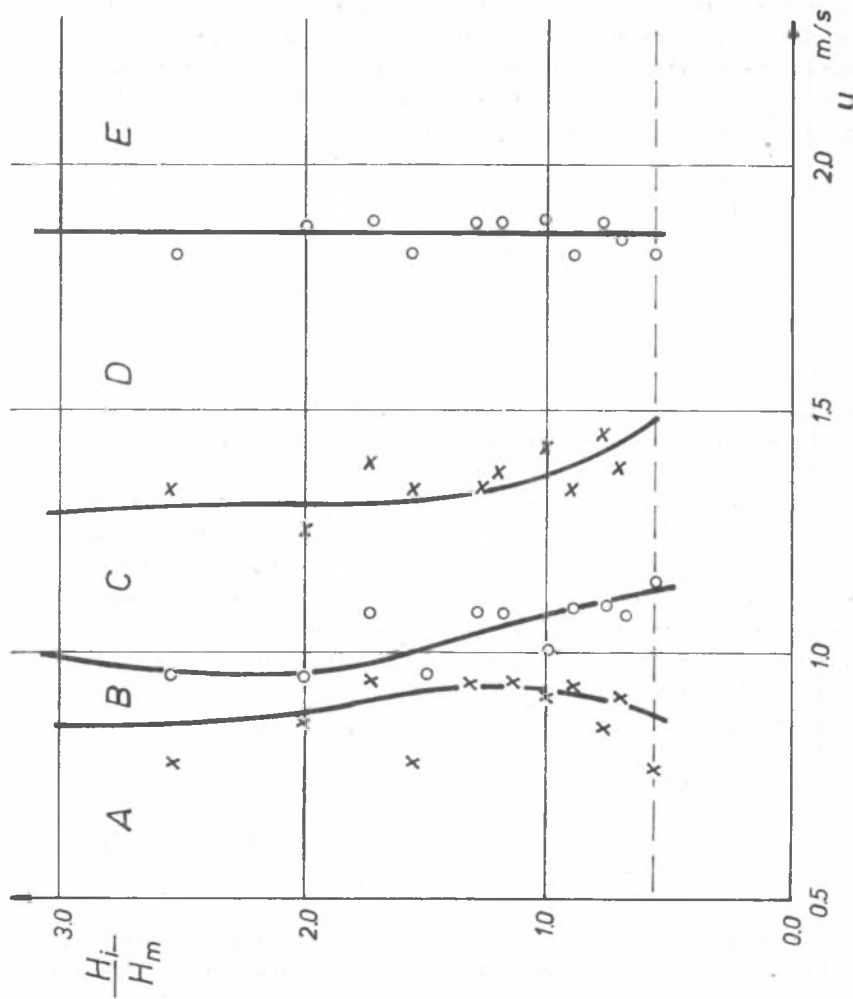
Badania procesu fluidyzacji przeprowadzono oddzielnie dla każdego z rozważanych materiałów oraz ich roztworów z materiałem inertejnym. Dla umożliwienia oceny wpływu własności samych materiałów wszystkie badania prowadzono na jednym typie rusztu (ruszt zawirowujący) o powierzchni swobodnej wyrażonej stosunkiem $\beta = 12\%$. Ruszt ten dobrano na podstawie odrębnych badań [6]. Stan warstwy fluidalnej utworzonej w przezroczystej cylindrycznej komorze o średnicy $D = 0,14$ m określono wizualnie, mierząc prędkość przepływu czynnika fluidyzującego (powietrza) oraz spadki ciśnienia w elemencie rozdzielczym i warstwie fluidalnej. Ze względu na podobieństwa przebiegów badanych charakterystyk oraz ich licznosc, w niniejszej pracy przedstawiono najbardziej reprezentatywne.

Na rysunku 3 pokazano wykres zależności $H_1/H_m = f(u_f)$ dla materiału o $\rho_m/\rho_1 = 0,46$.

Przebieg zmian spadku ciśnienia w funkcji prędkości u_f dla każdego z materiałów oraz ich roztworu przy $H_1/H_m = 1$ przedstawia wykres rys. 4.

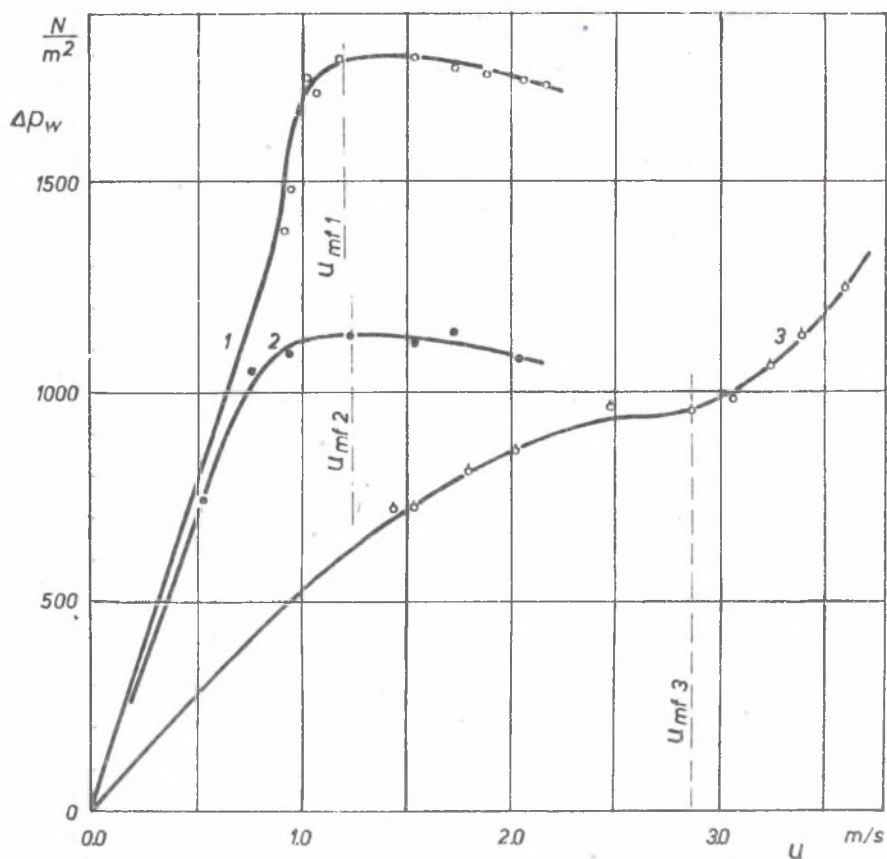
Rys. 5 przedstawia wykres zależności stosunku gęstości ρ_m/ρ_1 od prędkości fluidyzacji u_f różnych materiałów, z zachowaniem stałego stosunku H_1/H_m .

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych rezultatów stwierdzono, że dodatek materiału inertejnego powoduje zmniejszenie prędkości minimalnej fluidyzacji roztworu cząstek dużych o około 50% w porównaniu z minimalną prędkością fluidyzacji materiału podstawowego. Warstwa fluidalna roztworu dwu materiałów występuje dla określonego zakresu prędkości pomiędzy u_{min} i u_{gr} . Przekroczenie prędkości granicznej prowadzi do separacji cząstek z równoczesnym wzrostem zjawiska pęcherzowania. Cząstki mniejsze, bardziej zbliżone wielkością do cząstek materiału inertejnego, zachowy-



Rys. 3. Wykres zależności H_1/H_m funkcję prędkości fluidyzacji przy $\rho_m/\rho_i = 0,46$
 A - warstwa nieruchoma, B - pecherzowanie, C - obszar pulsacji, D - fluidyzacja, E - obszar transportu
 pneumatycznego

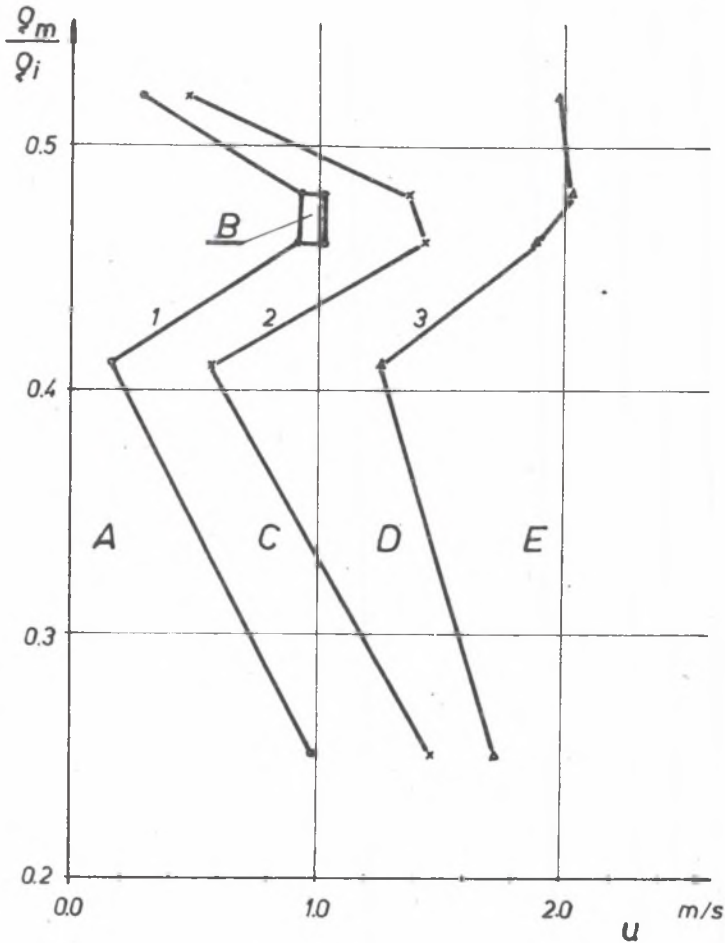
Fig. 3. Graph of the relation H_1/H_m as a function of fluidization speed



Rys. 4. Wykres zależności spadku ciśnienia w warstwie fluidalnej dla każdego rodzaju materiału oraz ich roztworu przy $H_1/H_m = 1$

1 - fluidyzacja piasku, 2 - fluidyzacja piasku i kukurydzy, 3 - fluidyzacja ziaren kukurydzy

Fig. 4. Graph of the relation of pressure drop in fluidal layer for every kind of material and its solution with $H_1/H_m = 1$



Rys. 5. Wykres zależności ρ_m/ρ_i funkcje prędkości fluidyzacji dla materiału o $H_1/H_m = 1$

A - warstwa nieruchoma, B - obszar pulsacji, C - pęcherzowania, D - zakres fluidyzacji, E - obszar transportu pneumatycznego, 1 - początek pęcherzowania, 2 - początek fluidyzacji, 3 - początek transportu pneumatycznego

Fig. 5. Graph of the relation ρ_m/ρ_i as a function of fluidization speed for the material with $H_1/H_m = 1$

węły się w sposób podobny, przy czym wpływ materiału inerteznego na minimalną prędkość fluidyzacji był mniejszy, rzędu $\sim 4\%$.

Dla materiałów nieokreślonego kształtu wpływ dodatku materiału inerteznego miał bardzo istotne znaczenia. Szczepialność tych materiałów, siły adhezji cząstek, a także siły elektrostatyczne w znacznym stopniu utrudniają, a nawet wręcz uniemożliwiają realizację procesu fluidyzacji. Warstwa fluidalna utworzona z tych materiałów jest bardzo niestabilna i łatwo ulega

zakłócaniu przez zjawiska pęcherzowania dużymi pęcherzami przechodzącymi chwilami w proces tłokowania lub tworzenia się kanałów. Dodatek materiału inertnego w postaci piasku do trocin obniżył prędkość minimalnej fluidyzacji o około 15%, wprowadzając równocześnie ustabilizowanie warstwy i bardziej równomierny proces fluidyzacji. Cząstki bardziej regularnych kształtów, jak np. kawałki papieru (perforki, ścinki itp.) zachowywały się podobnie przy $\sim 40\%$ obniżeniu prędkości u_{mf} . Ze ciekawości można uznać eksperyment fluidyzacji równoczesnej piasku i cząstek węgla (miał węglowy). Stosunek średnic cząstek wahał się w granicach $\sim (1,6-8)$. Uzyskano, poza bardziej stabilną pracą warstwy, obniżenie minimalnej prędkości fluidyzacji o około 30%.

WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań nie pozwalają w sposób ogólny zapisać zależności matematyczne występujące przy fluidyzacji dwuskładnikowej dwufazowej. Uzyskane rezultaty wskazują na możliwość znacznej oszczędności energochłonności realizowanych procesów przez obniżenie strumienia czynnika fluidyzującego, a także znaczną poprawę przebiegu procesu technologicznego. Prowadzone równoczesne badania zjawisk wymiany masy i ciepła w procesach fluidyzacji dwuskładnikowej i dwufazowej nie prezentowane w niniejszej pracy wskazują na możliwość intensyfikacji procesów zarówno suszenia, jak i odgazowania lub zgazowania. Wprowadzony do warstwy materiał dodatkowy w zależności od potrzeby może być czynnikiem absorbującym (np. wilgoć w procesie suszenia), dostarczającym energię (proces zgazowania), a przede wszystkim stabilizującym przebieg samego procesu fluidyzacji takich materiałów, których fluidyzacja jest trudna lub prawie niemożliwa.

Spis oznaczeń

- d_z - średnica ziarna, m
- d_o - średnica otworu, m
- H - wysokość warstwy materiału, m
- H_{st}, H - wysokość warstwy materiału nieruchomego, m
- H_f - wysokość warstwy fluidalnej, m
- H_1 - wysokość warstwy nieruchomej materiału 1, m
- H_m - wysokość warstwy nieruchomej materiału m, m
- u - prędkość przepływu gazu, m/s
- u_{mf} - minimalna prędkość fluidyzacji, m/s
- u_f - prędkość fluidyzacji, m/s

- u_t - prędkość graniczna transportu pneumatycznego, m/s
 δ - parametr zastępujący wymiar charakterystyczny elementu, m,
 δ_i - parametr zastępujący wymiar charakterystyczny elementu materiału i, m
 Δp_w - spadek ciśnienia w warstwie, N/m²
 ρ_m - pozorna gęstość masy, kg/m³
 ρ_i - pozorna gęstość masy materiału i, kg/m³
 ρ_n - nasypowa gęstość masy, kg/m³

LITERATURA

- [1] Wandrasz J., Włodarczyk A., Cielniaszek S.: Badania nad doborem elementu rozdzielczego w procesach fluidalnego spalania lub zgazowania substancji nieokreślonego kształtu. Cosp. Pal. i Energię 1/1983, ss. 9-12.
- [2] Wandrasz J., Zieliński J.: Procesy fluidalne utylizacji odpadów. Monografia. Ossolineum, Wrocław 1984.
- [3] Wandrasz J., Włodarczyk A.: Identyfikacja parametru zastępującego wymiar liniowy materiału dyspersyjnego nieokreślonego kształtu. Inż. Chem. i Proc. 3-3-4 698-700, 1982.
- [4] Włodarczyk A.: Badania charakterystyki fluidyzacji materiałów o nieidentyfikowalnej średnicy ziarna. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1981.
- [5] Zieliński M., Rybicki L.: Badanie hydrodynamiki warstwy fluidalnej materiałów o różnych gęstościach. Praca magisterska, maszynopis ITC Pol. Śl., 1983.
- [6] Zelechowski R., Curzytek B.: Badania własności elementów rozdzielczych warstwy fluidalnej. Praca magisterska, maszynopis ITC Pol. Śl., 1982.
- [7] Mathur K.B., Epstein N.: Spouted beds. New York, San Francisco, London 1974 (tłumaczenie na rosyjski Fontanirujuszczij słoż. Chimia, Leningradzkoje otdielienie 1978).

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Władysław Gajewski

Wpłynęło do redakcji w czerwcu 1984 r.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ФЛИДАЛЬНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА С НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ФОРМОЙ

Резюме

В работе представлены исследования а также результаты касающиеся вопросов стабильной работы псевдооживленного двусоставного двухфазового слоя, полученного из материала с формой значительно отбегавшей от формы шара. Стабилизацию эту можно получить путём применения инертного зернистого материала.

FLUIDAL LAYER STABILIZATION FOR THE MATERIAL OF UNDETERMINED SHAPE

S u m m a r y

The paper presents studies on the problem of stable operation of a two-component two-phase fluidizedbed composed by material of shape considerably different from spherical form and their results. Such a stabilization may be received by adaptation of an inert granular material.