

Stanisław BOBRZYK

Politechnika Łódzka

Ośrodek Aparatury Naukowej

ZASTOSOWANIE APARATURY PIEZOELEKTRYCZNEJ DO BADANIA

STRUKTURY ZŁOŻA DWUFAZOWEGO

Streszczenie: W referacie omówiono budowę stoiska badawczego oraz zastosowanie opracowanego układu pomiarowego w badaniach złożeń dwufazowych gaz-faza stała przy wykorzystaniu sondy piezoelektrycznej.

1. Wprowadzenie

Efektywność procesów transportu masy i ciepła w gazowym złożu fluidalnym jest zależna od struktury złożeń. Jednym ze sposobów oddziaływania na strukturę złożeń jest niestacjonarne zasilanie, powodujące zmianę jego dynamiki. W celu przeprowadzenia ilościowej analizy dynamiki złożeń dwufazowych w Ośrodku Aparatury Naukowej Politechniki Łódzkiej skonstruowano specjalną aparaturę pomiarową, wyposażoną w sondy zanurzeniowe typu piezoelektrycznego oraz pojemnościowego. Sondy pojemnościowe wykorzystano do badań struktury pęcherzykowej, zaś sondy piezoelektryczne zastosowano do pomiaru lokalnych, podstawowych parametrów ruchu cząstek fazy stałej w złożu dwufazowym /gaz-faza stała/.

Działanie sondy piezoelektrycznej polega na tym, że impuls mechaniczny pochodzący od zderzenia ziaren fazy stałej z sondą - zamieniany zostaje na impuls elektryczny. Wielkość tego impulsu zależy od ilości ruchu pojedynczego ziarna lub lokalnego strumienia masy. Sonda współpracuje ze specjalną aparaturą wzmacniającą, która umożliwia pomiar oraz rejestrację zarówno prędkości i kierunku przepływu, jak również częstotliwości zderzeń.

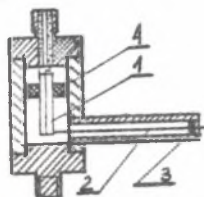
2. Budowa sondy piezoelektrycznej

Podstawowym elementem sondy, przeznaczonej do pomiaru prędkości ziaren w złożu dwufazowym, jest przetwornik piezoelektryczny, tj. urządzenie przetwarzające działanie siły na ładunek elektryczny. Jego istotną częścią jest czujnik, w kształcie beleczki o przekroju prostokątnym i wymiarach $17 \times 6 \times 0,3$ mm, wykonany z ceramiki piezoelektrycznej $BaTiO_3 - PbTiO_3$. Powierzchnie boczne beleczki pokryte napyłoną warstwą srebra, stanowiącą

elektrody czujnika. Z uwagi na niską temperaturę Curie zastosowanego materiału piezo, odprowadzenia elektrod nie mogły być lutowane, a dla uzyskania połączeń zastosowano specjalny klej przewodzący. Oryginalnym rozwiązaniem konstrukcji sondy jest zastosowanie igły jako elementu wyłapującego uderzenia. Opracowaną konstrukcję sondy przedstawiono na rys. 1. Jej zasadniczymi elementami są:

- 1 - element piezoelektryczny,
- 2 - igła pomiarowa,
- 3 - rurka,
- 4 - wkładka gumowa twarda.

Dla zredukowania zakłóceń złoza w punkcie pomiaru, a jednocześnie zapewnienia maksymalnej czułości sondy, igła /o średnicy 0,35 mm/ została zamocowana prostopadle do elementu piezoelektrycznego /rys. 1/.



Rys. 1. Schemat budowy piezoelektrycznej sondy igłowej.

Igłę osłonięto rurką stalową o średnicy wewnętrznej 3 mm, a przy wylocie rurki podparto ją za pomocą wkładki poliuretanowej. Wkładka ta spełnia rolę tłumika drgań, wywołanych bombardowaniem końca igły przez ziarna. Długość nieosłoniętego, tj. wystającego poza rurkę osłonową, końca igły można zmieniać dobierając ją odpowiednio do średnicy ziaren. W przypadku dużej ilości ziaren, których wymiary są tego samego rzędu co długość nieosłoniętego końca igły, uderzenie pochodzące od każdego ziarna może być zarejestrowane indywidualnie. Każde uderzenie pojawia się

wówczas na ekranie oscyloskopu jako oddzielny impuls, którego amplituda jest proporcjonalna do ilości ruchu $/m \cdot v/$ ziarna. Znając zatem wielkość impulsu oraz masę ziaren można wyznaczyć ich prędkość.

Częstość impulsów pochodzących od zderzeń z ziarnami zależy od prędkości ziaren i odległości pomiędzy nimi. Jeżeli prędkość ta jest znana, to można ocenić porowatość złoza fluidalnego w przepływie.

W przypadku małych ziaren, długość wystającego poza osłonę końca igły jest rzędu pewnej wielokrotności ich średnic i wówczas impulsy na ekranie oscyloskopu nie są pojedyncze. W wyniku interferencji pojedynczych impulsów, wysokość zmierzonych impulsów zależy zarówno od uderzenia, jak i częstości. W tym przypadku związek pomiędzy wysokością impulsu i prędkością ziaren jest funkcją porowatości złoza, a wielkość przeciętnego impulsu jest miarą strumienia masy $/\xi \cdot v/$.

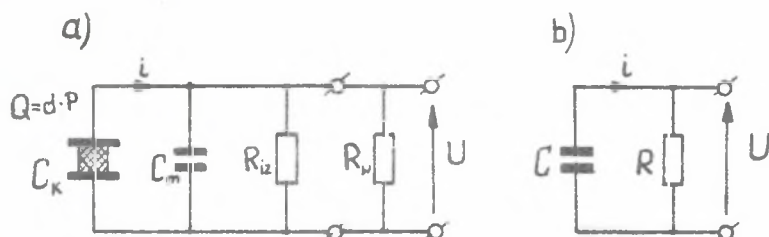
3. Budowa układu przetwarzania sygnału piezoelektrycznej sondy.

W celu umożliwienia ciągłego pomiaru lokalnych prędkości ziaren fazy stałej lub strumienia masy podczas procesu fluidyzacji, sonda piezoelektryczna musi współpracować ze wzmacniaczem napięciowym lub wzmacniaczem ładunku. Wzmacniacz powinien uwzględniać jako podstawowe założenie, wiel-

kość i zakres zmienności sygnału wejściowego. Przy przewidywanych parametrach pracy złoza przewiduje się, że prędkości lokalnie cząstek będą zawierały się w granicach od 0 do 15 [cm/s]. W związku z powyższym - przy wyznaczonej czułości przetwornika piezoelektrycznego, równej $S = 17,2$ $\left[\frac{\mu V}{\frac{cm}{s}} \right]$ - sygnał wejściowy będzie się zmieniał impulsowo w zakresie od 0 do 0,258 [mV].

Ze względu na dużą czułość przetwornika piezoelektrycznego przyjęto wersję wzmacniacza napięciowego.

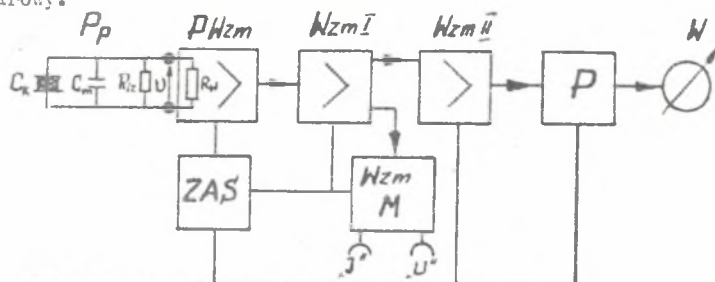
Z analizy schematu zastępczego przetwornika piezoelektrycznego /rys.2a/ wynika, że prędkość z jaką maleje napięcie U na zaciskach piezoelektryka zależy od stałej czasowej $T = R \cdot C$ układu pomiarowego /rys.2b/.



Rys. 2. Schematy zastępcze układu pomiarowego przetwornika piezoelektrycznego:

a/ Schemat rozwinięty, b/ schemat z rezystancją wypadkową R .

Z uwagi na szeroki zakres częstotliwości, jaki może wystąpić w procesie fluidyzacji, należy zapewnić dużą wartość stałej czasowej T . Zwiększenie rezystancji R jest ograniczone wartością rezystancji izolacji R_{iz} , która ponadto może się zmniejszać w wyniku zmian temperatury, wilgoci, pyłu itp. Pojemność C - będąca wypadkową pojemności elementu piezo i pojemności układowej - nie może być dowolnie powiększona ze względu na zmniejszenie czułości. Aby uzyskać dużą wartość R stosuje się wzmacniacze napięciowe o dużej rezystancji wejściowej. Dużą rezystancję wejściową wzmacniaczy uzyskuje się dzięki zastosowaniu tranzystorów polowych. Biorąc pod uwagę wszystkie cechy charakteryzujące pracę tego przetwornika piezoelektrycznego pod względem pomiarowym skonstruowano napięciowy wzmacniacz pomiarowy.



Rys. 3. Schemat blokowy wzmacniacza pomiarowego.

Schemat blokowy wzmacniacza pomiarowego przedstawiono na rys. 3, na którym poszczególne symbole literowe oznaczają:

- Pp - przetwornik piezoelektryczny,
- PWzm. - przedwzmacniacz,
- Wzm.I - pierwszy stopień wzmacnienia,
- Wzm.II - drugi stopień wzmacnienia,
- Wzm.M - wzmacniacz mocy,
- "J" - wyjście prądowe,
- "U" - wyjście napięciowe,
- P - blok pamięci,
- W - wskaźnik analogowy,
- Zas. - zasilacz stabilizowany.

Stopniem wejściowym dla piezoelektrycznej sondy do pomiaru prędkości fazy stałej jest przedwzmacniacz o rezystancji wejściowej $R_w = 400 [M\Omega]$ i o $6 [dB]$ wzmacnienia sygnału wejściowego. Przedwzmacniacz ma za zadanie zwiększenie stałej czasowej $T = R \cdot C$ w napięciowym wzmacniaczu pomiarowym. Sygnał z przedwzmacniacza podawany jest na I-szy stopień wzmacniacza pomiarowego. Z wyjścia stopnia pierwszego sygnał podawany jest równolegle na wejście wzmacniacza mocy i na II-gi stopień wzmacniacza pomiarowego.

Wzmacniacz mocy ma dwa wyjścia: napięciowe i prądowe. Pierwsze z nich przeznaczone jest do podłączenia licznika impulsów oraz oscyloskopu. Wyjście prądowe służy do podłączenia oscylografu pętlicowego. Do wyjścia stopnia drugiego dołączony jest blok pamięci, na wyjściu którego znajduje się woltomierz W/mierzający zawartość pamięci. Należy dodać, iż obydwie stopnie wzmacniacza pomiarowego mają skokowo regulowane wzmacnienie.

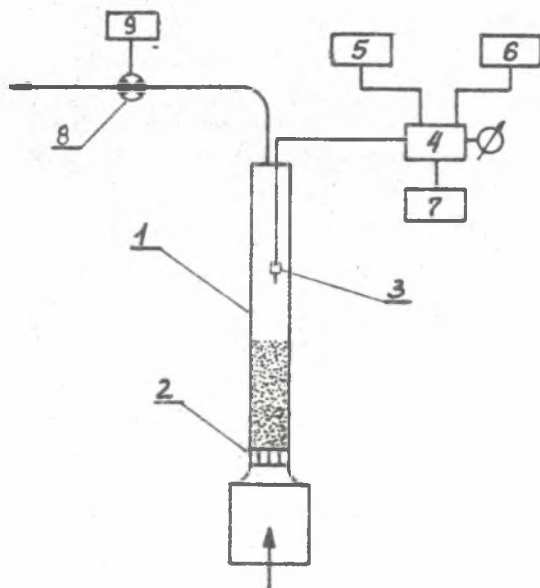
Na podstawie dokonanych pomiarów i obliczeń stwierdzono, że cały tor pomiarowy od przetwornika piezoelektrycznego aż po wyjście analogowe bloku pamięci jest liniowy w zakresie częstotliwości od $10 [Hz]$ do $15 [kHz]$.

4. Badania wstępne

W ramach badań prowadzonych nad konstrukcją i wykorzystaniem piezoelektrycznych sond, współpracujących z napięciowym wzmacniaczem pomiarowym /do pomiarów prędkości fazy stałej w złożu dwufazowym gaz-faza stała/

w Ośrodku Aparatury Naukowej Politechniki Łódzkiej opracowano i wykonano podstawowe zespoły omówionego wyżej /rys. 3/ toru pomiarowego. Przydatność skonstruowanego z tych bloków układu pomiarowego do pomiaru prędkości fazy stałej w złożu dwufazowym, została sprawdzona praktycznie badaniami, przeprowadzonymi w specjalnie wykonanym stoisku pomiarowym, przedstawionym schematycznie na rys. 4.

W płaskiej kolumnie fluidyzacyjnej zainstalowano piezoelektryczną sondę igłową do pomiaru prędkości fazy stałej. Mocowanie sondy rozwiązano w taki sposób, aby w czasie pomiarów można było zmieniać jej położenie względem złoża. Ma to duże znaczenie, gdyż nie zmieniając parametrów przepływu można dokonywać pomiarów lokalnych prędkości ziaren na różnych wysoko-



Rys.4. Schemat stoiska z aparaturą pomiarową:
 1 - płaska kolumna, 2 - dystrybutor,
 3 - sonda piezoelektryczna, 4 - napięciowy wzmacniacz pomiarowy, 5 - oscylograf pętlicowy, 6 - licznik impulsów, 7 - oscyloskop, 8 - zawór, 9 - synchronizator.

ciach kolumny w czasie fluidyzacji. Badania prowadzono w monodispersyjnym złożu cząstek, złożonym z kulek szklanych o średnicach od 0,6 do 1 [mm] - dla dwóch różnych wysokości usypowych złoża, przy zasilaniu stałojonarnym i okresowo zmiennym. Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że zgodność wyników pomiarów ze zjawiskami zachodzącymi w złożu jest dobra. Potwierdza to możliwość stosowania tego typu sond oraz zaproponowanego toru pomiarowego w odpowiednich układach, dostosowanych do konkretnych zagadnień pomiarowych. Dalszym istotnym zagadnieniem, przy szerszym ujęciu tego typu badań, jest problem ich automatyzacji, a w tym uzyskiwanie wyników zbiorczych i danych statystycznych.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДВУХФАЗНОГО ЗАЛЕЖИЯ

Резюме

В работе обсуждено применение измерительной системы для исследования двухфазного залежия: газ - твердое тело. В этой системе была использована специальная пезоэлектрическая зонда. Представлено также построение испытательной установки.

APPLICATION OF PIEZOELECTRIC APPARATUS TO INVESTIGATION
OF DIPHAASE BED STRUCTURE

S u m m a r y

In the paper an application of the worked out measurement system to investigation of diphaase bed: gas - solid phase is discussed. In this system the special piezoelectric sounder is used. The construction of the test stand is also presented.