

Andrzej WŁODARCZYK

Zakład Urządzeń Chemicznych Energetycznego Wykorzystania Odpadów
Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej w Gliwicach

PODSTAWOWE ZAGADNIENIA HYDROMECHANIKI FLUIDALNEGO REAKTORA DO
SPALANIA I ZGAZOWANIA ODPADÓW STAŁYCH

Streszczenie. W pracy omówiono badania prowadzone nad hydro-
mechaniką procesu fluidyzacji wieloskładnikowej materiałów o nie-
określonym kształcie elementów, takich jak np. zmielone odpady
komunalne. Celem badań jest matematyczny opis hydromechaniki
fluidyzacji wieloskładnikowej. Przedstawiono wyniki badań nad doбором i optymalizacją elementu
rozdzielającego strugę gazu w reaktorze fluidalnym do spalania
czy zgazowania odpadów stałych. Przedstawiono kierunki i cele
dalejszych badań.

1. WSTĘP

Fluidalne zgazowanie trocin i wiórów drzewnych może być metodą uży-
skiwania drogiego i poszukiwanego produktu - węgla aktywnego.

Fluidalne spalanie zmielonych odpadów komunalnych posiada następu-
jące zalety w porównaniu ze spalaniem tradycyjnym:

- większą szybkość spalania,
- mniejszy stosunek niecałkowitego spalania x /mniejsza pozostałość
węgle w popiele/.
- mniejsze niebezpieczeństwo powstawania toksycznych tlenków azotu
w spalinach ze względu na niższe temperatury.

Wyżej wymienione materiały jak i im podobne stanowią jako przedmiot
fluidyzacji odrębną, oryginalną grupę. O przynależności do tej grupy
decydują odrębne własności fizyczne w porównaniu z typowymi materia-
łami ziarnistymi dotychczas fluidyzowanymi. Głównie chodzi tu o skom-
plikowane i zróżnicowane kształty elementów, znacznie odbiegające od
kształtu kulistego, ich skłonność do wzajemnego szczepiania, dużą poro-
watość spoczynkową warstwy E_0 , niską gęstość pozorną i usypową.

Wymienione własności powodują, iż owe materiały wymagają odrębnego, specjalnego ich traktowania zarówno pod względem organizacji procesu fluidyzacji, jak i pod względem jego opisu matematycznego.

Materiały należące do tej grupy zwane będą materiałami o nieokreślonym kształcie elementów, a w skrócie MONKE.

2. DOTYCHCZASOWY STAN WIEDZY

Projektowanie i eksploatacja reaktorów fluidalnych wymaga znajomości hydromechaniki procesu. Pozwala to drogą analityczną wyznaczyć właściwe wymiary i proporcje geometryczne, określając właściwe strumienie substancjalne gazu i materiału. W przypadku fluidyzacji z warstwą inertną chodzi dodatkowo o ustalenie możliwości współpracy poszczególnych materiałów ze względu na skłonności separacyjne warstw wieloskładnikowych oraz o ustalenie optymalnych proporcji pomiędzy ilościami materiału głównego i inertnego.

Podstawowymi wielkościami hydromechanicznymi procesu fluidyzacji, niezbędnymi do wyznaczenia przy opisie zjawiska są: spadek ciśnienia w warstwie, porowatość warstwy, minimalna prędkość fluidyzacji oraz optymalna liczba fluidyzacji.

Do dziś brak jest ogólnej teorii opisu zjawiska fluidyzacji z uwagi na jego skomplikowany przebieg.

Brak również równań empirycznych, mających duży zakres stosowności i dobrą dokładność, wiążących wyżej wymienione podstawowe wielkości hydromechaniki fluidyzacji z własnościami fizycznymi warstwy i gazu dla różnych typowych warstw jednoskładnikowych.

Fluidyzacja wieloskładnikowa posiada jeszcze uboższą literaturę, a fluidyzacja MONKE jest praktycznie nie zbadana i nie opisana.

3. REZULTATY DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ WŁASNYCH

Od pewnego czasu w Zakładzie Urządzeń Chemicznych Energetycznego Wykorzystania Odpadów Politechniki Śląskiej prowadzone są badania nad fluidyzacją MONKE [1 + 8]. Wyniki dotychczasowych badań pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Wprowadzenie MONKE w stan fluidalny napotyka na znaczne trudności spowodowana dużą porowatością warstwy spoczynkowej, co ułatwia przechodzenie gazu pomiędzy jej cząstkami bez fluidyzacji.
2. Fluidyzację MONKE cechują silne zjawiska niejednorodności, takie jak: kanałowanie, pęcherzowanie, aczepianie wzajemne cząstek i uniesienie warstwy w całości w górę kolumny w postaci korka /tłokowanie/.
3. Ograniczenie wyżej wymienionych trudności realizacji procesu i jego niejednorodności osiągnięto przez zastosowanie elementu rozdzielającego strugę gazu o specjalnej konstrukcji [5], [6]. Jest to ruszt zawirowujący strumień gazu. Gaz zostaje wprowadzony do kolumny poprzez szczeliny rusztu i skierowany poprzez kierownice strugi ukośne w stosunku do powierzchni przekroju poprzecznego kolumny.
4. Opracowano metodykę wyznaczania średniego zastępczego wymiaru liniowego elementu warstwy MONKE, uwzględniającego kształt /zawierającego w sobie współczynnik kształtu/, porowatość, szorstkość powierzchni i inne własności fizyczne. Metoda oparta jest na pomiarze oporów przepływu przez nieruchomą warstwę MONKE i wyznaczaniu wartości parametru δ równań w postaci bezwymiarowej. Szczegółowo metodykę opisano w pracach [1] i [2].

4. FLUIDYZACJA MONKE Z MATERIAŁAMI INERTNYMI

Kolejnym obecnie realizowanym działem badań nad fluidyzacją MONKE jest hydromechanika ich fluidyzacji wspólnie z typowymi materiałami ziarnistymi, takimi jak: piasek, szamot czy korund [8] i [9].

Zamierzeniem autorów jest przeprowadzenie kompleksowych badań jakościowych i ilościowych takiej fluidyzacji wieloskładnikowej.

Wynikiem badań ma być opis matematyczny hydromechaniki fluidyzacji wieloskładnikowej. Wyniki badań wraz z opisem powinny umożliwić projektantom i użytkownikom reaktorów fluidalnych uzyskiwanie danych do właściwego doboru:

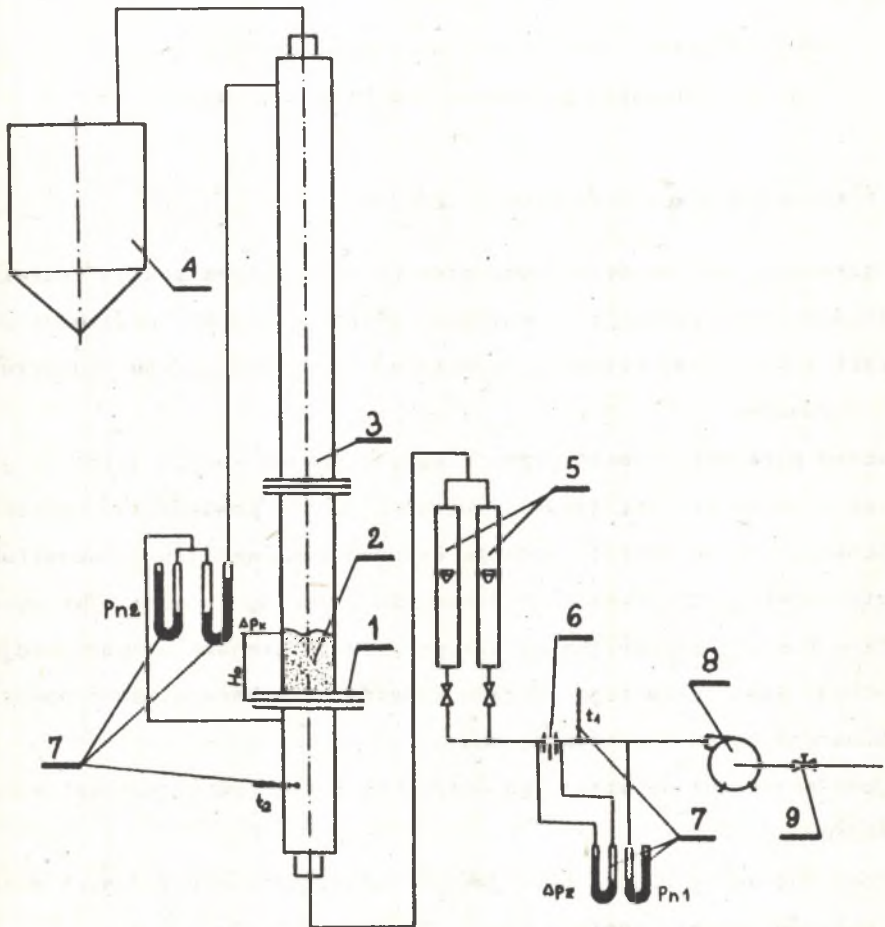
- wymiarów geometrycznych reaktora,
- rodzaju, kształtu i powierzchni swobodnej elementu rozdzielającego strugę gazu fluidyzującego /rusztu/,
- wentylatora lub innego urządzenia napędowego,
- udziału materiału inertnego w warstwie,
- pozostałych parametrów pracy.

Badania prowadzone są na stanowisku pomiarowym przedstawionym schematycznie na rys. 1. Głównym elementem jest przezroczysta kolumna fluidalna 3 o przekroju kołowym i średnicy wewnętrznej $D = 0,140$ m /weryfikację przeniesienia skali dokonuje się w kolumnach o średnicy $D_1 = 0,3$, $D_2 = 0,4$ m i kolumnie o przekroju kwadratowym Φ $0,3 - 0,3$ m/.

W dolnej części kolumny montowane są ruszty 1. Na ruszt usypywana jest warstwa wieloskładnikowa 2. Powietrze z wentylatora 8 wędruje pod ruszt kolumny przez rotametry 5 lub kryzę ISA z pomiarem przytarczowym 6. Stanowisko posiada również układ pomiarowy ciśnień i temperatur 7. Za kolumną zainstalowano osadnik pyłów 4.

Jako wieloskładnikową warstwę fluidalną stosuje się układy A, A+C, A+D, B, B+C, B+D następujących składników A, B, C, D:

- A - zmielone i suszone odpady komunalne o znanym składzie morfologicznym i różnych stopniach rozdrobnienia określanych poprzez wielkość parametru δ ,
- B - trociny i wióry drzewne o różnych średnich wielkościach elementów określonych poprzez wielkość parametru δ ,
- C - piaski o różnych granulacjach,
- D - szamot o różnych granulacjach.



Rys. 1. Schemat instalacji badawczej:
 1 - ruszt, 2 - warstwa, 3 - kolumna, 4 - odbieralniki
 gazu, 5 - rotometry, 6 - zwężka pomiarowa, 7 - układ
 pomiaru temperatur i ciśnień, 8 - wentylator,
 9 - zawór regulacyjny

Fig. 1. Flow diagram of the investigation stand:
 1-grate, 2-fluid bed, 3-column, 4-dust separator,
 5-rotameters, 6-measuring orifice plate, 7-temperatures
 and pressures control system, 8-fan, 9-regulating valve

Badania polegają na analizie wzrokowej procesu fluidyzacji i analizie wyznaczonych charakterystyk, głównie w układzie $\Delta p_w = f / u /$, gdzie:

Δp_w - spadek ciśnienia w warstwie, N/m^2

u - pozorna prędkość gazu w kolumnie, m/s .

5. DOBÓR RUSZTU REAKTORA FLUIDALNEGO

Pierwszy etap obecnych badań miał na celu optymalizację kształtu, szczegółów konstrukcyjnych, wymiarów geometrycznych i wielkości powierzchni swobodnej elementu rozdzielającego strugę gazu fluidyzującego - rusztu.

Właściwe parametry geometryczne i konstrukcyjne rusztu determinują bowiem w dużym stopniu jakość fluidyzacji. Jak powiedziano wcześniej /w punkcie 3/, poprzednie badania autorów doprowadziły do konstrukcji rusztu zapewniającego najkorzystniejszy przebieg procesu fluidyzacji MONKE - rusztu zawirowującego strugę gazu. Niniejsza optymalizacja dotyczyła więc tylko tego rodzaju rusztów. Przebadano sześć podstawowych wariacji rusztu zawirowującego.

Podstawowe ich parametry geometryczne i konstrukcyjne zestawiono w tabelicy 1.

Podstawą oceny rusztu była jakość fluidyzacji wymienionych poprzednio układów wieloskładnikowych /A, B, A+C, A+D, B+C, B+D/.

Jakość fluidyzacji oceniano wg następującego przyjętego układu kryteriów:

- jednorodności fluidyzacji,
- maksymalnej szerokości pasma fluidyzacji, rozumianej jako względna różnica pomiędzy prędkością początku transportu pneumatycznego $u_{p.t.}$ a minimalną prędkością fluidyzacji u_{mf} :

$$(u_{p.t.} - u_{mf}) / u_{mf} \rightarrow \max$$

- maksymalny względny zakres wysokości spoczynkowych warstwy H_0 , dla

których fluidyzacja jest uzyskiwana:

$$(H_o \text{ max} - H_o \text{ min}) / H_o \text{ min} \rightarrow \text{max}$$

Tablica 1

Parametry geometryczne i konstrukcyjne badanych rusztów

Nr rusztu	Udział pow. swobodnej β , %	Liczba szczelin wypływu gazu	Liczba kierunków zawirowań	Kąt pochylenia kierownicy α , °
1	4	4	1	50
2	5	4	1	30
3	6	48	2	10; 40; 45
4.1.	4	16	2	30
4.2.	7	16	2	30
4.3.	10	16	2	30
4.4.	16	16	2	30
5.	8	40	4	30
6	12	249	1	15

Na podstawie tych kryteriów prowadzono obserwacje i analizę wyników pomiarów przedstawionych na charakterystykach $\Delta p_w = f / u /$ oraz charakterystykach częstotliwościowych.

Jednorodność fluidyzacji określano wielkością i intensywnością występowania pęcherzowania, kanałowania, tłokowania i szepiania cząstek.

Wartości minimalnej prędkości fluidyzacji zdejmowano z charakterystyk $\Delta p_w = f / u /$. Definiowano je jako punkt rozdzielenia charakterystyk wyznaczanych przy wzrastającej prędkości gazu i charakterystyki powrotnej. Pomiarów dokonywano rejestrując spadki ciśnienia powietrza w warstwie i na ruszcie Δp_c zmieniając skokowo strumień gazu. Oddzielnie zdjęte charakterystyki oporów przepływu przez ruszty Δp_r pozwoliły obliczać wartości spadku ciśnienia w warstwie Δp_w :

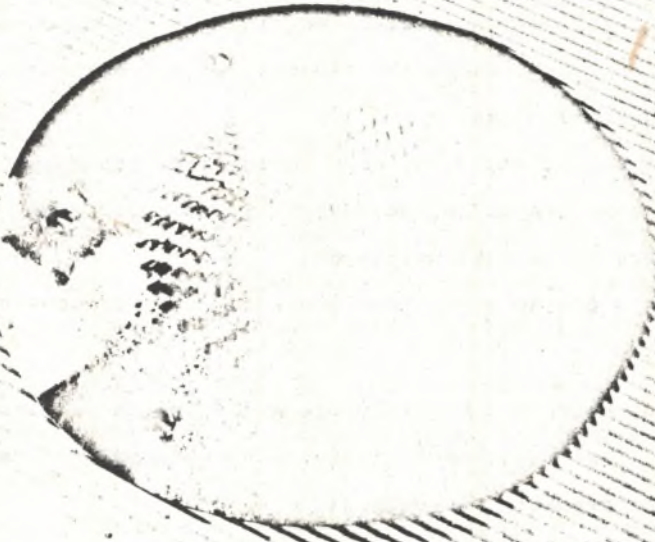
$$\Delta p_w = \Delta p_c - \Delta p_r$$

Wysokości spoczynkowe warstwy zmieniono w zakresie $H_0 = 0,04 + 0,21$ m, co odpowiada stosunkowi H_0/D w granicach $0,3 \leq H_0/D \leq 1,5$.

Przeprowadzono liczną serię pomiarów dla wszystkich wymienionych układów /A+D/ wieloskładnikowych i przy różnych wysokościach spoczynkowych warstw H_0 . We wszystkich przypadkach stwierdzono jakościowe analogie zjawisk przy różnych ich intensywnościach.

Wyniki badań pozwoliły sformułować następujące wnioski szczegółowe:

1. Proces fluidyzacji wieloskładnikowej materiałów o nieokreślonym kształcie elementów - MONKE realizowany na rusztach zawirowujących przebiega odmiennie niż na tradycyjnych elementach rozdzielczych strugi gazu, takich jak perforowane, porolityczne czy kołpakowe. Należy tu zwrócić uwagę na dwa charakterystyczne zjawiska typowe dla rusztów zawirowujących. Pierwsze dotyczy fazy rozruchowej, przy prędkościach gazu poniżej prędkości początku fluidyzacji. Przy użyciu rusztów klasycznych w warstwie tworzą się pionowe kanały, którymi przechodzi więkzość gazu. Przy użyciu rusztów zawirowujących energia wpływających ukośnie strug zużywana jest częściowo na naruszenie struktury warstwy i zniszczenie istniejącej sieci kanałów. Ułatwia to wydatnie wprowadzenie warstwy MONKE w stan fluidalny. Drugą cechą charakterystyczną to wirowy ruch dolnej części warstwy wokół osi kolumny w stanie fluidyzacji rozwiniętej.
2. Analiza wyników pomiarów i charakterystyk fluidyzacji na podstawie przedstawionego powyżej układu kryteriów pozwoliła wybrać najodpowiedniejszy ruszt zawirowujący. Jest nim ruszt nr 6 wg tablicy 1. Spełnia ona najpełniej wszystkie kryteria. Ruszt ten przedstawiono na fotografii 1. Konstrukcję jego oparto na rozwiązaniu półki absorpcyjnej Kittela. Powierzchnię swobodną rusztu dobrano eksperymentalnie.



Fot. 1. Wybrany ruszt zawirowujący strugę gazu

Fot. 1. Selected shape of a grate swirling the gas stream

3. Wyniki pomiarów i obserwacji wykazały ponadto, że najwyższą jakość fluidyzacji uzyskiwano dla warstwy nie poruszającej się ruchem wirowym. Dlatego przyjęto za prawidłowy taki sposób fluidyzacji, w którym wypływające ukośnie strugi gazu nie powodują wirowania warstwy, a ich energia zużywa się głównie na rozbięcie struktury warstwy, co przeciwdziała zjawiskom niejednorodności, a przede wszystkim kanałowaniu i sczepianiu się cząstek. Uzyskuje się to przez odpowiedni kąt pochylenia kierownic rusztu i dużą ilość szczelin. Wymogi te spełnia najlepiej również wybrany ruszt 6.

6. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Dalsze badania, jak powiedziano wcześniej, mają doprowadzić do opisu matematycznego hydromechaniki fluidyzacji wieloskładnikowej. W szczególności przewidziane jest:

1. Określenie prawidłowych warunków fluidyzacji poprzez:
 - a/ wyznaczenie granic jakościowych i ilościowych zjawisk separacyjnych warstw wieloskładnikowych,
 - b/ ustalenie granic właściwych stępień objętościowych składników warstw.
2. Znalazienie postaci i współczynników liczbowych korelacji pozwalających obliczać podstawowe wielkości hydromechaniki, takie jak:
 - minimalna prędkość fluidyzacji,
 - optymalna liczba fluidyzacji,
 - porowatość warstwy wieloskładnikowej,
 - opory przepływu przez warstwę.
3. Weryfikowanie wyników badań w reaktorze fluidalnym z warstwą gorącą.
4. Badanie wymiany ciepła i masy w wieloskładnikowej warstwie fluidalnej.
5. Badanie procesów suszenia w wieloskładnikowej warstwie fluidalnej.

LITERATURA

1. Włodarczyk A.: Badania charakterystyk warstwy fluidalnej utworzonej z materiału o nieidentyfikowalnej średnicy ziarna - rozprawa doktorska, Biblioteka Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.
2. Wandrasz J., Włodarczyk A.: Inż. Chem. i Proces. 3, 3-4, 689-700 /1982/.
3. Wandrasz J., Włodarczyk A.: The testing of the Fluidization Layer Properties of the Material of nonidentified Grain Diameter - 7th International Congress of Chemical Engineering, Chemical Equipment Design and Automation CHISA-81 - Praha, Czechosłowacja 1981.

4. Wandrasz J., Włodarczyk A.: Inż. Cham. i Proces. 5 , 2, 333-346 /1984/.
5. Wandrasz J., Włodarczyk A., Cielniaszek S.: Gospodarka Paliwami i Energią 1/1983.
6. Wandrasz J., Włodarczyk A., Cielniaszek S.: Opie patentowy 132315. Ruzyt do aparatów i urządzeń z warstwą fluidalną, 1985,12, 31.
7. Wandrasz J., Włodarczyk A.: Die Untersuchungen der Wirbelschicht der Materialien von Unidentifizierten Partikelndurchmesser - MER-3 - III. Internationale Symposium - Antwerp 1986-03-1720, Belgia.
8. Włodarczyk A.: Hydromechanik der Wirbelschichtfeuerung bei verschiedenen Abprodukten - 5 Fachtagung Thermischer Apparatebau - Magdeburg 1986.
9. Wandrasz J., Włodarczyk A., Pyka M.: Centralny Program Badań Podstawowych Nr O2.18, Zadanie 2.1.2.2. Dynamika warstwy fluidalnej wieloskładnikowej, Etap 1 1986.

Wpłynęło do Redakcji: grudzień 1986 r.

Recenzent:

Doc.dr hab.inż. Leon Troniewski

BASIC QUESTIONS ON HYDROMECHANICS OF FLUID-BED WASTES INCINERATION AND GASIFICATION REACTOR

S u m m a r y

The paper presents investigations on multi-component fluidization hydromechanics of materials being of non-determined particle shape, such as for example milled municipal waste. Investigations tend towards a mathematical description of a multi-component fluidization hydromechanics. Research works concerned with the choice of a grate and its optimization from the point of solid wastes incineration and gasification reactor are presented. Such a grate considerably

limiting the heterogeneity phenomena was a grate realizing a swirl of gas stream. Its design details are based on Kittel absorption plate. The paper presents also trends of further investigations the aim of which is detailed qualitative and quantitative description of multi-component fluidization.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕХАНИКИ ФЛЮИДАЛЬНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ СЖИГАНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ

Резюме

В работе рассмотрены исследования, проводимые на гидромеханике процесса многосоставной флюидации материалов неопределённой формы элементов, такие как, например, измельчённые коммунальные отходы.

Цель исследований – математическое описание гидромеханики многосоставной флюидации.

В статье представлены результаты исследований подбора и оптимизации элемента, разделяющего струю газа во флюидальном реакторе для сжигания или газификации твёрдых отходов.

В работе представлены также направления дальнейших исследований, цель которых – проведение подробного качественного и количественного описания.