

JOANNA KARCZ
BEATA MACKIEWICZ
ANNA FRANKOWSKA

Inżynierii Chemicznej i Podstaw Ochrony Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Wpływ oprzegrodowania na moc mieszania zawiesziny lekkiej w mieszalniku

Wprowadzenie

W wielu technologiach w przemyśle przetwórczym często występują takie mieszaniny, w których w początkowej fazie mieszania lekkie cząstki ciała stałego unoszą się na powierzchni swobodnej cieczy. Biorąc pod uwagę jakościowe wymagania stawiane produktom spożywczym, farbom, lakierom, kosmetykom i innym, tworzące je składniki powinny być dobrze wymieszane. Właściwy dobór aparatury używanej do prowadzenia operacji zawieszania lekkich cząstek w cieczy oraz umiejętność zapewnienia poprawnych warunków jej realizacji wpływa istotnie na zmniejszenie kosztów procesu i umożliwia uzyskanie zadanej jakości produktów [1–3].

W przypadku zawieszin lekkich cząstki ciała stałego o gęstości mniejszej niż gęstość fazy ciągłej gromadzą się na powierzchni swobodnej cieczy, a nie zalegają na dnie zbiornika, jak w przypadku zawieszin konwencjonalnych. Możliwe są co najmniej dwie metody postępowania, mające na celu wytworzenie zawiesziny lekkiej w zbiorniku z mieszadłem mechanicznym [4]. Pierwsza z nich polega na wykorzystaniu uformowanego w kontrolowany sposób niecentrycznego wiru na powierzchni swobodnej cieczy. W drugiej metodzie można wykorzystać pętlę cyrkulacyjną płynu wytwarzaną przez mieszadło, co umożliwia wprowadzenie cząstek z powierzchni cieczy w strefie usytuowanej blisko ściany zbiornika. Taką pętlę można uzyskać za pomocą mieszadła zawieszzonego w dużej odległości od dna oprzegrodowanego zbiornika i wytwarzającego przepływ płynu w kierunku powierzchni swobodnej cieczy. W literaturze przedmiotu brak jest dotychczas danych na temat mocy mieszania w układzie lekkie cząstki – ciecz, wytwarzanym w zbiorniku, w którym mieszadło umieszczone jest w dużej odległości od dna.

W tej pracy przedstawiono wyniki doświadczalnych badań mocy mieszania zawiesziny lekkiej wytwarzanej w mieszalniku zaopatrzonym w mieszadło turbinowe z łopatkami pochylonymi oraz w różną liczbę przegród płaskich o pełnej długości. Pomiary przeprowadzono dla mieszadła pompującego płyn do powierzchni swobodnej i umieszczonego w odległości $h = 0,67H$ od dna mieszalnika.

Część doświadczalna

Badania przeprowadzono w mieszalniku o średnicy wewnętrznej $D = 0,634$ m, napełnionym wodą do wysokości $H = D$. Zbiornik mieszalnika miał płaskie dno i był zaopatrzony w sześciolopatkowe mieszadło turbinowe z łopatkami pochylonymi pod kątem 45° , pompujące płyn w kierunku powierzchni swobodnej cieczy. Średnica mieszadła była równa $d = 0,33D$, a jego odległość od dna zbiornika wynosiła $h =$

$= 0,67H$. W mieszalniku umieszczano J płaskich przegród ($1 \leq J \leq 4$) o szerokości $B = 0,1D$ oraz długości $L = H$. Przegrody były rozmieszczone przy ścianie mieszalnika symetrycznie lub niesymetrycznie. Testowano pięć konfiguracji przegród: cztery przegrody rozmieszczone symetrycznie (4), trzy przegrody rozmieszczone asymetrycznie (kął między pierwszą i drugą, oraz drugą i trzecią przegrodą wynosił 90° , a kął między trzecią i pierwszą przegrodą był równy 180° , (3as)), dwie przegrody rozmieszczone symetrycznie (2s), dwie przegrody rozmieszczone asymetrycznie (kął między pierwszą i drugą przegrodą wynosił 90° , a między drugą i pierwszą 270° , 2as), jedna przegroda (1).

Fazę ciągłą stanowiła woda wodociągowa, a fazą stałą były cząstki polietylenu gęstości $\rho_s = 962$ kg/m³ oraz średnicy zastępczej zmieniającej się w przedziale od 2,5 do 3,5 mm. Pomiary przeprowadzono dla trzech różnych stężeń fazy stałej 1; 5 oraz 7,5% wag. Pomiary przeprowadzono w zakresie burzliwego przepływu płynu w mieszalniku, w warunkach, w których wszystkie cząstki były rozproszone w cieczy. Jako kryterium zawieszania cząstek, przyjęto kryterium analogiczne do kryterium *Zwieteringa* [5]. Przyjmowano, że są to takie częstotliwości obrotów mieszadła, przy których żadna cząstka nie zostaje dłużej niż 2 s nieruchomo na powierzchni swobodnej cieczy. Pomiary momentu obrotowego przeprowadzono metodą tensometryczną dla siedmiu różnych częstotliwości obrotów mieszadła (gdzie $n \geq n_{JD}$). Gęstość i lepkość obliczano dla układu dwufazowego, uwzględniając udział fazy rozproszonej w mieszaninie. Dynamiczny współczynnik lepkości obliczano na podstawie równania *Eilersa*.

Wyniki

Na podstawie kryterium analogicznego do kryterium *Zwieteringa* określono krytyczne częstotliwości obrotów mieszadła n_{JD} , przy których lekkie cząstki są rozpraszane w cieczy. Przykładowe wyniki n_{JD} dla zawiesziny o średnim stężeniu 7,5% wytwarzanej za pomocą mieszadła turbinowego z łopatkami pochylonymi w zbiorniku zaopatrzonym w przegrody o różnej konfiguracji zamieszczono w pierwszym wierszu tablicy 1. Najmniejsze wartości n_{JD} dla mieszadła, zawieszzonego w niestandardowej pozycji $h = 0,67H$, charakteryzują układ z czterema przegrodami ($J = 4$), a największe – układ z jedną przegrodą. W drugim wierszu tablicy 1 zostały podane wartości jednostkowej energii mieszania e [W/kg] odpowiadające tym krytycznym częstotliwościom obrotów mieszadła n_{JD} .

Wyniki pomiarów mocy mieszania dla każdej konfiguracji przegród opracowano w postaci charakterystyk mocy $Ne = f(Re)$, gdzie $Ne = P/(n^3 d^5 \rho)$ – liczba *Newtona*, $Re = nd^2 \rho / \eta$ – liczba *Reynoldsa*. Przykładowe wyniki dla serii pomiarów,

Tablica 1

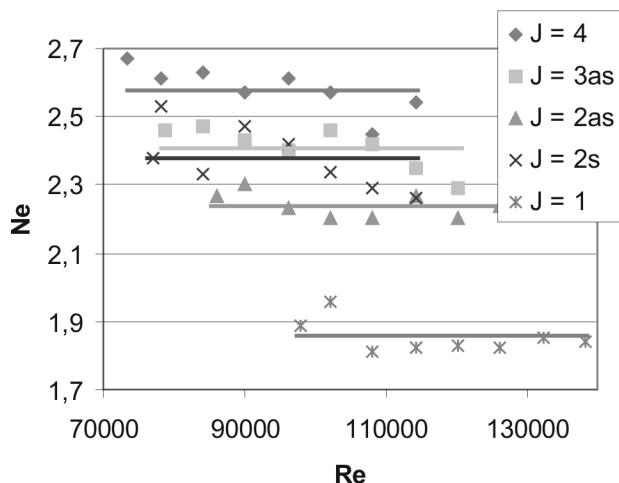
Zestawienie krytycznych częstości obrotów mieszadła n_{JD} niezbędnych do wytworzenia zawiesiny o stężeniu 7,5% w mieszalniku z mieszadłem turbinowym z łopatkami pochylonymi ($h/H = 0,67$) i przegrodami o różnej konfiguracji

Konfiguracja przegród	$J = 4$	$J = 3as$	$J = 2as$	$J = 2s$	$J = 1$
n_{JD} , [1/s]	2,033	2,183	2,383	2,133	2,717
ϵ , [W/kg]	0,047	0,054	0,064	0,048	0,079

Tablica 2

Zestawienie średnich wartości liczb Ne dla różnych konfiguracji przegród w mieszalniku oraz dla zakresu stężeń cząstek lekkich od 1 do 7,5%

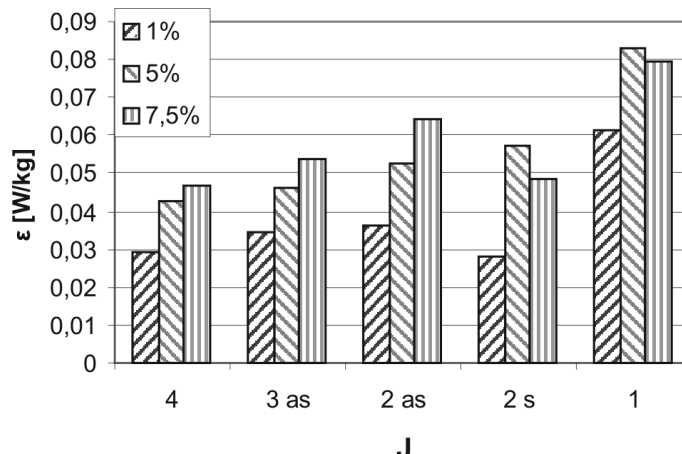
Lp.	Konfiguracja przegród	Ne	Zakres Re
1	4	2,69	73000–123000
2	3as	2,42	78500–130000
3	2as	2,28	84000–130000
4	2s	2,38	77000–129000
5	1	1,94	98000–150000



Rys. 1. Zależność liczby Newtona Ne od liczby Reynoldsa Re dla stężenia $x = 7,5\%$, mieszadło turbinowe o łopatkach pochylonych, pompujące płyn do powierzchni swobodnej cieczy

w której stężenie lekkich cząstek wynosiło 7,5% są przedstawione na rys. 1. Liczby Ne mają największe wartości dla zbiornika z czterema przegrodami, a najmniejsze – dla mieszalnika z jedną przegrodą. W przypadku dwóch przegród, wpływ ich rozmieszczenia na ścianie zbiornika (symetrycznego lub niesymetrycznego) na moc mieszania jest niewielki. Średnie wartości liczby Ne w zakresie badanych stężeń lekkich cząstek, dla każdej z testowanych konfiguracji przegród zestawiono w tablicy 2.

Na rys. 2 porównano zapotrzebowanie jednostkowej mocy mieszania ϵ [W/kg] dla testowanych konfiguracji przegród i różnej wartości stężenia lekkich cząstek, odpowiadającej krytycznym częstościom obrotów mieszadła n_{JD} . Jak wynika z tych danych, wartości jednostkowej mocy mieszania ϵ zauważalnie wzrastają ze wzrostem średniego stężenia cząstek



Rys. 2. Zależność jednostkowej mocy mieszania ϵ od konfiguracji przegród dla różnych stężeń, mieszadło turbinowe o łopatkach pochylonych, pompujące płyn do powierzchni swobodnej cieczy

lekkih w cieczy i bardzo wyraźnie zależą od konfiguracji przegród w mieszalniku, w którym mieszadło turbinowe z sześcioma łopatkami pochylonymi pod kątem 45° , pompujące płyn do powierzchni swobodnej, jest umieszczone na wysokości $h = 0,67H$ licząc od płaskiego dna zbiornika. Najłatwiej cząstki lekkie są rozpraszane w zbiorniku z czterema przegrodami, a najtrudniej w zbiorniku zaopatrzone w jedną przegrodę. W pierwszym przypadku rozproszenie uzyskuje się przy najmniejszych częstościach obrotów mieszadła (najmniejszej jednostkowej mocy mieszania ϵ), a w drugim – przy największych (największej wartości jednostkowej mocy ϵ).

Podsumowanie

Badania wpływu oprzegrodowania na moc mieszania zawiesiny lekkiej w mieszalniku zaopatrzone w mieszadło turbinowe z łopatkami pochylonymi, umieszczone na niestandardowej wysokości $h = 0,67H$, wykazały, że w zakresie przeprowadzonych pomiarów:

1. Najmniejsze częstości krytycznych obrotów częstości mieszadła n_{JD} niezbędnych do wytworzenia zawiesiny charakteryzują układ z czterema przegrodami.
2. Najmniejsze wartości liczby mocy Ne uzyskano dla zbiornika z jedną przegrodą.
3. Spośród porównywanych konfiguracji przegród, zbiornik z czterema przegrodami wymaga najmniejszej jednostkowej mocy mieszania ϵ potrzebnej do rozproszenia lekkich cząstek w cieczy.

LITERATURA

1. B. Mackiewicz: Praca doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin, 2008.
2. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.
3. F. Stręk: Mieszanie i mieszalniki, Warszawa, WNT, 1981.
4. K.J. Myers, M.F. Reedem, J.B. Fasanio: Chem. Eng. Progress, **98**, 2, 42 (2002).
5. T.N. Zwietering: Chem. Eng. Sci., **8**, 3/4, 244 (1958).