

Streszczenie pracy doktorskiej mgr. inż. Filipa Wasilczuka pod tytułem:

Fluidic Control of Shroud Leakage Flow in Gas Turbine

(Polski: Zastosowanie Strugi do Redukcji Przepływu w Uszczelnieniu Nadłopatkowym Turbiny Gazowej)

W pracy przedstawiono nową metodę redukcji przecieku w uszczelnieniu labiryntowym w turbinie gazowej. Technika kurtyny powietrznej wykorzystuje różnicę ciśnień występującą w uszczelnieniu do wytworzenia strug w szczelinie nad żebrami uszczelnienia. Strugi generowane są przy użyciu kanałów umieszczonych w żebrach uszczelnienia. Strugi blokują przepływ w szczelinie i zwiększają dyssypację energii kinetycznej poprzez wytworzenie wirów wzdłużnych na krawędziach kanału.

Badania nad pasywną kurtyną powietrzną poprzedziły obszerne badania wstępne nad fizyką przepływu przez uszczelnienie labiryntowe. Pozwoliło to na zbadanie różnych lokalizacji kurtyny powietrznej. Przeprowadzono też analizę parametryczną geometrii kanału, w oparciu o ograniczenia technologiczne. Ustalono, że użycie kilku mniejszych kanałów rozłożonych równomiernie w kierunku obwodowym jest rozwiązaniem bardziej korzystnym, niż użycie jednego większego kanału. Ponadto zbadano jakie uproszczenia można zastosować w modelu uszczelnienia labiryntowego bez utraty jego ważnych cech, przy jednoczesnej prostocie modelu. Pośród sprawdzonych uproszczeń modelu można wymienić: uproszczenie geometrii uszczelnienia, badanie wpływu warunków brzegowych i prędkości obrotowej na przepływ w uszczelnieniu.

Dodatkowo zaprojektowano stanowisko badawcze do pomiaru przepływu i rozkładu ciśnienia w dla różnych konfiguracji uszczelnienia. Pomiary przeprowadzono dla czterech wysokości szczeliny (0.6, 0.75, 1.0, 1.2 mm) i dla stosunku ciśnień od 1.05 do 1.95. Użyto dwóch zestawów warunków brzegowych – z ciśnieniem atmosferycznym na wlocie i z ciśnieniem na wlocie odpowiadającym ciśnieniu w stopniu turbiny. Wykorzystano trzy wersje geometrii żeber – geometrię referencyjną (grubość żebra 0.8 mm), geometrię z poszerzonymi żebrami (grubość żebra 2.6 mm) i geometrię z kurtyną powietrzną (grubość żebra 2.6 mm). W oparciu o wyniki pomiarów zwalidowano model numeryczny RANS i LES. Ponadto zbadano wpływ zastosowania kurtyny powietrznej w stopniu turbiny.

Pomiary i obliczenia numeryczne pokazały skuteczność pasywnej kurtyny powietrznej w redukcji przecieku w uszczelnieniu labiryntowym dla szerokiego zakresu parametrów przepływu. Skuteczność metody zależna jest od wysokości szczeliny. Dla najmniejszej szczeliny $h=0.6$ mm, osiągnięto do 8% redukcji przecieku, podczas gdy dla największej $h=1.2$ mm do 16%. Porównanie wyników pomiarów z wynikami symulacji pokazało dość dobrą zgodność wartości przecieku w uszczelnieniu dla użytych modeli turbulencji (do 10% różnicy). Ponadto oba modele dobrze przewidywały rozkład ciśnienia na obudowie dla przypadku z kurtyną powietrzną. Dla przypadku referencyjnego model turbulencji

Spalara-Allmarasa bardzo dobrze przewidział rozkład ciśnienia w całym obszarze objętym pomiarem. Model $k-\omega$ SST w obszarze między żeberkami pokazał poprawny trend rozkładu ciśnienia, jednak jego wartość była niedoszacowana.

Obliczenia RANS i LES pozwoliły na analizę wpływu kurtyny powietrznej na strukturę przepływu. Struga utworzona przez przepływ w kanale blokuje przepływ w części szczeliny, w której obecny jest kanał. W pozostałej części szczeliny, prędkość rośnie. Zablockowanie przepływu w części szczeliny powoduje nierównomierność przepływu w kierunku obwodowym i powstawanie wirów wzdłużnych. Para symetrycznych, przeciwbieżnych wirów wzdłużnych generowana jest na krawędziach kanału. Druga para symetrycznych wirów przeciwbieżnych powstaje w strefie między kanałami. Nierównomierność obwodowa powstała w wyniku zastosowania kurtyny powietrznej zwiększając energię kinetyczną turbulencji, co wpływa na poprawę efektywności uszczelnienia. Na bazie symulacji LES stworzono spektrum energii kinetycznej dla przypadku referencyjnego i z kurtyną powietrzną. Spektra potwierdzają zwiększenie energii kinetycznej turbulencji w przypadku z kurtyną powietrzną.

Wprowadzenie kurtyny powietrznej do stopnia turbiny zmniejsza przeciek przez uszczelnienie i powoduje wzrost mocy generowanej i efektywności stopnia. Przedstawiono analizę struktury przepływu, pokazującą że efektywność kurtyny powietrznej mogła by wzrosnąć, jeśli geometria kanału uszczelnienia zostały by zoptymalizowane dla pracy w wirującym uszczelnieniu. Porównano również strukturę przepływu dla przypadku kurtyny powietrznej w turbinie i w konfiguracji eksperymentalnej.