

Symulacja numeryczna urządzeń termoakustycznych z falą stojącą

Praca doktorska

Krzysztof Rogoziński

Promotor: dr hab. inż. Grzegorz Nowak, prof. PŚ

Dyscyplina naukowa:

Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka

Politechnika Śląska

Gliwice 2021

Streszczenie

Symulacja numeryczna urządzeń termoaakustycznych z falą stojącą

Dysertacja dotyczy modelowania pracy urządzeń termoaakustycznych z wykorzystaniem różnej klasy modeli. W ramach badań wykorzystywano różne sposoby numerycznego podejścia do symulacji procesów cieplno-przepływowych zachodzących w urządzeniach termoaakustycznych oraz porównywano je z wynikami rozwiązania analitycznego równań Rotta. Analizowane modele obejmowały przypadki jedno- dwu- i trójwymiarowe rozwiązywane za pomocą różnego oprogramowania numerycznego.

Powszechnie wykorzystywanym programem do obliczeń termoaakustycznych, bazującym na jednowymiarowym, numerycznym rozwiązaniu równań Rotta jest platforma DeltaEC. Ponieważ jest to narzędzie niekomercyjne, posiada ono szereg ograniczeń, a jego świadome stosowanie wymaga dogłębnych studiów. W efekcie w pracy omówiono tok postępowania podczas budowy modelu, definiowania warunków brzegowych oraz ustawień programu prowadzących do jego stabilnej pracy. Przeprowadzone symulacje traktowane jako referencyjne walidowano przy pomocy własnego rozwiązania analitycznego.

Dalszy etap badań opierał się na wykorzystaniu oprogramowania komercyjnego Ansys CFX oraz Ansys Fluent, które bazują odpowiednio na metodzie objętości skończonych i metodzie elementów skończonych. Ponieważ modele jednowymiarowe nie odzwierciedlają lokalnie zachodzących zjawisk, modelowanie w wyższych wymiarach jest pożądane i daje szansę na uzyskanie wyników znacznie bliższych warunkom rzeczywistym. Najczęściej, ze względu na konieczność zadbania o akceptowalny czas obliczeń, modelowania prowadzone jest w układzie płaskim.

Ponieważ wymiana ciepła w programie DeltaEC jest arbitralna i nie ma możliwości jej modyfikacji, a także ze względu na obserwowane w literaturze daleko idące uproszczenia w tym zakresie, zdecydowano się na bardziej szczegółowe przeanalizo-

wanie wymiany ciepła za pomocą CFD. W tym celu badano zjawiskach zachodzące w obrębie stosu oraz wymienników ciepła podczas oscylacyjnego ruchu gazu. Symulacje wykazały, że dla kanałów stosu, zwykle o bardzo małych rozmiarach, stosowanie popularnych korelacji do wymiany ciepła jest niewłaściwe. Zauważono także, że optymalna wymiana ciepłą zachodzi przy głębokości penetracji termicznej równej w przybliżeniu promieniowi hydraulicznemu kanału. Przeprowadzenie tego typu symulacji, ze względu na czas obliczeń, wymagało odpowiedniego ograniczenia domeny obliczeniowej i zastosowania dynamicznych warunków brzegowych definiowanych za pomocą opracowanego skryptu UDF.

W kolejnym etapie przeprowadzono symulacje numeryczne pracy silnika termoakustycznego. Przedstawiono sposób przygotowania siatki numerycznej z użyciem programu ICEM CFD, a także pokazano sposób definiowania warunków brzegowych dla trzech różnych stopni uproszczenia modelu 2D. Opisano również podejście do modelowania silników fali stojącej zapewniające samoczynne wzbudzenia oscylacji termoakustycznych. Ze względu na długi czas obliczeń pojedynczego wariantu, przedstawiono sposób przyspieszenia osiągnięcia stanu ustalonego, dzięki wprowadzeniu wstępnego rozkładu ciśnienia w urządzeniu. Wyniki porównano z rezultatami dostarczonymi przez program DeltaEC, a także omówiono obserwowane przyczyny różnic w rozwiązaniach.

Następnie przedstawiono koncepcję silnika podwójnego, który złożony jest z dwóch silników fali stojącej połączonych wspólnym tłokiem. Oba silniki pracują z przesunięciem fazowym względem siebie zapewniając ciągły dopływ mocy do tłoka. W ramach badań zbudowano model numeryczny takiego urządzenia oraz przeprowadzono symulacje jego pracy. Określono m. in. wpływ bezwładności tłoka na uzyskiwane parametry pracy. Modelowanie wymagało użycia dynamicznego przesiatkowywania modelu związanego z ruchem tłoka. Dynamikę tłoka odzwierciedlono przy pomocy autorskiego skryptu UDF.

Ostatnim etapem prac było modelowanie pracy chłodziarki Hofflera zasilanej falą akustyczną pochodzącą z głośnika. Modelowanie przeprowadzono w układzie 3D analizując wpływ stosunku amplitudy ciśnienia do ciśnienia średniego (DR) na wymianę ciepła w urządzeniu. Wyniki pokazały, że istnieje optymalna wartość DR zapewniająca najwyższą efektywność pracy chłodziarki.