

Instytut Maszyn Przepływowych PAN

Ośrodek Energetyki Ciepłej

Zakład Turbin

mgr inż. Dawid Zaniewski

Promotor: dr hab. Inż. Piotr Lampart

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Klonowicz

Data: 18.03.2024



Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Badania układu przepływowego turbiny z częściowym zasilaniem i stopniowaniem prędkości w pojedynczym wieńcu wirnikowym”

Turbiny ciepłe są powszechnie używane w różnych zastosowaniach energetyki zawodowej, energetyki rozproszonej oraz w napędach mobilnych. Szczególnie technologia szybkoobrotowa w skali mikro cieszy się szczególnym zainteresowaniem badawczym ze względu na jej szerokie wykorzystanie we wspomnianej energetyce rozproszonej. Prace rozwojowe w dziedzinie gazodynamiki turbin skupiają się na dwóch głównych aspektach: ciągłym udoskonalaniu efektywności maszyn oraz zwiększaniu ich gęstości mocy. Szczególnie w mikro napędach mobilnych, jak np. używanych do zasilania narzędzi pneumatycznych gęstość mocy odgrywa szczególne znaczenie.

Zabieg stopniowania prędkości niesie za sobą korzyści w postaci redukcji gabarytów maszyny (lub zmniejszenia jej prędkości obrotowej). Szczególnie przy wspomnianych napędach pneumatycznych często wyzwaniem jest stosowanie niskiego strumienia masowego czynnika zasilającego, w związku z czym oprócz zabiegu stopniowania prędkości wykorzystywane jest również częściowe zasilanie wieńca łopatek, co ułatwia technologię wykonania i zmniejsza straty na obwodzie wieńca łopatkowego oraz wielkość przecieku nadłopatkowego. Wiąże się to jednak z dodatkowymi stratami charakterystycznymi dla częściowego zasilania. Powszechnie stosowanym rozwiązaniem wykorzystującym oba wymienione wyżej zabiegi jest dwuwieńcowy stopień Curtisa. W niniejszej pracy omówiono rozwiązanie teoretycznie konkurencyjne dla stopnia Curtisa charakteryzujące się stopniowaniem prędkości w pojedynczym wieńcu wirnikowym. Umożliwia to osiągnięcie

jeszcze większej kompaktowości stopnia turbinowego i jednocześnie hipotetycznie zmniejszenie strat wentylacji niezasilanej części wieńca łopatkowego.

W rozprawie tej opisano metodę projektowania tak nietypowego stopnia turbinowego z wykorzystaniem metody 0D oraz symulacji CFD URANS z modelem 2D. Opisano proces opracowania prototypu o mocy nominalnej 5 kW i nominalnej prędkości obrotowej 30000 obr/min. Scharakteryzowano zjawiska przepływowe występujące w przepływie w nominalnym punkcie pracy.

Zbudowano prototyp i wykonano badania eksperymentalne przy zasilaniu sprężonym powietrzem, które umożliwiły opracowanie charakterystyk opracowanego stopnia. Zaprojektowana konstrukcja umożliwiła przeprowadzenie zaplanowanego protokołu badań w 3 różnych wariantach zasilania: w jednym sektorze, w dwóch sektorach oraz we wszystkich trzech sektorach. Wykonane badania doświadczalne umożliwiły wykonanie walidacji używanego modelu obliczeniowego wykorzystującego geometrię 2D. Proces walidacji wykazał, że model 2D może być z powodzeniem stosowany do przewidywania wydajności turbiny wykorzystującej zabieg stopniowania prędkości w jednym wieńcu wirnikowym z częściowym zasilaniem przy wykorzystaniu zabiegów korygujących. Otrzymane względne odchylenie wyników eksperymentalnych od wartości uzyskiwanych na drodze symulacji CFD można z powodzeniem linearyzować w funkcji prędkości obrotowej, a w większości zbadanych zakresów interpolacja ta jest funkcją w przybliżeniu stałą.

Zwalidowany model posłużył do wykonania serii badań analitycznych skupiających się na fenomenach przepływowych związanych z częściowym zasilaniem, ale charakterystycznym dla badanego typu stopnia, w którym kierunek przepływu jest odwracany w każdym kolejnym sektorze zasilania. Analizy wykazały odstępstwa w porównaniu do mechanizmów powstawania strat częściowego zasilania w klasycznie częściowo zasilanych stopniach. Wskazano istnienie fenomenu przecieku międzysektorowego, omijającego całkowicie układ przepływowy po opuszczeniu dyszy, oraz efekt częściowego odzysku energii na wejściu do sektora drugiego stopnia prędkości. Wskazano wrażliwość intensywności tych efektów na poszczególne parametry przepływowe (szczególnie na ciśnienia za dyszą) oraz aspekty geometryczne stopnia.

W pracy wyznaczono również wielkość strat częściowego zasilania w badanym prototypie bazując na opracowanej metodzie hybrydowej, łączącej wyniki eksperymentalne osiągnięte w trzech wariantach zasilania prototypu z symulacją CFD RANS 3D, przy czym

warunki brzegowe symulacji były wspierane przez wyniki otrzymane podczas eksperymentu. Wyznaczone wartości strat częściowego zasilania w funkcji wskaźnika prędkości, dla badanej stałej geometrii stopnia wykazały rozbieżności w porównaniu do modeli analitycznych opracowanych dla klasycznie częściowo zasilanych stopni.