

PAWEŁ BUDZYŃSKI
MAGDALENA ORCZYKOWSKA
MAREK DZIUBIŃSKI

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Hydrodynamika przepływu pęcherzy powietrza przez warstwy cieczy o złożonych właściwościach reologicznych w kolumnie pulsacyjnej

Wprowadzenie

Reaktory pulsacyjne z przegrodami lub bez stosuje się w celu zintensyfikowania wymiany masy w układzie ciecz-gaz, z zachowaniem sterylności oraz równomiernego rozkładu faz w objętości reakcyjnej. Podstawowym problemem na etapie projektowym takich reaktorów jest określenie geometrycznych szczegółów konstrukcyjnych reaktora w powiązaniu z zakresem zmian wprowadzanych do fazy ciągłej pulsacji dla układu ciecz – gaz o określonych właściwościach fizykochemicznych. Jak wynika z przeglądu literatury przedmiotu badania te poświęcone są jedynie układom ciecz – gaz o właściwościach fizykochemicznych zbliżonych do właściwości faz układu woda-powietrze. Brak jest natomiast doniesień na temat wpływu intensywności pulsacji na hydrodynamikę przepływu gazu przez ciecz o bardziej złożonych właściwościach reologicznych.

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań wpływu intensywności pulsacji fazy ciągłej na stopień zatrzymania gazu dla przepływu powietrza przez warstwę modelowych płynów newtonowskich i nienewtonowskich w reaktorze pulsacyjnym.

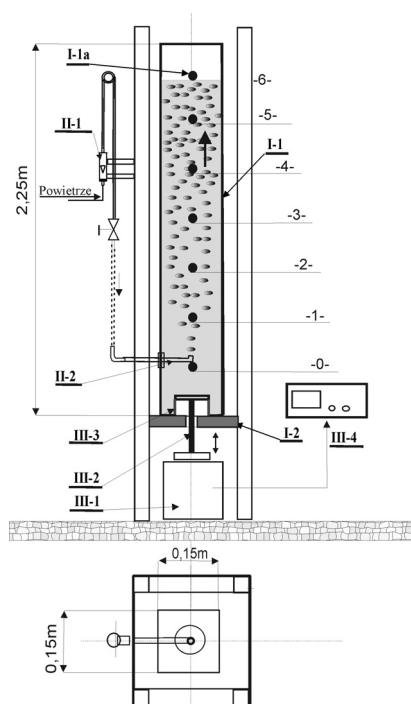
Aparatura doświadczalna i metodyka pomiarów

Badania wpływu częstości i amplitudy pulsacji na stopień zatrzymania powietrza w cieczy wykonano w szklanej barbotażowej kolumnie pulsacyjnej o przekroju kwadratu o boku 0,15 m. Schemat stanowiska doświadczalnego przedstawiono na rysunku 1.

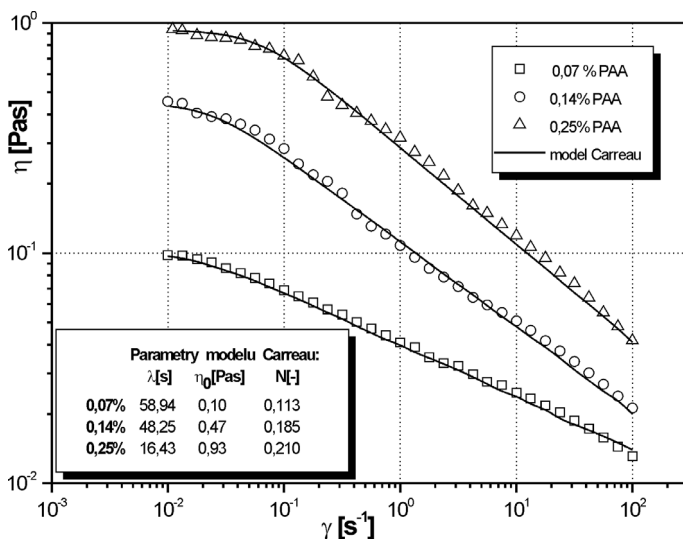
Stopień zatrzymania gazu ϵ określano w oparciu o zmierzoną ilość cieczy, która przelała się przez dolną krawędź otworu (I-1a) znajdującego się w ścianie reaktora (I-1). Krawędź otworu określała poziom lustra cieczy bez pulsacji i przepływu powietrza. Amplitudę pulsacji płytki (III-3) ustalano, ustawiając wielkość przesunięcia mimośrodowo (III-2), a częstość pulsacji poprzez zmianę obrotów silnika (III-1) za pomocą falownika (III-4). Amplitudę zmieniano w zakresie od $A = 0,5$ do 2 mm, a częstości pulsacji od 0 do 100 Hz. Powietrze dostarczano z sieci poprzez rotametr (II-1) i dalej przewodem zakończonym dyszą (II-2) do reaktora. Stosowano dysze o średnicach od $d_o = 0,5$ do 4 mm, a natężenia przepływu powietrza od 50 do 400 dm³/h.

Media doświadczalne

Jako media newtonowskie stosowano: wodę o właściwościach: lepkość $\mu = 0,001$ [Pa·s], napięcie międzyfazowe $\sigma = 726,7 \cdot 10^{-4}$ [N/m], gęstość $\rho = 1000$ [kg/m³] oraz glikol trójetylenowy o właściwościach: $\mu = 0,042$ [Pa·s], $\sigma = 455,0 \cdot 10^{-4}$



Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego



Rys. 2. Krzywe płynięcia 0,07%, 0,14% oraz 0,25% wodnych roztworów PAA

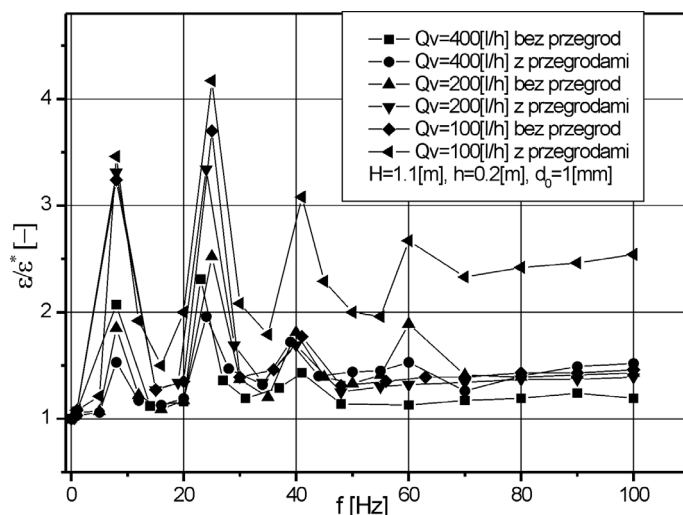
[N/m], $\rho = 1123$ [kg/m³]. Natomiast mediami nienewtonowskimi sprężystolepkimi były wodne roztwory PAA o stężeniach 0,07%, 0,14 % oraz 0,25%. Właściwości reologiczne glikolu i wodnych roztworów PAA zmierzono za pomocą reometru rotacyjnego firmy *Anton Paar*. Właściwości reologiczne wodnych roztworów PAA opisano modelem *Carreau* i wraz z krzywą płynięcia (i parametrami modelu) przedstawiono na rys. 2.

Omówienie wyników i podsumowanie

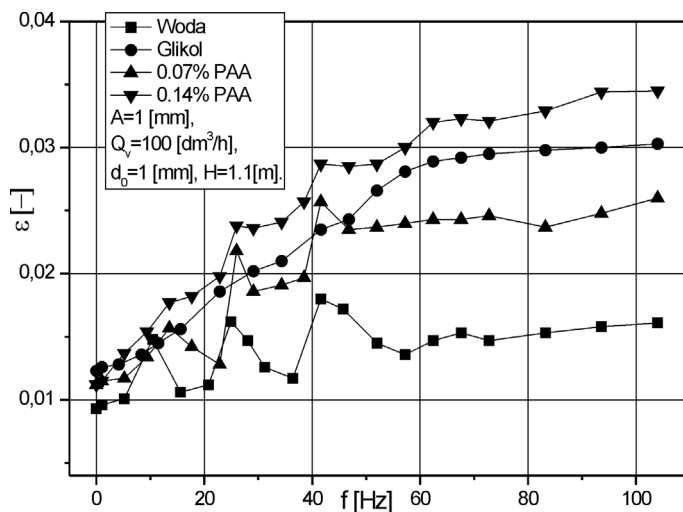
Wybrane wyniki pomiarów stopnia zatrzymania gazu przedstawiono na rys. 3 i 4 jako ε^* stosunek stopnia zatrzymania gazu przy określonych wartościach pulsacji ε_l do stopnia zatrzymania gazu bez pulsacji ε_0 dla przepływu pęcherzy powietrza z tym samym natężeniem przepływu Q_v przez: wodę wodociągową, glikol i wodne roztwory PAA. Analogiczny charakter wpływu pulsacji na stopień zatrzymania gazu w cieczy uzyskano dla innych serii pomiarowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

1. Wzrost częstotliwości pulsacji powoduje niemonotoniczny wzrost całkowitego stopnia zatrzymania gazu. Stwierdzono, że wzrost ten w przypadku kolumn z przegrodami jest nawet do 100% większy niż dla kolumn bez przegród. Z przeprowadzonych badań wynika jednoznacznie, że przy stosowaniu pulsacji o częstotliwościach harmonicznych, rezonansowych dla układu woda – powietrze oraz cieczy (ciecze o lepkości poniżej 25 cP) – powietrze, zaobserwowano istotny bo ponad 400% wzrost stopnia zatrzymania gazu w punktach ekstremalnych (pikach), w których wprowadzono częstotliwości rezonansowe, które z kolei wywołały w kolumnie harmoniczne fale stojące (Rys. 3, 4). Ze wzrostem lepkości cieczy wzrasta tłumienie pulsacji w cieczy i w efekcie ich oddziaływanie na przepływ pęcherzy jest mniejsze, o czym mogą świadczyć mniejsze ekstrema wartości stopnia zatrzymania gazu (Rys. 4).
2. Z analizy danych doświadczalnych przedstawionych na rys. 4 dla 0,14% PAA i glikolu (reprezentujących zbliżone wartości lepkości płynów) można stwierdzić, że wpływ sprężystości roztworów PAA – w zbadanym zakresie pomiarowym – na wielkość stopnia zatrzymania gazu w funkcji częstotliwości pulsacji f nie jest zbyt duży. Natomiast w przypadku roztworu 0,25% PAA wykazującego najsilniejsze właściwości sprężyste i najwyższą lepkość wprowadzane pęcherzyki powietrza o średnicach $d < 1,8$ mm praktycznie zatrzymywały się w płynie nawet bez wprowadzania pulsacji. W efekcie obserwowano zjawisko podobne do procesu „ubijania piany”. Zbadanie wpływu sprężystolepkości płynów na wielkość udziału faz w barbotażowej kolumnie pulsacyjnej wymaga dalszych intensywnych badań,



Rys. 3. Wpływ częstotliwości pulsacji na stopień zatrzymania powietrza w wodzie



Rys. 4. Wpływ częstotliwości pulsacji f na stopień zatrzymania powietrza ε w wybranych płynach newtonowskich i nienewtonowskich

choć należy zdawać sobie sprawę z dużych trudności pomiarowych. Płyny o silnych właściwościach sprężystolepkich są roztworami powodującymi rozproszenie światła, co praktycznie uniemożliwia rejestrację przepływu pęcherzy w świetle widzialnym.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Nr 1 T09C 019 30 finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.