

Piotr WESOŁOWSKI, Krzysztof ALEJSKI

e-mail: piotr.wesolowski@put.poznan.pl

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Wytwarzanie modelowej zawiesiny lekkich cząstek w mieszalniku bez przegród z pochylonym wałem mieszadła

Wstęp

W badaniach prowadzonych zarówno w laboratoryjnej, jak i technicznej skali do wytwarzania zawiesin stosuje się klasyczne mieszalniki z czterema standardowymi przegrodami. Obecność przegród, eliminując zjawisko powstawania leja wokół wału mieszadła, wydatnie zwiększa burzliwość układu, ułatwiając tym samym osiągnięcie stanu dobrej dyspersji. W praktyce procesowej przegrody zdecydowanie utrudniają czyszczenie aparatu. Pozostawienie za przegrodami nawet śladowych ilości reagentów może przyczynić się do rozwoju flory bakteryjnej. W przemyśle spożywczym i farmaceutycznym, praktyka procesowa, wymagająca często starannego sterylizowania okresowo pracujących aparatów, praktycznie eliminuje możliwość stosowania przegród w reaktorach.

W pracy podjęto próbę wytwarzania modelowej zawiesiny lekkich cząstek w mieszalniku bez przegród z mieszadłem pracującym na wale pochylonym względem osi zbiornika. Rozwiązanie takie, zmieniając klasyczną cyrkulację mieszanego układu, dzięki czemu mimo braku przegród zdecydowanie opóźniony zostaje moment powstawania niekorzystnego leja wokół wału mieszadła.

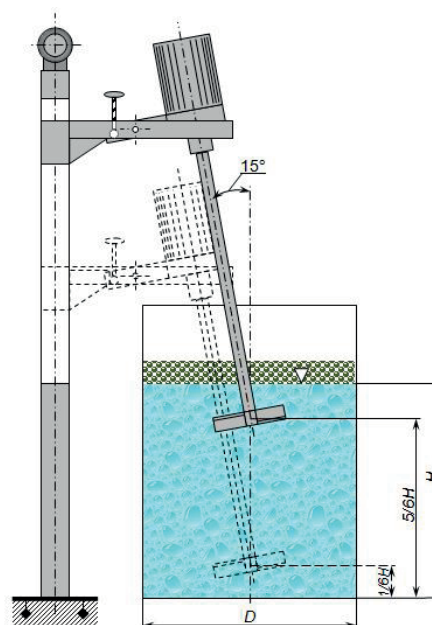
Media i metodyka badań

W badaniach wytwarzano 15% zawiesinę regranulatu polietyleno o średnicy zastępczej cząstek $d_s = 4,5$ mm i gęstości mniejszej od gęstości wody stanowiącej fazę rozpraszającą. Proces prowadzono w mieszalniku z mechanicznym mieszadłem. Podczas pomiarów rejestrowano zadawaną częstość obrotów mieszadła n [s^{-1}] i mierzony moment M [Nm] skracający wał. Stosowano rdzeniowy momentomierz tensometryczny własnej konstrukcji [1]. W oparciu o pomiary momentometryczne $M = f(n)$ wyliczano moc mieszania P [W], analizowano nakłady energetyczne ponoszone na realizację procesu $P = f(n)$ i wykreślano klasyczne charakterystyki mocy mieszania wiążące zmodyfikowane dla tego procesu moduły bezwymiarowe Newtona i Reynoldsa $Ne = f(Re)$.

Zasadniczym celem badań było porównanie pracy przeciwnie pompujących mieszadeł dwułopatkowych. Dla obu badanych mieszadeł określono wpływ wysokości zawieszenia na minimalną częstość obrotów konieczną do wytworzenia dobrze zdyspergowanej zawiesiny. Stosowano zmodyfikowane kryterium *Zwierieringa* [2], uznając zawiesinę za wytworzoną, jeśli na powierzchni cieczy żadna cząstka nie pozostawała dłużej niż jedną sekundę. Podczas wszystkich testów doświadczalnych rejestrowano również częstość obrotów, przy których obserwowano pojawienie się ruchu wszystkich dyspergowanych cząstek ciała stałego, uznając ten moment za pierwsze objawy dyspersji.

Stanowisko doświadczalne

Testowano dwa klasyczne mieszadła dwułopatkowe o średnicy $d = 0,175$ m z prostokątnymi łopatkami pochylonymi pod kątem $\alpha = 45^\circ$ (pompujące w górę) i $\alpha = 135^\circ$ (pompujące w dół). Badane mieszadła w osi mieszalnika pompowały mieszaną układ w przeciwnych kierunkach. Mieszadła pracowały na wale pochylonym względem osi aparatu pod kątem $\beta = 15^\circ$. Badania przeprowadzono na stanowisku do pomiarów mocy mieszania w układach wielofazowych (Rys. 1), którego szczegóły konstrukcyjne opisano w pracy [3]. Modelową zawiesinę wytwarzano w płaskodennym mieszalniku o średnicy $D = 0,525$ m



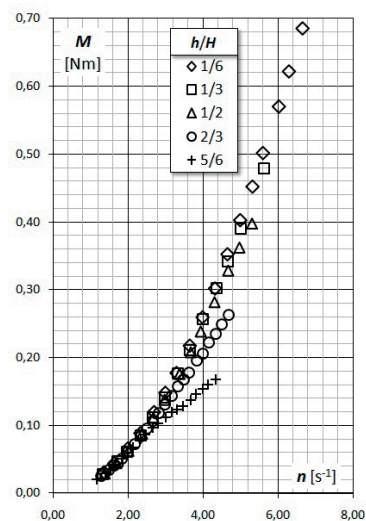
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

($D/d = 3$), wykonanym ze szkła organicznego. Mieszalnik napełniony był wodą do wysokości $H = D$. W kolejnych seriach pomiarowych testowano pracę obu mieszadeł zawieszonych na wysokościach $h = 1/6, 1/3, 1/2, 2/3$ i $5/6 H$.

Skrajne, minimalne i maksymalne wysokości zawieszenia mieszadła pokazano symbolicznie na rys. 1.

Analiza wyników pomiarów

Porównanie przebiegu charakterystyk momentometrycznych uzyskanych przy pięciu różnych wysokościach zawieszenia mieszadła pompującego w osi mieszalnika ciecz w dół, pokazano na rys. 2.

Rys. 2. Porównanie zależności $M = f(n)$ dla $h/H = const$ uzyskanych dla mieszadła dwułopatkowego pompującego mieszaną układ w dół ($\alpha = 135^\circ$)

Mieszadło pompujące w dół, niezależnie od wysokości zawieszenia nad dnem zbiornika, powodowało przy wyższych częstotliwościach obrotów bardzo silne falowanie powierzchni mieszanego układu. Wysokość fali przy ścianie zbiornika, przy maksymalnych osiąganych częstotliwościach obrotów, dochodziła do 1/4 wyjściowej wysokości cieczy uniemożliwiając dalsze badania. Mieszadło pompujące ciecz w górę nie powodowało

falowania nawet przy zdecydowanie wyższych częstotliwościach obrotów. Dzięki temu testy tego mieszadła przeprowadzono w szerszym zakresie zmienności częstotliwości obrotów, osiągając wyższe wartości mierzonego momentu, a tym samym mocy na wale mieszadła.

Porównanie zależności mocy mieszania od zadawanej częstotliwości obrotów, uzyskanych przy różnych wysokościach zawieszenia mieszadła pompującego mieszaną ciecz w górę, pokazano na rys. 3.

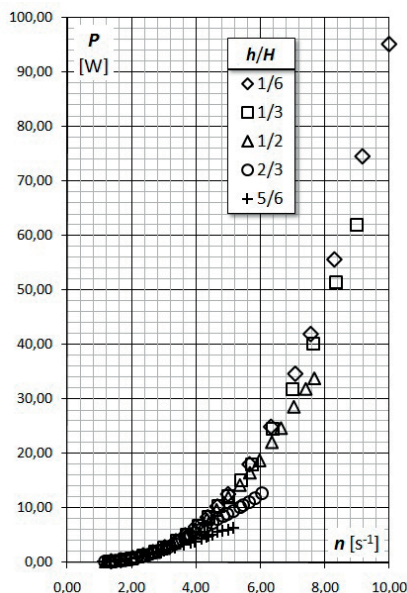
Znajomość mocy na wale mieszadła pozwoliła wykreślić klasyczne charakterystyki mocy mieszania, których porównanie dla obu badanych mieszadeł pracujących na różnych wysokościach nad dnem aparatu pokazano na rys. 4.

Uzyskane wyniki (Rys. 4) pokazują, że niezależnie od wysokości zawieszenia nad dnem zbiornika, mieszadło pompujące mieszaną ciecz w górę ma zdecydowanie szerszy zakres działania niż mieszadło pompujące w dół. Istotny wpływ na przebieg charakterystyk mocy mieszania ma wysokość zawieszenia mieszadła, natomiast zmiana kierunku pompowania mieszanego układu nie wpływa na wykreślone charakterystyki mocy. Ma ona jednak znaczący wpływ na nakłady energetyczne ponoszone na realizację procesu.

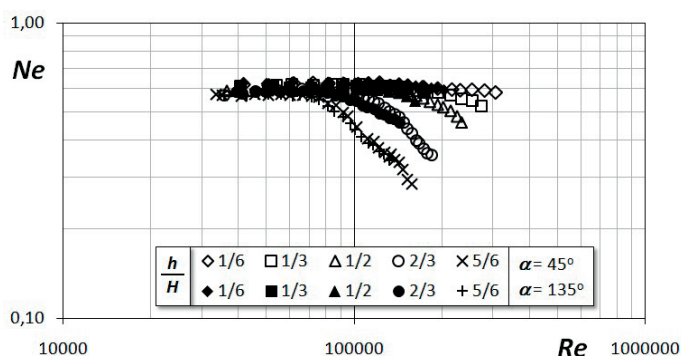
Na rys. 5, pokazano zależność minimalnych częstotliwości obrotów koniecznych zarówno do zainicjowania procesu dyspersji granulatów, jak i osiągnięcia pożądanego stanu dobrej dyspersji.

Uzyskane wyniki (Rys. 5) pokazują, że w przypadku obu badanych mieszadeł zarówno pierwsze objawy dyspersji, jak i moment wytworzenia kompletnej zawiesiny występują przy tym niższych częstotliwościach obrotów im wyżej zawieszono mieszadło nad dnem zbiornika. Co więcej zarówno w przypadku obserwowania pierwszych objawów dyspersji, jak i momentu, w którym zawiesinę uznawano za kompletną istotny wpływ na przebieg zależności minimalnej częstotliwości obrotów od inwariantu geometrycznego (h/H) opisującego zawieszenie mieszadła w zbiorniku ma kierunek pompowania mieszadła.

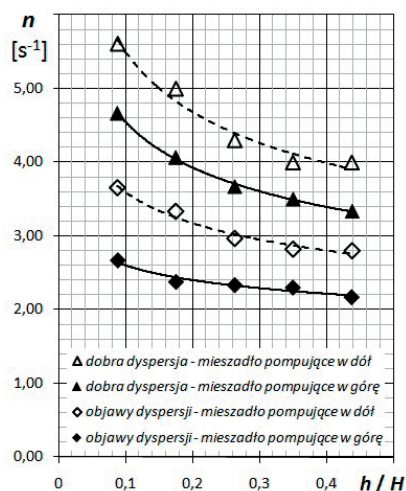
Pierwsze objawy dyspersji w przypadku mieszadła pompującego ciecz w górę ($\alpha = 45^\circ$), niezależnie od wysokości zawieszenia nad dnem zbiornika, pojawiają się przy częstotliwościach obrotów niższych średnio o około 30% od wartości uzyskanych dla mieszadła pompującego w dół ($\alpha = 135^\circ$). Natomiast dobrze zdyspersgowana zawiesina przy identycznych inwariantach geometrycznych wytwarzana jest przez mieszadło pompujące w górę przy częstotliwościach obrotów niższych średnio o około 20% od wartości rejestrowanych w przypadku mieszadła pompującego w dół.



Rys. 3. Porównanie zależności $P=f(n)$ dla $h/H = \text{const}$ uzyskanych dla mieszadła dwułopatkowego pompującego mieszaną ciecz w górę ($\alpha = 45^\circ$)



Rys. 4. Charakterystyki mocy mieszania badanych mieszadeł dwułopatkowych pompujących w górę ($\alpha = 45^\circ$) i w dół ($\alpha = 135^\circ$)



Rys. 5. Porównanie zależności minimalnych częstotliwości obrotów badanych mieszadeł od inwariantu opisującego ich zawieszenie nad dnem zbiornika

Wnioski

Do wytwarzania zawiesiny lekkich cząstek w mieszalniku bez przegród z pochylonym wałem mieszadła nie zaleca się stosowania mieszadeł dwułopatkowych z pochylonymi łopatkami pod kątem $\alpha = 135^\circ$ (pompujących w dół), gdyż mają one bardzo ograniczony zakres stosowania z uwagi na wywoływanie silnego falowania powierzchni mieszanego układu.

Użycie mieszadeł pompujących w górę pozwala znacząco obniżyć minimalne częstotliwości obrotów, przy których w mieszalniku występują zarówno pierwsze objawy dyspersji (ruch wszystkich rozpraszanych cząstek), jak i pożądaný stan dobrej dyspersji (w miarę jednorodné stężenie zawiesiny).

Stosując do wytwarzania zawiesiny lekkich cząstek mieszadła dwułopatkowe z pochylonymi łopatkami korzystnie jest zawieszać je bliżej powierzchni cieczy, na której zalega granulat, gdyż zmniejsza się wówczas wymagana częstotliwość obrotów mieszadła, a tym samym moment skracający wał mieszadła i w konsekwencji nakłady energetyczne ponoszone na realizację procesu.

LITERATURA

- [1] P. Wesolowski, K. Alejski: Materiały VI Kongresu Technologii Chemicznej, t. 2, 281, Warszawa 2009.
- [2] T.N. Zwietering: Chem. Eng. Sci. 8, 3/4, 244 (1958).
- [3] P. Wesolowski: Inż. Ap. Chem. 48, nr 1, 122 (2009).

Praca wykonana w ramach grantu 32-267/10-DS.