

Streszczenie

Celem pracy oraz przedmiotem badań eksperymentalnych i teoretycznych było wykazanie możliwości jednoczesnego wykorzystania techniki filmowej i fotograficznej do rejestracji struktur przepływu dwufazowego z wrzeniem i pomiaru lokalnych wartości stopnia zapełnienia minikanalu.

Do analizy powyższych zagadnień w badaniach eksperymentalnych zastosowano własną procedurę pomiarową i obliczeniową, utworzoną w programie MathWorks Matlab i wykorzystującą techniki analizy optycznej materiału fotograficznego i filmowego, zgromadzonego przy użyciu szybkiej kamery filmowej.

Przepływ dwufazowy z wrzeniem realizowany był dla poziomej orientacji przestrzennej i dla dwóch konstrukcji minikanalu, o przekroju kwadratowym z grzejnikiem w postaci cienkiej folii z materiału oporowego i o przekroju prostokątnym z masowym grzejnikiem miedzianym.

Zaprojektowano i napisano oprogramowanie przetwarzające dane gromadzone przy użyciu kamery szybkiej filmowej w języku M – MathWorks Matlab dla zrealizowanych wcześniej układów zasilania minikanalu oraz układów sterowania i rejestracji ruchu kamery termowizyjnej i filmowej, wraz z towarzyszącym oprogramowaniem sterującym w języku G – LabView.

Zadaniem programu sterującego stanowiskiem (LabView) było pozycjonowanie kamer w położeniu bazowym, jednoczesny lub indywidualny przesuw kamer o zadaną odległość, odczyt i zapis mierzonych parametrów.

Procedurę eksperymentalną rozpoczynało wygrzanie stanowiska, które miało na celu ustalenie parametrów początkowych. Następnie ustalane były położenia kamery termowizyjnej i filmowej. Po ustawieniu pozycji kamer następował wybór ścieżki zapisu danych pomiarowych oraz ilości próbek pomiarowych do zapisu. Kolejną czynnością było ustalenie strumienia objętości przepływającej cieczy, ciśnienia i temperatury cieczy na wlocie oraz mocy prądu elektrycznego zasilającego grzejnik.

Procedura pomiarowa obejmowała odczyt i zapis: temperatury i ciśnienia na wlocie i wylocie kanału, strumienia objętości przepływającej cieczy, natężenia i napięcia prądu zasilającego grzejnik lub zestaw grzejników, obrazy przepływu dwufazowego w wybranych przekrojach wzdłuż długości minikanalu dla obserwacji prowadzonych na jednej powierzchni minikanalu, dwuwymiarowe rozkłady temperatury na powierzchni zewnętrznej folii grzejnej oraz temperatury w wybranych punktach wewnątrz grzejnika masowego.

Zgromadzone dane, w postaci filmów struktur przepływu dwufazowego, poddano analizie metodą przetwarzania obrazów przez napisane specjalnie do tego celu trzy skrypty w środowisku MathWorks Matlab. Pierwszy skrypt dotyczył przypadku z pojedynczymi małymi pęcherzami pary, drugi pęcherzy dużych i wydłużonych całkowicie widocznych, a trzeci pęcherzy wydłużonych częściowo widocznych, tj. dla przepływu filmowego.

Analiza uzyskanych obrazów polegała na określeniu stopnia zapelnienia w minikanale dzięki zastosowaniu techniki binaryzacji, umożliwiającej zamianę poszukiwanych pęcherzy na postać białej powierzchni, co prowadziło do wyznaczenia wymiarów geometrycznych wykrytych pęcherzy. Zastosowana procedura transformacji geometrycznej dwuwymiarowych obrazów do postaci trójwymiarowej umożliwiała dokładne obliczenie lokalnego stopnia zapelnienia, dla każdego rodzaju struktury przepływu dwufazowego występującego w eksperymencie, dla różnych wartości strumienia ciepła i strumienia objętości, z niższym błędem maksymalnym niż w prezentowanych w literaturze badaniach.

Na podstawie uzyskanych danych eksperymentalnych utworzono zbiorcze zestawienia wyników wartości stopnia zapelnienia w funkcji odległości od wlotu do minikanalu, a także zbudowano mapy przepływu dwufazowego dla obu wersji minikanalów. Dodatkowo dokonano porównania otrzymanych wyników z najczęściej przytaczanymi w literaturze przedmiotu korelacjami stopnia zapelnienia.

W celu weryfikacji otrzymanych wyników dokonano oszacowania maksymalnego błędu określania stopnia zapelnienia dla opracowanej metody, a także pokazano wpływ przybliżenia rzeczywistego kształtu pęcherzy pary na otrzymywane rezultaty badań.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pokazują, że zaproponowana metoda dostarcza dane z odpowiednią dokładnością i stosunkowo małym błędem maksymalnym w porównaniu do alternatywnych metod prezentowanych w literaturze.

Słowa kluczowe: wrzenie w przepływie, minikanal, struktury przepływu dwufazowego, analiza obrazu, Matlab, stopień zapelnienia