

Magdalena CUDAK

e-mail: cudak@zut.edu.pl

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

Analiza wpływu wybranych parametrów na moc mieszania dla układu ciecz – gaz – biofaza w mieszalniku

Wstęp

Moc mieszania dla układów jedno- i wielofazowych zależy od wielu parametrów [Stręk, 1981; Kamiński, 2004]. Ze względu na aspekt ekonomiczny należy tak dobrać poszczególne parametry, aby układ charakteryzował się możliwie najmniejszą energochłonnością. W przypadku mieszania układów jednofazowych znaczny wpływ na moc mieszania mają głównie parametry geometryczne zbiornika i mieszadła, rodzaj mieszadła i jego częstość obrotów oraz parametry fizyczne badanej cieczy [Stręk, 1981; Chapple i in., 2002; Kamiński, 2004; Cudak i Karcz, 2010; Szaferski i Broniarz-Press, 2010]. W przypadku układów wielofazowych na moc mieszania wpływa dodatkowo natężenie przepływu gazu oraz dodanie kolejnej fazy np. cząstek ciała stałego [Bouaifi i Roustan, 2001; Adamiak, 2005; Adamiak i Karcz, 2007; Wozniowdzki, 2010; Cudak, 2011; Major i Karcz, 2011].

Badania przedstawione w tej pracy miały na celu określenie wpływu wybranych parametrów na moc mieszania dla układu ciecz-gaz-biofaza w mieszalniku.

Część doświadczalna

Pomiary mocy mieszania zostały wykonane w zbiorniku z przegrodami o objętości roboczej $V_L = 0,2 \text{ m}^3$. Mieszalnik o średnicy $D = 0,634 \text{ m}$ był napełniony cieczą do wysokości $H = D$. Do mieszania zastosowano trzy mieszadła szybkoobrotowe: turbinowe Rushtona (TR), turbinowe Smitha (CD 6) lub (A 315) o średnicy $d = 0,33D$. Mieszadło znajdowało się na wysokości $h = 0,33H$. Dystrybutor gazu o średnicy $d_d = 0,7D$ umieszczony był pod mieszadłem, na wysokości $e = h/2$. Parametry geometryczne mieszalnika przedstawiono na rys. 1.

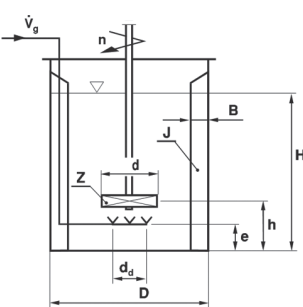
Fazę ciekłą stanowił wodny roztwór sacharozy o stężeniu 10% mas., fazę gazową było powietrze, a biofazą - zawiesina drożdży o stężeniu 0,5% mas. oraz 1% mas. Dodatkowo wykonano badania mocy mieszania dla układu wodny roztwór sacharozy – zawiesina drożdży. Właściwości układu zmieniały się w następujących zakresach: η [Pas] $\in <2 \cdot 10^{-3}; 3,3 \cdot 10^{-3}>$, ρ [kg/m³] $\in <1020; 1033>$, σ [N/m²] $\approx 0,8$. Badania przeprowadzono dla pięciu wartości natężenia przepływu V_g powietrza przez mieszalnik (V_g [m³/s] $\in <5,56 \cdot 10^{-4}; 2,28 \cdot 10^{-3}>$).

Pomiary mocy mieszania zostały wykonane metodą tensometryczną w zakresie burzliwego przepływu cieczy w mieszalniku dla $Re \in <40000; 220000>$.

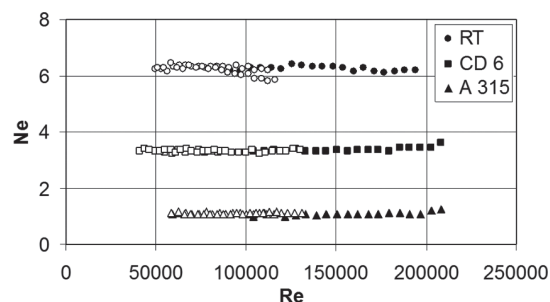
Wpływ natężenia przepływu gazu, częstości obrotów mieszadła, stężenia zawiesiny drożdży oraz typu mieszadła na moc mieszania analizowano na podstawie około 500 punktów pomiarowych uzyskanych w trakcie przeprowadzonych badań.

Zależność $Ne = f(Re)$ dla układów wodny roztwór sacharozy oraz wodny roztwór sacharozy – zawiesina drożdży przedstawiono na rys. 2. We wszystkich przypadkach liczba mocy Ne nie zależy od liczby Reynoldsa. Dodanie zawiesiny drożdży do układu nie wpłynęło na zmianę wartości liczby mocy Ne .

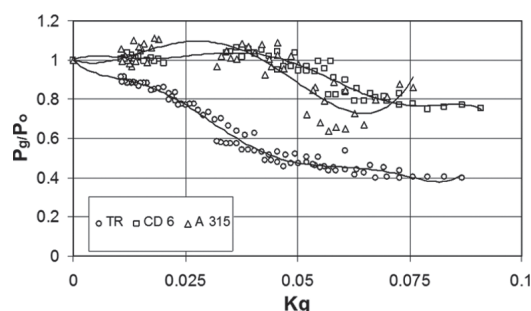
Zależność $P_g/P_o = f(Kg)$, gdzie $Kg = V_g/nd^3$, dla układu 10% roztwór sacharozy – powietrze – 0,5% zawiesina drożdży przedstawiono na rys. 3. Największy wpływ liczby przepływu gazu Kg stwierdzono



Rys. 1. Parametry geometryczne mieszalnika



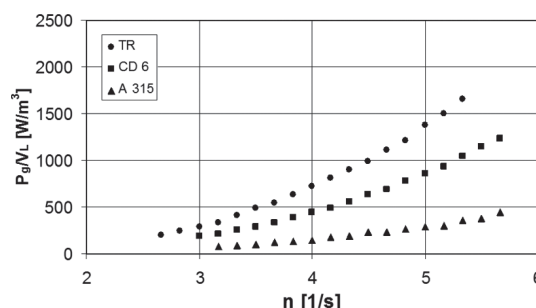
Rys. 2. Zależność $Ne = f(Re)$; ●○ – RT; ■□ – CD 6; ▲△ – A 315; ●■ – ciecz; ○□ – ciecz-biofaza



Rys. 3. Zależność $P_g/P_o = f(Kg)$ dla układu 10% wodny roztwór sacharozy – powietrze – 0,5% zawiesina drożdży

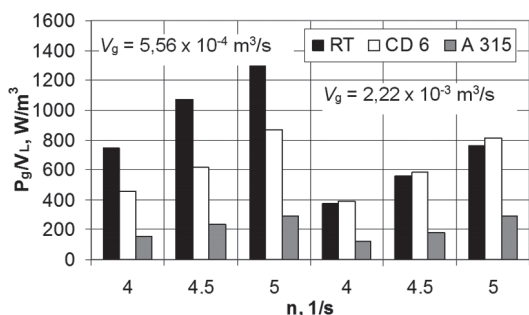
dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym Rushtona. Wartości względnej mocy mieszania P_g/P_o , dla największych wartości Kg , są o około 60% mniejsze niż dla układu ciecz – biofaza. W przypadku pozostałych dwóch mieszadeł względna moc mieszania P_g/P_o osiąga wartości około 2-krotnie większe niż dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym Rushtona.

Wpływ częstości obrotów mieszadła, natężenia przepływu gazu w mieszalniku oraz stężenia zawiesiny drożdży na jednostkową moc mieszania pokazano na rys. 4–6. Przy założeniu stałej wartości natężenia przepływu gazu V_g , ze wzrostem częstości obrotów mieszadła, wartości P_g/V_L zwiększają się. Największy wpływ można stwierdzić dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym Rushtona (Rys. 4). W tym przypadku wartości jednostkowej mocy mieszania zwiększyły się prawie 7-krotnie ze wzrostem częstości obrotów mieszadła. Dla niższych wartości natężenia przepływu gazu w mieszalniku V_g stwierdzono znaczne różnice pomiędzy wartościami uzyskanymi dla poszczególnych mieszadeł. Różnice te zwiększały się ze wzrostem częstości obrotów mieszadła. Różnice pomiędzy wartościami jednostkowej mocy



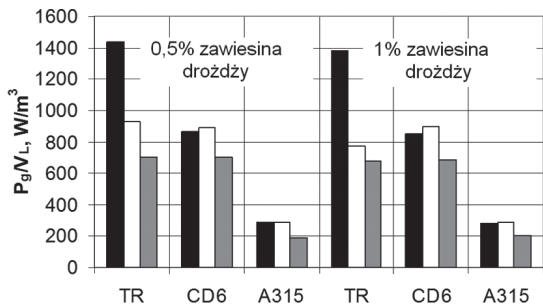
Rys. 4. Zależność $P_g/V_L = f(n)$ dla układu 10% wodny roztwór sacharozy – powietrze – 1% zawiesina drożdży; $V_g = 5,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

mieszania P_g/V_L otrzymane dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Rushtona* lub *Smitha* zmniejszały się ze wzrostem natężenia przepływu gazu V_g (Rys. 5). Dla większych natężeń przepływu gazu stwierdzono, że wartości jednostkowej mocy mieszania dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Smitha* są porównywalne do wartości uzyskanych dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Rushtona*.



Rys. 5. Zależność $P_g/V_L = f(n)$ dla układu 10% wodny roztwór sacharozy – powietrze – 0,5% zawiesina drożdży

Przy założeniu stałej częstości obrotów mieszadła, ze wzrostem natężenia przepływu gazu, wartości jednostkowej mocy mieszania P_g/V_L zmniejszają się jedynie w przypadku mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Rushtona* (Rys. 6). Ze wzrostem natężenia przepływu gazu w mieszalniku maleje jego wpływ na wartość jednostkowej mocy P_g/V_L . W przypadku pozostałych dwóch mieszadeł wartości P_g/V_L najpierw nieznacznie się zwiększają i dopiero po przekroczeniu $V_g \approx 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ następuje spadek wartości jednostkowej mocy mieszania ze wzrostem natężenia przepływu gazu. Porównując wyniki uzyskane dla dwóch stężeń zawiesiny drożdży można stwierdzić nieznaczny spadek wartości jednostkowej mocy mieszania P_g/V_L ze wzrostem stężenia zawiesiny drożdży w mieszalniku.



Rys. 6. Zależność $P_g/V_L = f(\text{typ mieszadła})$; $n = 5 \text{ 1/s}$,
 ■ – $V_g = 5,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$; □ – $V_g = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$; ▨ – $V_g = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Ze względu na niewielki wpływ stężenia zawiesiny drożdży w mieszalniku na wartości względnej mocy mieszania wyniki badań opracowano w postaci równania, w którym uwzględniono jedynie wpływ liczby przepływu gazu Kg oraz liczby *Froude*'a

$$\frac{P_g}{P_o} = a + \frac{b}{1 + cKg} + e\sqrt{\frac{Kg}{Fr}} \quad (1)$$

gdzie:

- P_o – moc mieszania dla układu ciecz-biofaza
- P_g – moc mieszania dla układu ciecz-gaz-biofaza
- $Kg = V_g/(nd^3)$ – liczba przepływu gazu
- $Fr = (n^2d)/g$ – liczba *Froude*'a

Wartości współczynników a, b, c, e , wykładnika d oraz średni błąd względny równ. (1) zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Wartości współczynników a, b, c, e oraz wykładnika d w równ. (1)

Lp.	Mieszadło	a	b	c	d	e	$\pm \Delta$
1.	TR	0,25	0,75	1869	2,137	0,158	4
2.	CD 6	0,25	0,75	4720	3,394	0,188	4
3.	A 315	0,25	0,75	4963	3,130	0,395	7

Równanie 1 obowiązuje w następującym zakresie zmiennych: $Kg \in <0,01; 0,09>$; $Fr \in <0,1; 0,7>$.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że w zakresie burzliwego przepływu cieczy w mieszalniku wpływ typu i częstości obrotów mieszadła na moc mieszania zależy od natężenia przepływu gazu w mieszalniku.

Dla mniejszych natężeń przepływu gazu najbardziej energochłonnym mieszadłem było mieszadło turbinowe *Rushtona*. W tym przypadku zaobserwowano również największy wpływ częstości obrotów mieszadła na moc mieszania.

Dla wyższych natężeń przepływu gazu stwierdzono, że wartości jednostkowej mocy mieszania dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Smitha* są porównywalne a nawet nieco wyższe niż dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Rushtona*.

Największy spadek względnej mocy mieszania otrzymano dla mieszalnika z mieszadłem turbinowym *Rushtona*.

Wyniki pomiarów uzyskane dla różnych stężeń zawiesiny drożdży w mieszalniku świadczą o niewielkim wpływie zawiesiny drożdży na moc mieszania.

Spis oznaczeń

- B – szerokość przegrody, [m]
- d – średnica mieszadła, [m]
- D – wewnętrzna średnica mieszalnika, [m]
- d_d – średnica dystrybutora gazu, [m]
- e – odległość dystrybutora gazu od dna zbiornika, [m]
- Fr – liczba *Froude*'a
- h – odległość mieszadła od dna zbiornika, [m]
- H – wysokość słupa cieczy mieszalniku, [m]
- Kg – liczba przepływu gazu
- n – częstość obrotów mieszadła, [1/s]
- P_o – moc mieszania dla układu ciecz – biofaza
- P_g – moc mieszania dla układu ciecz – gaz – biofaza
- Re – liczba *Reynoldsa*, ($= nd^2\rho/\eta$)
- V_g – objętościowe natężenie przepływu gazu, [m³/s]
- V_L – objętość robocza cieczy, [m³]
- η – dynamiczny współczynnik lepkości, [Pa·s]
- ρ – gęstość cieczy, [kg/m³]
- σ – napięcie powierzchniowe cieczy, [N/m]

LITERATURA

- Adamiak R., 2005. *Badania warunków dyspergowania gazu w cieczy w mieszalnikach różnej skali*. Praca doktorska, Pol. Szczecińska
- Adamiak R., Karcz J., 2007. Effects of type and number of impellers and liquid viscosity on the power characteristics of mechanically agitated gas-liquid systems. *Chem. Pap.*, **61**, nr 1, 16-23. DOI 10.2478/s11696-006-0089-6
- Bouaifi M., Roustan M., 2001. Power consumption, mixing time and homogenisation energy in dual-impeller agitated gas-liquid reactors. *Chem. Eng. Proc.*, **40**, 87-95. DOI 10.1016/S0255-2701(00)00128-8
- Chapple D., Kresta S.M., Wall A., Afacan A., 2002. The effect of impeller and tank geometry on power number for a pitched blade turbine. *Chem. Eng. Res. Des.*, **80**, 4, 364-372. DOI 10.1205/026387602317446407
- Cudak M., Karcz J., 2010. Wpływ niecentrycznego położenia wału mieszadła śmigłowego lub HE 3 na moc mieszania. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 1, 29-30
- Cudak M., 2011. Process characteristics for the mechanically agitated gas-liquid systems in the turbulent fluid flow. *Przem. Chem.*, **90**, nr 9, 1628-1632
- Kamieński J., 2004. *Mieszanie układów wielofazowych*. WNT, Warszawa
- Major-Godlewska M., Karcz J., 2011. Process characteristics for a gas-liquid system agitated in a vessel equipped with a turbine impeller and tubular baffles. *Chem. Pap.*, **65**, nr 2, 132-138. DOI 10.2478/s11696-0010-0080-0
- Stręk F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*, WNT, Warszawa
- Szaferski W., Broniarz-Press L., 2010. Badania mieszalnika z przegrodami niestandardowymi własnej konstrukcji. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 2, 117-118
- Wozniowdzki Sz., 2010. Moc mieszania w mieszalniku z dwoma mieszadłami i zmiennym kierunkiem obrotów. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 2, 129-130.