

Streszczenie

W tej pracy doktorskiej przedstawiono wyniki analizy doświadczalnej oraz modelowania numerycznego procesu przenoszenia pędu i masy w kolumnie air – lift z zewnętrzną cyrkulacją płynu. Badania doświadczalne przeprowadzono dla układów ciecz – gaz, różniących się od siebie natężeniem przepływu powietrza, jak również właściwościami fazy ciągłej, którą były woda, wodne roztwory sacharozy spożywczej oraz zawiesiny żywych drożdży piekarniczych w wodzie i roztworach cukru. Dla układu woda – powietrze, rozpatrując trzy warianty konstrukcyjne dystrybutora gazu, przeprowadzono analizę wpływu powierzchni otworów dystrybutora na hydrodynamikę w aparacie. W układach, roztwory cukru – powietrze, oceniano wpływ stężenia cukru w fazie ciągłej na wielkości hydrodynamiczne, a wyniki badań uzupełniono o analizę obrazową struktury przepływu, w szerokim zakresie zmian natężenia przepływu gazu, z uwzględnieniem bilansu populacji pęcherzyków gazu w przepływie homogenicznym. W kolejnym etapie badań, analizowano hydrodynamikę przy zmiennym stężeniu biomasy w wodzie i wodnych roztworach sacharozy spożywczej. Przeprowadzono także badania przebiegu procesu hodowli drożdży, z uwzględnieniem szerokiego zakresu natężenia przepływu gazu. W tej części pracy, oprócz hydrodynamiki, analizowano zmienność w czasie liczebności, wielkości i żywotności populacji komórek, stężenia pożywki, przewodności właściwej fazy ciągłej, pH oraz stężenia tlenu rozpuszczonego w cieczy. Uzyskane wyniki pomiarów wielkości hydrodynamicznych posłużyły do opracowania uogólnionych równań empirycznych w szerokim zakresie zmiennych procesowych.

W części związanej z modelowaniem numerycznym nieustalonego w czasie przepływu ciecz – gaz w kolumnie air – lift z cyrkulacją zewnętrzną, przedstawiono wyniki analizy zarówno jakościowej, jak i ilościowej wpływu, w skali lokalnej, natężenia przepływu gazu w układzie, stężenia sacharozy spożywczej, jak również zastosowanego wariantu dystrybutora gazu na hydrodynamikę badanych układów. W modelu numerycznym zaimplementowano, otrzymany doświadczalnie model reologiczny zawiesin drożdży w roztworze cukru, co zastosowano w przypadku analizy wpływu modelu burzliwości na rezultaty symulacji numerycznych. Zastosowanie modelu bilansu populacji pęcherzy gazowych, umożliwiło szczegółową charakterystykę zbioru cząstek fazy rozproszonej, jak również, uwzględniając lokalne wartości udziału gazu zatrzymanego w cieczy, wyznaczenie wielkości powierzchni kontaktu międzyfazowego ciecz – gaz.

W ramach analizy jakościowej, wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono w postaci konturowych pól rozkładu lokalnych wielkości parametrów hydrodynamicznych w wybranych przekrojach promieniowych i osiowych aparatu, tj. udziału gazu zatrzymanego w cieczy, prędkości cieczy, energii kinetycznej oraz szybkości jej dyssypacji, a także przeciętnej średnicy pęcherzyków gazu. Kierunek cyrkulacji cieczy zobrazowano za pomocą rozkładów wektorów stycznych do powierzchni analizowanych przekrojów. W ramach analizy ilościowej przedstawiono analizowane wielkości w badanych układach, w zależności od natężenia przepływu gazu ujętego w postaci bezwymiarowej zmodyfikowanej liczby Froude'a Fr_g , z uwzględnieniem zmiennych procesowych, jak również lokalizacji w aparacie. Uśrednione wyniki obliczeń numerycznych porównano z wynikami uzyskanymi doświadczalnie, uzyskując zadowalającą zgodność, wskazującą na poprawny dobór modeli szczegółowych w modelu numerycznym.

Mikhał Jonejko