

RAFAŁ RAKOCZY

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na układ dyspersyjny gaz – ciecz

Wprowadzenie

Układy dyspersyjne gaz – ciecz często występują w wielu chemicznych lub biochemicznych procesach i są przedmiotem licznych prac eksperymentalnych [1]. Kształt pęcherza oraz jego zmiany w zależności od parametrów procesowych, mają zasadniczy wpływ na transport masy i ciepła w tego typu układach [2]. Analiza układów dyspersyjnych gaz – ciecz jest dość często poruszana w literaturze przedmiotu a ich ilościowy opis zazwyczaj uwzględnia rozkłady średnic pęcherzy gazu oraz ich ilościowe udziały o określonych rozmiarach. W ostatnich latach można zaobserwować rosnące zainteresowanie wykorzystaniem pól elektrycznych i magnetycznych w inżynierii procesowej. Z praktycznego i naukowego punktu widzenia, ciekawym problemem jest analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na kształt pęcherzy gazu i ich rozproszenie w cieczy. Z przeglądu literatury źródłowej wynika, że wpływ pola magnetycznego na zachowanie się układów z dyspersyjną fazą gazową jest przebadany [3–5] w niewielkim stopniu.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie wyników badań wpływu wirującego pola magnetycznego na wymiary pęcherzy powietrza wznoszących się w nieruchomej fazie ciekłej. Ocenę wpływu indukcji magnetycznej na stan układu dyspersyjnego oparto na analizie zmian średniej średnicy *Sautera*, wyznaczonej na podstawie histogramów rozkładu pęcherzy gazu.

Aparatura doświadczalna i pomiary

Schemat aparatury doświadczalnej został przedstawiony na rys. 1. Wewnątrz generatora wirującego pola magnetycznego umieszczono cylindryczną kolumnę – 1. Do tej kolumny przed i po generatorze – 3 przymocowano prostopadłościenne, napełnione wodą destylowaną kuwety, przeznaczone do wizualnej obserwacji oraz cyfrowej rejestracji zmian kształtów pęcherzy gazu wznoszących się w wodzie wodociągowej, syntetycznym sztucznym ścieku oraz nasyconym roztworze solanki (NaCl) (zakres liczby *Mortona* $Mo = [g\eta_c^4(\rho_c - \rho_g)]\rho_c^{-2}\sigma_c^{-3} = 2,6 \cdot 10^{-11} \div 1,9 \cdot 10^{-9}$).

Eksperymenty przeprowadzono dla powietrza, jako fazy dyspersyjnej, przepływającego przez kolumnę z natężeniem $V = 10$ do $60 \text{ dm}^3\text{h}^{-1}$. Formujące się kształty pęcherzy gazowych rejestrowano cyfrowo dla różnych wartości parametrów procesowych. Zapis cyfrowy umożliwił późniejszą analizę ich wymiarów z wykorzystaniem specjalnego programu przystosowanego do analizy wizualnej (*Matlab Image Tool*). Dla każdego zestawu parametrów procesowych przeanalizowano 250 pęcherzy. Umożliwiło to zgromadzenie obszernej bazy danych, wykorzystywanej w analizie wpływu wirującego pola magnetycznego na kształt pęcherzy powietrza wznoszących się w ośrodkach ciągłych, charakteryzujących się znaczną różnicą przewodności elektrycznej ($\sigma_e = 0,05$ do 24 Sm^{-1}). Jak wynikało z przeprowadzonej analizy, kształt pęcherzy nieznacznie różnił się od kuli. Dlatego też rzeczywistą populację pęcherzy zdecydowano się określić średnią średnicą *Sautera*:

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=1}^N (N_i d_i^3)}{\sum_{i=1}^N (N_i d_i^2)} \quad (1)$$

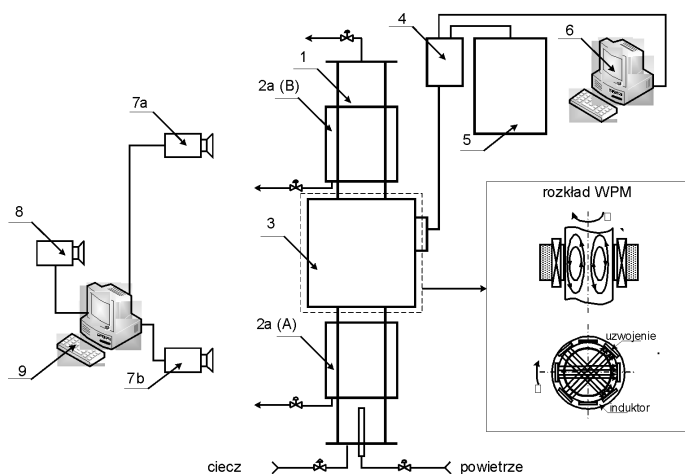
gdzie: N_i – liczebność pęcherzy danego wymiaru, d_i – średnica pęcherza.

Na podstawie wyznaczonych wartości średnicy d_{32} dla dwóch lokalizacji kuwety pomiarowej skonstruowano histogramy, które uzależniono od parametrów operacyjnych. Wartości współczynników asymetrii i kurtozy dla otrzymanych histogramów średnic populacji pęcherzy gazowych wykazały zgodność z rozkładem normalnym.

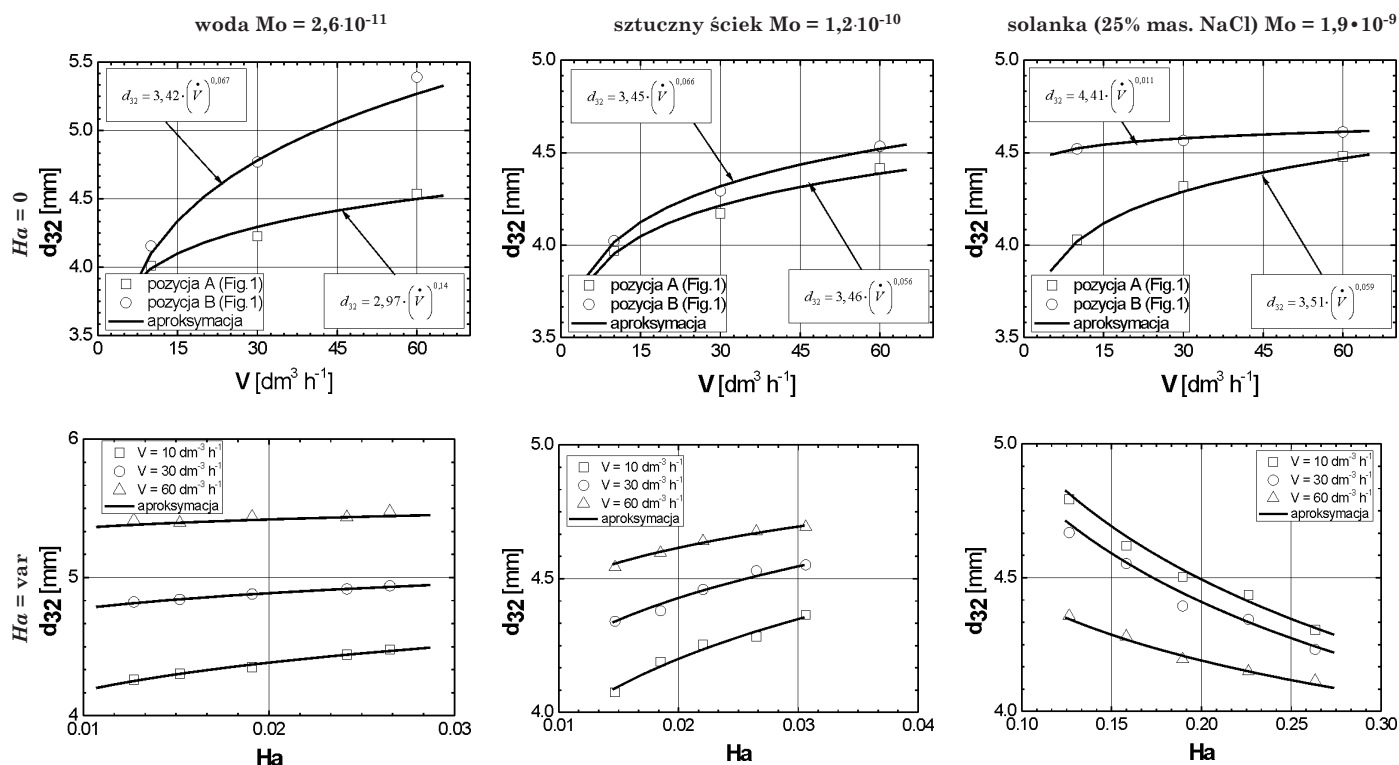
W przypadku prezentowanych wyników, wytwarzane wirujące pole magnetyczne jest charakteryzowane poprzez bezwymiarową liczbę *Hartmana*, proporcjonalną do mocy generowanego pola oraz zdefiniowaną następująco:

$$Ha = BD \sqrt{\frac{\sigma_e}{\eta_c}} \quad (2)$$

gdzie: N_i – indukcja magnetyczna, D – średnica zewnętrzna kolumny, σ_e – przewodność elektryczna, η_c – lepkość cieczy.



Rys. 1. Schemat aparatury doświadczalnej: 1 – kolumna, 2 – prostopadłościenne kuwety (2a – lokalizacja przed generatorem; 2b – lokalizacja po generatorze), 3 – generator wirującego pola magnetycznego, 4 – przemiennik częstotliwości, 5 – skrzynka zasilająca, 6 – komputer, 7 – aparaty cyfrowe, 8 – kamera wideo, 9 – komputer wyposażony w oprogramowanie analizujące-rejestrujące



Rys. 2. Porównanie uzyskanych wartości średnicy Sautera oraz proponowanych zależności aproksymacyjnych

W przypadku wykonanych pomiarów liczba Hartmana zmieniła się w zakresie $Ha = 0,015 \div 0,26$.

Omówienie i dyskusja wyników

Zależności średnicy d_{32} od parametrów procesowych przedstawione graficznie na rys. 2. Zaproponowany układ wykresów pozwolił na jednoczesne porównanie uzyskanych średnic pęcherzy dla różnych punktów wysokości kolumny (bez wpływu wirującego pola magnetycznego $Ha = 0$) oraz dla przypadku zastosowania wirującego pola magnetycznego ($Ha = var$). Na rys. 2 podano również zależności funkcyjne, aproksymujące uzyskane wyniki.

Analiza danych przedstawionych na rys. 2 pozwoliła na sformułowanie opisu analitycznego, określającego zależności średnicy d_{32} od parametrów procesowych:

$$d_{32}(Ha, \dot{V}) = (0,0015\dot{V} + 5,63)Ha^{(-0,001\dot{V} + 0,072)} \quad \text{dla } Mo = 2,6 \cdot 10^{-11} \quad (3)$$

$$d_{32}(Ha, \dot{V}) = (-0,0088\dot{V} + 5,97)Ha^{(-0,0009\dot{V} + 0,093)} \quad \text{dla } Mo = 1,2 \cdot 10^{-10} \quad (4)$$

$$d_{32}(Ha, \dot{V}) = (-0,0034\dot{V} + 3,47)Ha^{(0,0015\dot{V} - 0,17)} \quad \text{dla } Mo = 1,9 \cdot 10^{-9} \quad (5)$$

Na pęcherze gazu przepływające przez nieruchomy słup cieczy działa siła bezwładności, siła napięcia powierzchniowego oraz siła wirującego pola magnetycznego. Z rys. 2 dla wartości liczby Hartmana $Ha = 0$ wynika, że średnica pęcherzy

jest tym większa, im pęcherz bardziej jest oddalony od punktu dozowania gazu. Stwierdzono ponadto, że średnica pęcherzy rośnie również wraz ze wzrostem wydatku gazu oraz wzrostem wartości bezwymiarowej liczby Morton'a.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wirujące pole magnetyczne ma znaczący wpływ na średnicę d_{32} analizowanych pęcherzy. W zakresie przebadanego natężenia wirującego pola magnetycznego ($Ha = 0,015 \div 0,26$) można zaobserwować dwa trendy. W przypadku wody oraz sztucznego ścieku zaobserwowano wzrost średnic pęcherzy. Pęcherze w ścieku osiagają znacznie niższe wartości średnic niż w przypadku wody wodociągowej. Efekt ten może być spowodowany wzrostem napięcia powierzchniowego na skutek obecności pewnych specyficznych substancji, wykorzystanych do produkcji tego medium. Natomiast w przypadku nasyconego roztworu solanki NaCl, jako ośrodka ciągłego, zaobserwowano znaczne zmniejszenie się średnic d_{32} wraz ze wzrostem liczby Hartmana. Efekt ten może być spowodowany wzajemnym oddziaływaniem pola magnetycznego i pola elektrycznego, które jest indukowane w roztworze elektrolitu.

LITERATURA

1. M. Dziubiński: Hydrodynamika przepływu mieszanin dwufazowych ciecz – gaz, Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2005.
2. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.
3. S. Eckert, G. Gerbeth, O. Lielausis: Int. J. of Multiphase Flow **26**, 45 (2000).
4. S. Eckert, G. Gerbeth, O. Lielausis: Int. J. of Multiphase Flow **26**, 67 (2000).
5. C. Zhang, S. Eckert, G. Gerbeth: Int. J. of Multiphase Flow **31**, 824 (2005).