

STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ PT.:

Badania hydrodynamiki hybrydowego fluidyzacyjnego aparatu airlift z cyrkulacją zewnętrzną

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest analiza charakterystyki hydrodynamicznej hybrydowego fluidyzacyjnego aparatu airlift z zewnętrzną cyrkulacją cieczy. Aparat ten jest modyfikacją trójfazowego aparatu airlift. Łączy on w sobie zalety zarówno aparatu fluidyzacyjnego pracującego w układzie ciecz-ciało stałe jak i aparatu airlift. Jedynym z potencjalnych zastosowań aparatu hybrydowego są procesy mikrobiologiczne. W przypadku bioprocessów, osadzenie mikroorganizmów na nośniku stałym znajdującym się w stanie fluidalnym powoduje wzrost ogólnego stężenia biomasy w aparacie. Ponadto fluidyzacja polepsza wymieszanie reagentów oraz przeciwdziała zarastaniu złoża przez mikroorganizmy, które stanowi istotny problem w bioreaktorach ze złożem stacjonarnym. Z kolei napowietrzanie aparatu, oprócz wprowadzania tlenu do układu reakcyjnego, powoduje cyrkulację cieczy. Dzięki temu, nie ma potrzeby instalacji w aparacie dodatkowego urządzenia wymuszającego jej przepływ.

Jedną z wad układów trójfazowych jest występowanie naprężeń ścinających powodowanych przez tworzenie się i przepływ pęcherzy gazowych. W przypadku hodowli delikatnych komórek mikroorganizmów albo tkanek roślinnych lub zwierzęcych, wspomniane naprężenia ścinające mogą powodować niszczenie tych komórek. Zaproponowany aparat hybrydowy pozwala na oddzielenie strefy barbotażu od strefy fluidyzacji poprzez umieszczenie tych stref jedna nad drugą. Pęcherze gazowe powstające w strefie barbotażu, znajdującej się w górnej części strefy wznoszenia. Przy odpowiednio dobranych parametrach ruchowych i konstrukcyjnych pęcherze te nie dostają się do strefy opadania, a w efekcie również do strefy fluidyzacji. Dzięki temu nie powodują zrywania warstwy biofilmu.

W zakresie przeprowadzonych prac badawczych znalazły się, między innymi badania doświadczalne, w ramach których wykonano pomiary prędkości mediów w aparacie, stopnia zatrzymania gazu oraz porowatości złoża fluidalnego. Ponadto, utworzony został własny model analityczny wyprowadzony z użyciem metody globalnego bilansu pędu w

aparacie. Przeprowadzone zostały również badania znacznikowe dotyczące rozkładu czasu przebywania cieczy w aparacie oraz symulacje CFD (ang. *computational fluid dynamics* – obliczeniowa dynamika płynów) wybranych stref aparatu.

Model analityczny sformułowano w oparciu o założenie, że siłą napędowa procesu cyrkulacji cieczy w aparacie jest różnicą średniej gęstości płynu między strefą barbotażu a strefą opadania. W stanie ustalonym siła napędowa jest całkowicie równoważona przez opory hydrauliczne. Założono również, że ciecz ulega całkowitemu odgazowaniu w górnym zbiorniku, a złoże znajduje się w stanie fluidalnym.

Wyniki badań empirycznych i teoretycznych przedstawiono w postaci zależności prędkości pozornej cieczy w aparacie, stopnia zatrzymania gazu i porowatości złoża fluidalnego w zależności od prędkości pozornej gazu. Badania zostały przeprowadzone z użyciem złoża o różnej średnicy cząstek i różnej gęstości oraz dla trzech różnych średnic strefy opadania, odpowiednio 0,03 m, 0,05 m i 0,08 m.

Przeprowadzone badania znacznikowe umożliwiły określenie struktury przepływu cieczy przez wybrane strefy aparatu. W oparciu o rozkłady czasu przebywania znacznika mierzone w dopływie oraz wypływie z danej strefy wyznaczono wartości liczby Pecleta poszczególnych stref oraz całego aparatu. Badania te przeprowadzono dla różnych prędkości pozornych cieczy w aparacie oraz różnych średnic strefy opadania.

Dla stref opadania i przydennej wykonano również symulacje CFD, których celem była szczegółowa analiza struktury przepływu cieczy w tych strefach. Badania doświadczalne wykazały pewne rozbieżności między wartościami teoretycznymi a wyznaczonymi doświadczalnie. Prędkość cieczy obliczona na podstawie modelu analitycznego posiadała znacznie większą wartość niż wynikało to z pomiarów. Również wyznaczone wartości liczby Pecleta posiadały wartości inne, niż wynikałoby to z doniesień literaturowych. Modelowanie CFD pozwoliło na analizę pracy wybranych stref aparatu i potwierdzenie poczynionych założeń.

Przeprowadzone badania doświadczalne i symulacje numeryczne pozwoliły na weryfikację zaproponowanego modelu analitycznego oraz jego założeń, jak również umożliwiły określenie zakresu jego stosowalności. Badania znacznikowe i symulacje CFD umożliwiły również identyfikację zjawisk, które nie były pierwotnie uwzględnione w równaniach modelowych, oraz na ocenę ich wpływu na właściwości hydrodynamiczne aparatu. Pozwoliło to na modyfikację zaproponowanego modelu analitycznego oraz poprawę jego ilościowego dopasowania do wyników doświadczalnych.