

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

Zawartość gazu w cieczy w zbiorniku wielkolaboratoryjnym z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi

Wstęp

Obszerną analizę dostępnych w literaturze wyników badań zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy dla różnych układów ciecz – gaz w zbiorniku wyposażonym w różnego rodzaju mieszadła i pionowe przegrody płaskie przeprowadzili Kamiński [1] oraz Karcz [2]. Moucha i wsp. [3] określili zawartość gazu zatrzymanego w cieczy w zbiorniku o zmiennej konfiguracji mieszadeł na wale. Martinov i wsp. [4] przeprowadzili badania ilości gazu zatrzymanego w cieczy dla nowego typu mieszadła oraz cieczy niutonowskiej i nieniuonowskiej. Wpływ własności fizycznych fazy ciągłej w układzie ciecz – gaz na objętościowy udział gazu zatrzymanego w cieczy analizowała Karcz [5]. Wyniki badań udziału gazu zatrzymanego w cieczy w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem turbinowym o różnym kącie pochylecia łopatki prezentowane były w pracy [6].

Badania przedstawione w tej pracy miały na celu określenie zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy oraz czasu przebywania t_R gazu w cieczy w zbiorniku wielkolaboratoryjnym z mieszadłem turbinowym *Rushiona* (RT) lub turbinowym *Smitha* (CD 6) i pionowymi przegrodami rurowymi.

Badania doświadczalne

Badania zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy oraz czasu przebywania t_R gazu w cieczy wykonano w zbiorniku o objętości roboczej $V_L = 0,2 \text{ m}^3$, średnicy wewnętrznej $D = 0,634 \text{ m}$ i wysokości słupa cieczy $H = D$. W płaskodennym zbiorniku wykonanym ze szkła organicznego zamontowano dwadzieścia cztery pionowe przegrody rurowe rozmieszczone po obwodzie zbiornika o średnicy podziałowej równej $0,7D$. Średnica pojedynczej rurki pionowej przegrody wynosiła $0,016D$. Płyn mieszano mieszadłem turbinowym *Rushiona* (RT) lub turbinowym *Smitha* (CD 6), umieszczonym w odległości $h = 0,33D$ od dna zbiornika. Średnica każdego mieszadła wynosiła $d = 0,33D$, a liczba łopatek mieszadła była równa sześć. Pierścieniowy dystrybutor gazu o średnicy $0,7d$ zamontowano w odległości $0,5h$ od dna zbiornika. Badania wykonano dla układu ciecz – powietrze. Fazą ciekłą były woda destylowana lub wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ i $0,8 \text{ kmol/m}^3$. Układy te różniły się zdolnością pęcherzy gazu do koalescencji. Zdolność pęcherzy gazu do koalescencji opisano przy użyciu parametru Y zdefiniowanego w pracy [7]:

$$Y = 2 - \exp(-\Psi^+) \quad (1)$$

gdzie $\Psi^+ = \Psi/\Psi_{kryt}$. Wielkość Ψ zdefiniowana została przez Lee i Meyricka w postaci [8]:

$$\Psi = \Delta\sigma \frac{RT}{2} = c \left(\frac{d\sigma}{dc} \right)^2 \left(\frac{1}{1 + \frac{d \ln f}{d \ln c}} \right) \quad (2)$$

gdzie:

- σ – napięcie powierzchniowe, [N/m],
- R – stała gazowa, [J/molK],
- T – temperatura, [K],
- f – współczynnik aktywności, [-],
- c – stężenie elektrolitu, [kmol/m^3].

Przepływ fazy gazowej zmieniano w zakresie $V_g [\text{m}^3/\text{s}] \in (0,556 \cdot 10^{-3}, 3,89 \cdot 10^{-3})$, co odpowiada umownej liniowej prędkości gazu $w_{og} [\text{m/s}] (= 4V_g/\pi D^2) \in (1,76 \cdot 10^{-3}, 12,3 \cdot 10^{-3})$. Badania wykonano w obszarze dobrego rozpraszania gazu w cieczy.

Zawartość φ gazu zatrzymanego w cieczy obliczano z równania

$$\varphi = (H_{c-g} - H)/H_{c-g} \quad (3)$$

gdzie H_{c-g} jest wartością średnią z wielokrotnego (ok. 10 wartości) odczytu wysokości słupa mieszaniny ciecz – gaz.

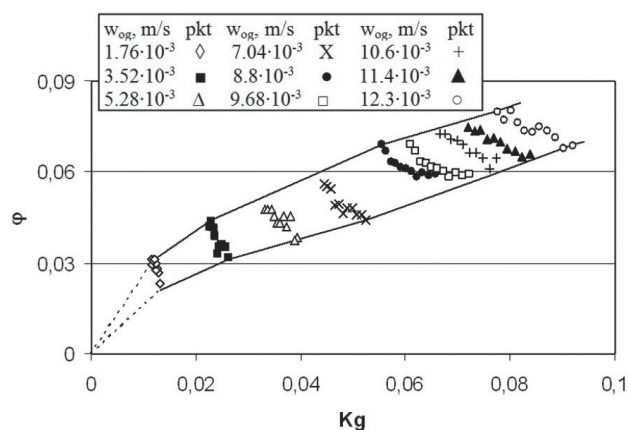
Wartość czasu przebywania t_R gazu w cieczy obliczano z zależności

$$t_R = (V_L \varphi)/(1 - \varphi)V_g \quad (4)$$

Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymano około 600 punktów doświadczalnych umożliwiających wyznaczenie zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy oraz wartość czasu przebywania t_R gazu w cieczy.

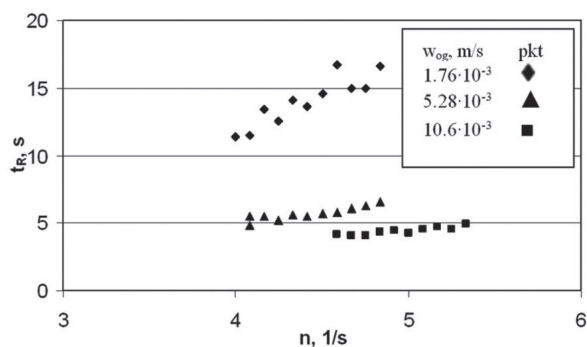
Przykładowy rozkład wartości udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy otrzymany dla zbiornika z mieszadłem turbinowym *Smitha* i pionowymi przegrodami rurowymi przy zmiennej liczbie przepływu gazu $Kg (= V_g / \pi d^2)$ oraz zmiennej umownej liniowej prędkości gazu w_{og} , dla układu wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze, przedstawiono graficznie na rys. 1.



Rys. 1. Zależność $\varphi = f(Kg)$ dla zbiornika z mieszadłem turbinowym *Smitha* i pionowymi przegrodami rurowymi; układ: wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze; $w_{og} \neq \text{const}$.

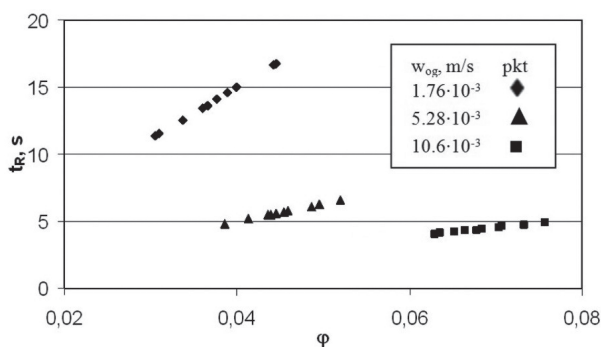
Z porównania danych doświadczalnych wynika, że zawartość φ gazu zatrzymanego w cieczy wzrasta wraz ze wzrostem umownej liniowej prędkości gazu w_{og} . Natomiast przy założeniu stałej wartości umownej liniowej prędkości gazu ($w_{og} = \text{const}$) udział φ gazu zatrzymanego w cieczy wzrasta, gdy wartość liczby przepływu gazu Kg maleje.

Zależność czasu przebywania t_R gazu w cieczy w funkcji częstości obrotów n mieszadła dla stałej wartości umownej liniowej prędkości gazu w_{og} oraz układu wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze przedstawiono na rys. 2. Czas przebywania t_R gazu w cieczy rośnie wraz ze wzrostem częstości obrotów mieszadła n . Zaobserwowano, że przy wyższych wartościach umownej liniowej prędkości gazu w_{og} wzrost czasu przebywania t_R gazu w cieczy w danym zakresie częstości obrotów mieszadła n jest łagodniejszy. Znacznie szybciej wzrasta czas przebywania t_R gazu w cieczy w funkcji częstości obrotów n mieszadła dla niskich wartości umownej liniowej prędkości gazu w_{og} .



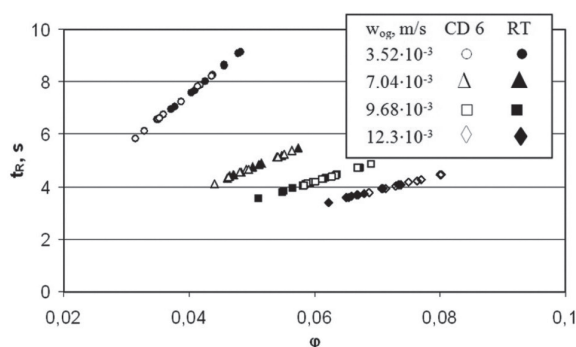
Rys. 2. Zależność $t_R = f(n)$ dla układu wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze; mieszadło turbinowe *Rushtona*

Przykładową zależność $t_R = f(\varphi)$ dla zbiornika z mieszadłem turbinowym *Rushtona* i układu wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze przedstawiono na rys. 3. Z uzyskanych danych wynika, że wartość czasu przebywania t_R gazu w cieczy rośnie, gdy zmniejsza się umowna liniowa prędkość gazu w_{og} . Taką samą tendencję obserwowano w przypadku, gdy do mieszania użyto mieszadła turbinowego *Smitha*.



Rys. 3. Zależność $t_R = f(\varphi)$ dla zbiornika z mieszadłem turbinowym *Rushtona* i pionowymi przegrodami rurowymi; układ: wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze

Wyniki obliczeń czasu przebywania t_R gazu w wodnym roztworze NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$ przy założeniu stałej wartości umownej liniowej prędkości gazu w_{og} dla dwóch mieszadeł turbinowego *Rushtona* oraz turbinowego *Smitha* w funkcji objętościowego udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy porównano na rys. 4.



Rys. 4. Zależność $t_R = f(\varphi)$ dla układu wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze; mieszadło turbinowe *Rushtona* lub mieszadło turbinowe *Smitha*

Z przedstawionych danych wynika, że dla niskich wartości umownej liniowej prędkości gazu w_{og} ($w_{og} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) uzyskano wyższe wartości czasu przebywania t_R gazu w wodnym roztworze NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$, gdy do mieszania użyto mieszadła turbinowego *Rushtona*. Natomiast dla wyższych wartości umownej liniowej prędkości gazu gdzie $w_{og} = 9,68 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ otrzymano wyższe wartości czasu przebywania t_R gazu, gdy do mieszania użyto mieszadła turbinowego *Smitha*.

Wyniki badań zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy dla trzech układów, woda – powietrze, wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,4 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze, wodny roztwór NaCl o stężeniu $0,8 \text{ kmol/m}^3$ – powietrze, opisano w postaci następujących równań

– dla mieszadła turbinowego *Rushtona* (RT)

$$\varphi = 6,19 \cdot 10^{-4} K_g^{0,31} W_e^{0,67} \exp[-5,28 \cdot 10^{-3} (1 - Y^2)] \quad (5)$$

– dla mieszadła turbinowego *Smitha* (CD 6)

$$\varphi = 2,22 \cdot 10^{-4} K_g^{0,51} W_e^{0,88} \exp[2,49 \cdot 10^{-2} (1 - Y^2)] \quad (6)$$

gdzie $We = n^2 d^3 \rho / \sigma$ liczba *Webera*, ρ – gęstość, $[\text{kg/m}^3]$.

Zakresy stosowalności równań (5) i (6) oraz średni błąd względny Δ podano w tab. 1.

Tab. 1. Zakresy stosowalności równania (5) i (6) oraz średni błąd względny Δ

Mieszadło	$K_g \cdot 10^2$	We	Y	Δ , %
RT	1,13–9,6	840–4470	1–1,6	$\pm 6,5$
CD 6	1,15–9,2	2070–4020	1–1,6	± 5

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań w zbiorniku wielokolaboratoryjnym z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi stwierdzono, że na zawartość φ gazu zatrzymanego w cieczy oraz na czas przebywania t_R gazu w cieczy ma wpływ zarówno typ użytego mieszadła, jak i zdolność pęcherzyków gazu do koalescencji. Do określenia zawartości φ gazu w cieczy dla danej konfiguracji mieszalnika, zaproponowano równania (5) i (6) obowiązujące w zakresie wykonanych pomiarów i ujmujące poprzez parametr Y wpływ zdolności pęcherzy gazu do koalescencji.

Wyniki badań zawartości φ gazu zatrzymanego w cieczy oraz czasu przebywania t_R pęcherzyków gazu w cieczy, uzyskane dla zbiornika z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi, mogą mieć zastosowanie przy projektowaniu aparatów do prowadzenia procesów wymagających napowietrzania układu oraz utrzymania stałej temperatury procesu. W tym celu pionowe przegrody rurowe mogą pełnić dodatkową funkcję elementów grzewczych.

LITERATURA

- [1] J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych. WNT, Warszawa (2004).
- [2] J. Karcz: Inż. Ap. Chem., **41**, nr 1, 3 (2002).
- [3] T. Moucha, V. Linek, E. Prokopova: Chem. Eng. Sci., **58**, 1839 (2003).
- [4] M. Martinov, S. D. Vlaev: 14th Intern. Congress of Chem. Eng., P1.51, CHISA 2000.
- [5] J. Karcz: Inż. Chem. Proc., **19**, 335 (1998).
- [6] M. Major-Godlewska, J. Karcz: Chem. Pap., **65**, 2, 132 (2011).
- [7] V. Machoň, J. Vlček, V. Kudrna: Collect. Czech. Chem. Commun., **43**, 593 (1978).
- [8] J. C. Lee, D. L. Meyrick: Trans. IChemE., **48**, T37 (1970).

Praca dedykowana Panu Profesorowi Fryderykowi Strękowski z okazji Jubileuszu 85. urodzin.