

Marta MAJOR-GODLEWSKA

e-mail: mmajor@zut.edu.pl

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Wytwarzanie zawiesiny w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem szybkoobrotowym

Wstęp

W procesach w wielu gałęziach przemysłu stosowane są układy dwu- lub trójfazowe. W układach dwufazowych ciecz – ciało stałe ważne jest, aby podniesienie z dna zbiornika, czy uzyskanie dobrego rozproszenia cząstek ciała stałego w cieczy następowało przy jak najmniejszym nakładzie energii. W takim przypadku przy projektowaniu aparatury ważny jest odpowiedni dobór układu zbiornik wyposażony w przegrody – mieszadło.

W literaturze można znaleźć wiele publikacji dotyczących układów dwufazowych ciecz – ciało stałe. Obszerne materiały dotyczące warunków wytwarzania zawiesiny w mieszalniku oraz wyniki badań dla układu ciecz – ciało stałe w zbiorniku z mieszadłem i pionowymi przegrodami płaskimi zostały zanalizowane w pracach [Stręk, 1981; Kamiński, 2004].

W ostatnich latach przedstawiono wyniki badań [Kielbus-Rapala i Karcz, 2009], które dotyczyły warunków powstawania układu dwufazowego ciecz – ciało stałe w dwóch zbiornikach, różniących się średnicą, wyposażonych w mieszadło i cztery przegrody płaskie. Badania przeprowadzono z użyciem ciała stałego o średniej średnicy ziaren $d_z = 335 \mu\text{m}$.

W pracy [Brucato i in., 2010] opisano wyniki badań zawieszenia cząstek ciała stałego w cieczy w zamkniętym mieszalniku bez przegród. Do badań użyto wody destylowanej oraz trzech rodzajów cząstek ciała stałego.

Wyniki badań mocy mieszania dla układu ciecz – gaz – ciało stałe wykonane w zbiorniku z mieszadłem i pionową węzownicą rurową, która jednocześnie stanowi przegrody zaprezentowano w pracy [Major-Godlewska i Karcz, 2012].

W literaturze niewiele jest publikacji, których wyniki umożliwiają określenie mocy mieszania czy warunków powstawania układów wielofazowych, w których jedną z faz są cząstki ciała stałego, a mieszanie zachodzi w zbiorniku z mieszadłem i przegrodami rurowymi.

Badania przedstawione w niniejszej pracy miały na celu określenie warunków powstawania układu ciecz – ciało stałe w zbiorniku wielokolaboratoryjnym z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem szybkoobrotowym.

Badania doświadczalne

Badania przeprowadzono w mieszalniku o średnicy wewnętrznej $D = 0,634 \text{ m}$, napełnionym cieczą do wysokości $H = D$.

Mieszalnik wyposażono w dwadzieścia cztery $J = 24$ pionowe przegrody rurowe o średnicy pojedynczej rurki równej $B = 0,016D$. Pojedyncze pionowe przegrody rurowe rozmieszczono po obwodzie mieszalnika o średnicy podziałowej $D_w = 0,7D$.

Do mieszania użyto kolejno czterech mieszadeł:

- turbinowego *Rushtona* (TR),
o średnicy mieszadła $d = 0,33D$ i liczbie łopatek $Z = 6$,
- mieszadła turbinowego *Smitha* (CD 6),
gdzie $d = 0,33D$, $Z = 6$
- mieszadła A315 o średnicy $d = 0,33D$
i liczbie łopatek $Z = 4$
- mieszadła A315 o średnicy $d = 0,5D$
i liczbie łopatek $Z = 4$.

Badania wykonano dla układu ciecz – ciało stałe. Fazą ciekłą była woda destylowana natomiast fazę stałą stanowiły cząstki piasku morskiego o gęstości 2600 kg/m^3 . Średnią średnicę d_z cząstki piasku morskiego zmieniano w zakresie $d_z \in <212 \mu\text{m}; 425 \mu\text{m}>$, a stężenie w zakresie $X \in <0,5 \% \text{ wag.}; 1,5 \% \text{ wag.}>$.

Do określenia krytycznej częstości obrotów mieszadła zastosowano kryterium *Zwieteringa* [Zwietering, 1958]. Badania mocy mieszania wykonano przy użyciu metody tensometrycznej.

Wyniki badań

Na podstawie uzyskanych wartości krytycznej częstości obrotów mieszadła n_{kr} określono wartości liczby *Frouda*

$$Fr_{kr} = \frac{n_{kr}^2 d}{g} \quad (1)$$

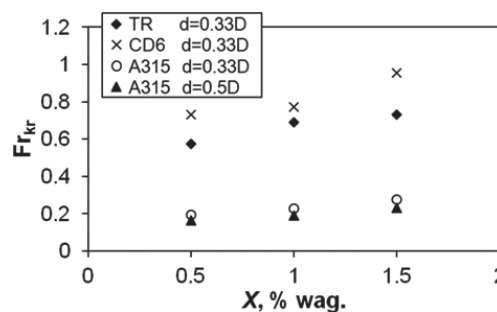
gdzie:

n_{kr} – krytyczna częstość obrotów [1/s],

d – średnica mieszadła [m],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

Wartości mocy mieszania uzyskane dla układu ciecz – ciało stałe wyrażono w postaci jednostkowej energii rozpraszanej ϵ_{kr} definiowanej jako moc mieszania P_{kr} otrzymana dla krytycznych częstości obrotów n_{kr} na jednostkę masy.



Rys. 1. Zależność $Fr_{kr} = f(X)$ dla układu woda destylowana – cząstki ciała stałego o średniej średnicy $d_z = 212 \mu\text{m}$ i mieszadła: turbinowego *Rushtona* (TR), turbinowego *Smitha* (CD 6) oraz A315, gdzie $d = 0,33D$ lub $d = 0,5D$

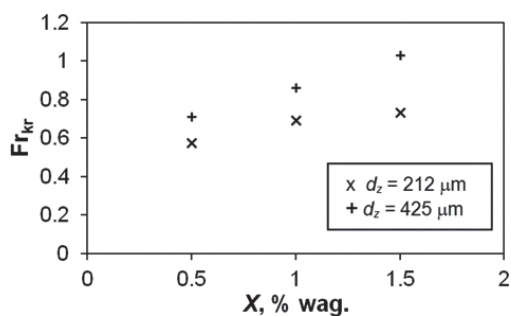
Na rys. 1 przedstawiono zależność $Fr_{kr} = f(X)$ dla układu woda destylowana – cząstki piasku morskiego o średniej średnicy $d_z = 212 \mu\text{m}$ i różnych rodzajów mieszadeł. Wartości krytycznej częstości obrotów n_{kr} dla układu ciecz – ciało stałe zależą od rodzaju zastosowanego mieszadła.

Dla zbiornika z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem o średnicy $d = 0,33D$ największe wartości częstości obrotów mieszadła n_{kr} , które umożliwiają zawieszenie w wodzie destylowanej cząstek piasku morskiego o średnicy $d_z = 212 \mu\text{m}$ uzyskano dla mieszadła turbinowego *Smitha* (CD 6).

Nieznacznie mniejsze wartości n_{kr} w porównaniu z mieszadłem turbinowym *Smitha* (CD 6), dla tego samego układu ciecz – ciało stałe, otrzymano dla mieszadła turbinowego *Rushtona* (TR).

Najmniejsze wartości n_{kr} , z trzech analizowanych mieszadeł o średnicy $d = 0,33D$, otrzymano dla mieszadła A315.

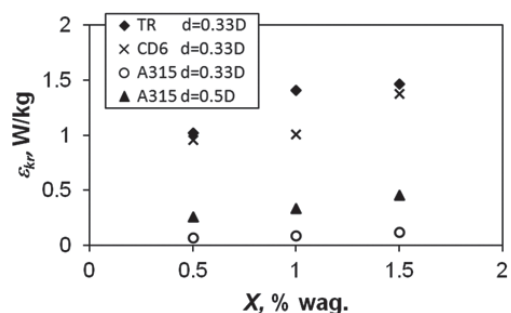
Także średnica mieszadła miała wpływ na wartość krytycznej częstości obrotów n_{kr} . Porównując dane uzyskane dla mieszadła A315, o śred-



Rys. 2. Zależność $F_{r_{kr}} = f(X)$ dla układu woda destylowana – cząstki ciała stałego o średniej średnicy $d_z = 212 \mu m$ i $d_z = 425 \mu m$ oraz mieszadła turbinowego *Rushtona* (TR) o średnicy $d = 0,33D$

nicy równej $d = 0,33D$ z danymi, w których $d = 0,5D$ stwierdzono, że zwiększenie średnicy mieszadła umożliwia zawieszenie w wodzie cząstek ciała stałego przy mniejszych częstościach obrotów mieszadła.

Na wartość krytycznej częstości obrotów n_{kr} ma też wpływ średnia średnica ziaren d_z oraz stężenie cząstek ciała stałego X w cieczy. Przykładową zależność $F_{r_{kr}} = f(X)$ dla zbiornika z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem turbinowym *Rushtona* (TR) oraz średnich średnic cząstek ciała stałego w cieczy przedstawiono na rys. 2. Porównując dane uzyskane dla układu ciecz – ciało stałe, gdzie średnia średnica cząstek ciała stałego wynosiła $d_z = 212 \mu m$ z danymi uzyskanymi dla układu, gdzie $d_z = 425 \mu m$ stwierdzono, że mniejsze wartości krytycznych częstości obrotów n_{kr} mieszadła charakteryzują układ, dla którego $d_z = 212 \mu m$.



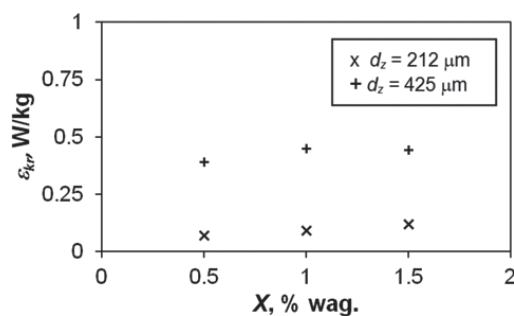
Rys. 3. Zależność $\epsilon_{kr} = f(X)$ dla układu woda destylowana – cząstki ciała stałego o średniej średnicy $d_z = 212 \mu m$ i mieszadła: turbinowego *Rushtona* (TR), turbinowego *Smitha* (CD 6) oraz A315, gdzie $d = 0,33D$ lub $d = 0,5D$

Moc mieszania P_{kr} uzyskaną dla krytycznych częstości obrotów mieszadła n_{kr} przedstawiono na rys. 3 w postaci jednostkowej energii rozpraszanej ϵ_{kr} w zależności od stężenia cząstek ciała stałego X w cieczy.

Największe wartości jednostkowej energii rozpraszanej ϵ_{kr} , dla układów ciecz – ciało stałe uzyskano, gdy do mieszania użyto mieszadła turbinowego *Rushtona* (TR).

Najmniejsze wartości jednostkowej energii rozpraszanej ϵ_{kr} otrzymano, gdy układ mieszany był mieszadłem A315 o średnicy $d = 0,33D$.

Zaobserwowano, że średnica mieszadła także wpływa na jednostkową energię rozpraszania ϵ_{kr} . W przypadku mieszadła A315 większe wartości ϵ_{kr} uzyskano dla mieszadła o średnicy $d = 0,5D$ w porównaniu



Rys. 4. Zależność $\epsilon_{kr} = f(X)$ dla układu woda destylowana – cząstki ciała stałego o średniej średnicy $d_z = 212 \mu m$ i $d_z = 425 \mu m$ oraz mieszadła A315 o średnicy $d = 0,33D$

z mieszadłem A315 o średnicy $d = 0,33D$. Uzyskane większe wartości jednostkowej energii rozpraszanej ϵ_{kr} , dla mieszadła A315, gdzie $d = 0,5D$, w porównaniu z mieszadłem A315, gdzie $d = 0,33D$, są znacznie mniejsze od wartości otrzymanych dla mieszadła turbinowego *Rushtona* (TR) czy mieszadła turbinowego *Smitha* (CD 6).

Stwierdzono, że spośród czterech użytych w badaniach mieszadeł najmniej energochłonnym mieszadłem było mieszadło A315 o średnicy $d = 0,33D$. Jednak mieszadło to charakteryzuje się nieznacznie większymi, niż mieszadło A315 o średnicy $d = 0,5D$, krytycznymi częstościami obrotów mieszadła n_{kr} , przy których następuje zawieszenie cząstek ciała stałego w cieczy.

Wpływ średniej średnicy cząstek ciała stałego d_z w cieczy na ϵ_{kr} przedstawiono na rys. 4. W zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem większe wartości ϵ_{kr} uzyskano dla układu ciecz – ciało stałe, gdzie średnia średnica cząstek ciała stałego wynosiła $d_z = 425 \mu m$.

Wnioski

Z badań przeprowadzonych w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem szybkoobrotowym, dla układu woda destylowana – cząstki piasku morskiego o średniej średnicy $d_z \in <212 \mu m; 425 \mu m>$ i stężeniu $X \in <0,5 \% \text{ wag.}; 1,5 \% \text{ wag.}>$ wynika, że najmniejsze krytyczne częstości obrotów n_{kr} uzyskano dla mieszadła A315 o średnicy $d = 0,5D$.

Najmniejszą natomiast jednostkową energię rozpraszania ϵ_{kr} otrzymano dla mieszadła A315 o średnicy $d = 0,33D$.

LITERATURA

- Brucato A., Cipollina A., Micale G., Scargiali F., Tamburini A., 2010. Particle suspension in top – covered unbaffled tanks. *Chem. Eng. Sci.*, **65**, 3001–3008. DOI: 10.1016/j.ces.2010.01.026
- Kamiński J., 2004. *Mieszanie układów wielofazowych*. WNT, Warszawa
- Kielbus-Rapała A., Karcz J., 2009. Warunki wytwarzania układu ciecz – ciało stałe w mieszalnikach różnej skali. *Inż. Ap. Chem.*, **48**, 4, 66–67
- Major-Godlewska M., Karcz J., 2012. Agitation of a gas – solid – liquid system in a vessel with high – speed impeller and vertical tubular coil. *Chem. Pap.*, **66**, 6, 566–573. DOI: 10.2478/s11696-012-0148-0
- Stręk F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa
- Zwietering T.N., 1958. Suspending of solid particles in liquid by agitators. *Chem. Eng. Sci.*, **8**, 244–253. DOI: 10.1016/0009-2509(58)85031-9