Pompa wirowa odpieniająca (z separatorem piany) do pompowania cieczy o właściwościach wysokodyspersyjnych

mgr inż. Paweł Tomtas

Promotor

dr hab. inż. Tomasz P. Olejnik, prof. uczelni

Streszczenie

Piana w procesach technologicznych powstaje w trakcie intensywnych procesów mechanicznych, chemicznych oraz termicznych wywołujących uwalnianie gazu. W wielu przypadkach, tworzenie się piany oraz jej oddziaływanie na proces technologiczny jest niekorzystny. Największe skłonności do powstawania piany, mają ciecze, które zawierają w swoim składzie roślinne soki komórkowe (np. uzyskiwane w przetwórstwie ziemniaków, buraków cukrowych, owoców, warzyw), zhydrolizowane surowce naturalne (mąki zbóż, soja, kukurydza), melasę, wywar gorzelniczy. Wysoką pianotwórczość posiadają podłoża i płyny pofermentacyjne sporządzone z wyżej wymienionych surowców, zawierające produkty autolizy komórek mikroorganizmów. Dobre właściwości pianotwórcze wykazują też białka mleka podobne budową do łatwo adsorbującej się na powierzchni granicy faz kazeiny-β.

Piana nie jest układem metastabilnym i pozostając w pozornej równowadze ulega powolnemu rozpadowi. Ponieważ piana ulega samoistnej, lecz w warunkach prowadzenia procesu technologicznego nieakceptowalnej z uwagi na długi czas trwania degradacji, konieczne jest podejmowanie działań zapobiegających tworzeniu się oraz likwidujących powstałą pianę.

W praktyce przemysłowej najczęściej stosuje się dwa sposoby niszczenia piany tj. oddziaływania fizyczne, w których do niszczenia piany wykorzystywane są mechanizmy gwałtownej zmiany ciśnienia, działania sił tnących, ściskających, uderzeniowych lub ultradźwięków oraz metody chemiczne, polegające na dodaniu do cieczy środa odpieniającego (inhibitora), którego zadaniem jest zmniejszenie intensywności powstawania piany lub likwidacja piany, która się już pojawiła, lub też dodaniem środka przeciwpiennego do cieczy przed wystąpieniem piany.

Chemiczne metody odpieniania, choć szeroko rozpowszechnione, mają szereg wad, wśród których najważniejszą jest to, że nie jest to dodatek obojętny dla przebiegu reakcji zachodzących w odpienianej cieczy oraz powodujący jej zanieczyszczenia, co nie może być akceptowalne ze względów technologicznych. Powstaje zatem dylemat, czy chemiczne środki przeciwpienne są substancjami pomocniczymi w produkcji, czy należy je traktować jako dodatek do żywności. Aktualnie w branży spożywczej, przy coraz większej świadomości związanej z przemysłowymi metodami produkcji żywności, poszukuje się produktów wolnych od środków chemicznych, nawet mimo deklaracji producentów o ich obojętności dla zdrowia,

a jednocześnie zachowujących wszystkie cenne właściwości. Dlatego też udział mechanicznych metod likwidacji piany będzie się zwiększać. Szczególnie dotyczy to producentów żywności stawiających na wysoką jakość oferowanych tzw. czystych produktów.

Mając powyższe na uwadze, tematykę badań podjętych w ramach pracy stanowi aspekt mechanicznego sposobu usuwania fazy gazowej (piany) z cieczy technologicznych w przemyśle spożywczym. Sfomułowano cel pracy, którym było zaprojektowanie, budowa, oraz doświadczalna weryfikacja parametrów pracy urządzenia likwidującego pianę metodą mechaniczną, zdolnego pompować ciecze o zawartości nawet do kilkudziesięciu procent fazy gazowej z jednoczesnym rozdziałem na fazę ciekłą, poddawaną dalszym procesom technologicznym oraz separowaną i usuwaną z układu hydraulicznego fazę gazową.

Pracę podzielono na dwie części: teoretyczną i badawczą.

W części teoretycznej opisano mechanizm powstawania piany i jej rodzaje, zależne od udziału objętościowego fazy gazowej oraz wskazano negatywne czynniki oddziaływania piany na prowadzenie procesu technologicznego w przemyśle spożywczym. Omówiono wpływ podstawowych właściwości fizykochemicznych cieczy na pracę pomp, takich jak ciężar właściwy, lepkość, nieściśliwość, parowanie oraz zdolność cieczy do rozpuszczania lub wydzielania gazów. Ponadto, opisano przepływ dwufazowy ciecz – gaz w rurze ssącej pompy wirowej, w której zidentyfikowano i wyodrębniono dziewięć schematów przepływu, determinujących wydajność i udział objętościowy gazu oraz opisano mechanizm blokowania pompy wirowej w zależności od udziału fazy gazowej.

W rozdziale 6 opisano mechaniczny proces destrukcji piany opierający się głównie na wykorzystaniu siły ścinającej, siły odśrodkowej oraz gwatłownych zmian ciśnień i uderzeń.

W części badawczej opisano budowę i zasadę działania projektowanego urządzenia oraz dwóch stanownisk badawczych służących do badań przepływowych i skuteczności destrukcji piany.

Pompa zaprojektowana i zbudowana została jako zespół pompowy posadowiony na ramie i składa się z trzech głównych sekcji: hydraulicznej (obudowa z wirnikami i przegrodą), zespołu łożyskowego z uszczelnieniem dławnicowym oraz silnika elektrycznego napędu pompy. Sekcja hydrauliczna składa się z komory podzielonej przegrodą z otworem/otworami oraz dwóch wirników osadzonych na wspólnym wale. Pierwszy z wirników (separująco – pompujący), oddziela pianę i pompuje ciecz, wirnik drugi, w trzy lub dwuetapowym procesie destrukcji,

mechanicznie rozbija powstałą pianę i usuwa powietrze oraz pozostałości cieczy. Dwu lub trzy etapowy proces destrukcji piany realizowany jest poprzez odpowiednią konfigurację elementów roboczych pompy tj. przegrody dzielącej komorę pompy i wirnika niszczącego pianę. Zaprojektowane przegrody (3 rodzaje) i wirniki niszczące pianę (2 rodzaje) pozwoliły na konfigurację trzech zestawów elementów roboczych, oznakowanych odpowiednio jako zestaw I, zestaw II i zestaw III, które badano na stanowiskach i w trakcie symulacji CFD (Computational Fluid Dynamics).

W rozdziale 12 omówiono wyniki przeprowadzonych badań, weryfikujących model numeryczny, zastosowany do obliczeń, w taki sposób, aby najbardziej odpowiadał rzeczywistym warunkom pracy oraz by można było prowadzić symulacje dla pompy jako całości składającej się z obu wirników wraz z przegrodą międzykomorową. Uzyskane wyniki potwierdziły poprawność modelu numerycznego i dały podstawę do przeprowadzenia dalszych prac badawczych.

W rozdziałach 12.2.3, 12.2.4 oraz 12.2.5 zawarto wyniki badań przepływowych i symulacji dla kilku zestawów konfiguracyjnych elementów roboczych pompy. Określono punkty właściwej pracy konfigurowanych zestawów tj. przepływu objętościowego $(\dot{Q})$ oraz ciśnienia (p_2) na wylocie z pompy, dla których zostaje spełniony warunek prawidłowej pracy pompy tj. wypływu cieczy na wylocie pozbawionej fazy gazowej. Z uzyskanych wyników widać, że w przypadku wydatków objętościowych $(\dot{Q})$, najlepsze wyniki uzyskano dla zestawu II – 13,4 m^3/h, a następnie zestawu III – 11,7 m^3/h. Dla zestawu I, średni przepływ stanowi 39% wartości przepływu zestawu II i wynosi 5,3 m^3/h. Analizując ciśnienia na wylocie z pompy (p_2), widać, że one są porównywalne dla każdego z zestawów konfiguracyjnych, co wynika z zależności ciśnienia na wylocie od prędkości końca łopatki wirnika, która z kolei przy zachowaniu tej samej średnicy zewnętrznej wirnika i tych samych obrotów wirnika jest taka stała dla wszystkich przypadków. Ponadto, wyznaczono zależność przepływu objętościowego $(\dot{Q})$ od wielkość średnicy otworu bądź otworów przegrody (d_p) dla wybranych ciśnień na wylocie z pompy (p_2) dla poszczególnych zestawów konfiguracji elementów roboczych pompy. Zależność ma charakter liniowy – dla wszystkich ciśnień na wylocie (p_2) przepływ $(\dot{Q})$ rośnie wraz ze zmniejszaniem się wymiaru d_p. Mniejsza średnica d_p powoduje, że w wirniku separująco - pompującym zwiększa się grubość pierścienia wodnego, a co za tym idzie przetłaczana jest większa objętość cieczy w jednostce czasu.

W rozdziale 12.3 zbadano skłonność projektowanej pompy do wytwarzania tzw. piany wtórnej. Wykazano, że zastosowanie metody chemicznej poprzez dodatki inhibitorów zmienia własności cieczy powodując zmniejszenie skłonności lub zanik skłonności do tworzenia piany. Jednocześnie zastosowane metody mechanicznej destrukcji piany nie wpływa na zmianę własności fizyko chemicznych cieczy. A zatem nie zmniejsza się zdolność do tworzenia piany, po przejściu cieczy przez separator. Prowadzić to może do występowania zjawiska tworzenia tzw. piany wtórnej; urządzenie odpieniające będzie przetłaczać ciecz spienioną, nie powodując blokady przepływu. Proces ten będzie na tyle dynamiczny, że na wylocie z urządzenia będzie powstawała piana. Cieczą badawczą był roztwór soku z buraka ćwikłowego, stosowanego w instalacji do suszenia buraka na barszcz w proszku. Średni wydatek objętościowy wynosił zakładane wcześniej $\dot{Q} \approx 13{,}4\ m^3/h$, a ciśnienie na wylocie $p_2 \approx 0{,}90 bar$. Sok z buraka o objętości 89 dm^3 został 15-krotnie przetłoczony przez układ pomiarowy. Udowodniono, że dla ustalonych warunków pracy pompy nie następuje efekt powstawania piany wtórnej.

W rozdziale 12.4 zbadano i porównano skuteczność destrukcji piany zestawów konfiguracyjnych pompy. Badaną cieczą był sok jabłkowy, mętny, bezpośrednio tłoczony, a skuteczność destrukcji oceniano poprzez pomiar czasu przyrostu cieczy, w przedziałach co 100 ml, do objętości końcowej równej 400 ml wydostającej się z króćca odpływowego modułu destrukcji i spływającego do naczynia pomiarowego. Jednocześnie mierzono wysokość cieczy, a nie piany zbierającej się na powierzchni cieczy. Wyniki przeprowadzonych prób wskazały, że najszybszy przyrost cieczy w naczyniu pomiarowym, a zatem najlepszą skuteczność destrukcji piany dla wszystkich ciśnień sprężonego powietrza wpływającego na intensywność powstawania piany pierwotnej osiągnięto w badanym zestawie konfiguracyjnym II, w procesie trzyetapowej destrukcji piany.

W rozdziale 13 zawarto wnioski ogólne i szczegółowe. Zakładany cel pracy został osiągnięty. Porównanie uzyskanych parametrów pracy pompy dla trzech zestawów konfiguracji elementów roboczych pompy wykazało, że najlepsze parametry wykazuje zestaw II, zarówno pod względem wartości przepływu objętościowego ($\dot{Q} = 13{,}4\ m^3/h$), jak również stabilności ciśnienia (p_2) na wylocie oraz szybkości destrukcji piany. Projektowanie kolejnych wielkości typoszeregu pomp będzie się opierało na II zestawie konfiguracyjnym elementów roboczych pompy.