

Streszczenie proponowanego projektu do wiadomości publicznej

Celem tego projektu jest poprawa bezpieczeństwa i niezawodności systemów sprężania poprzez opracowanie nowej metody analizy niebezpiecznych niestabilności przepływu bez ryzyka uszkodzenia maszyny. Sprężarki są powszechnie stosowane w silnikach lotniczych, systemach przemysłowych oraz w energetyce. Jednym z najpoważniejszych i najmniej poznanych wyzwań związanych z ich eksploatacją jest surge — gwałtowna niestabilność, podczas której przepływ powietrza odwraca swój kierunek. Surge może prowadzić do silnych drgań, hałasu, uszkodzeń mechanicznych, a nawet całkowitego wyłączenia systemu. Ponieważ testowanie tego zjawiska w rzeczywistych maszynach wiąże się z ryzykiem i możliwością zniszczeń, inżynierowie często nie dysponują wiarygodnymi danymi pozwalającymi zrozumieć, jak i kiedy ono występuje.

Tym, co wyróżnia to podejście, jest jego hybrydowy charakter. Łączymy dobrze znany model analityczny surge'u — model Greitzera — z symulacjami CFD. Zamiast symulować całą sprężarkę, modelujemy jedynie przestrzeń międzystopniową (plenum) o zmiennej objętości, natomiast sprężarkę i przepustnicę traktujemy jako warunki brzegowe oparte na równaniach matematycznych. Pozwala to na analizę, jak zmiany objętości wpływają na dynamiczną odpowiedź całego układu, przy znacznie niższym koszcie obliczeniowym i mniejszej niestabilności numerycznej. Ta metodologia umożliwia badanie, w jaki sposób konkretne cechy plenum — takie jak jego objętość, kształt czy układ wewnętrzny — wpływają na globalne zachowanie dynamiczne systemu sprężarki, szczególnie w odniesieniu do początku surge'u i narastania oscylacji. Poprzez systematyczną zmianę geometrii plenum i warunków brzegowych możemy obserwować powstałe fluktuacje ciśnienia, propagację fal i efekty sprzężenia zwrotnego w układzie.

Oczekiwane rezultaty projektu obejmują zweryfikowany hybrydowy model predykcji surge'u, zdolny do precyzyjnego wyznaczania granicy surge'u w różnych konfiguracjach systemu. Ponadto model pozwoli ilościowo określić, w jaki sposób cechy fizyczne plenum wpływają na stabilność układu, dostarczając inżynierom narzędzia do optymalizacji projektów pod kątem odporności na surge. W przypadku powodzenia, model może ograniczyć konieczność przeprowadzania kosztownych, pełnoskalowych symulacji CFD we wczesnych etapach projektowania oraz zapewnić wiarygodną metodę oceny ryzyka niestabilności w sposób szybszy i bardziej efektywny. Projekt ten bezpośrednio przyczynia się do bezpieczniejszej i bardziej energooszczędnej pracy sprężarek, łącząc teorię z praktycznym zastosowaniem w dziedzinie maszyn wirnikowych.

Ponadto, przedstawione podejście ma istotne znaczenie dla projektowania systemów maszyn wirnikowych w sektorze lotniczym, motoryzacyjnym oraz energetycznym, gdzie zrozumienie momentu wystąpienia niestabilności może znacząco zwiększyć marginesy bezpieczeństwa i skuteczność strategii sterowania. Oscylacje wywołane nagłymi zmianami objętości plenum są analizowane w celu ujawnienia zachowań rezonansopodobnych, które mogą odwzorowywać rzeczywiste cykle surge'u, co pozwala na oszacowanie jego częstotliwości w warunkach stabilnych. Tym samym badania te nie tylko pogłębiają wiedzę teoretyczną, ale również oferują praktyczne rozwiązania rzeczywistych problemów inżynierskich. Uzasadnieniem dla podjęcia tej tematyki jest znaczący wpływ nieliniowej dynamiki przepływu i oscylacji ciśnienia na stabilność i niezawodność sprężarek osiowych, szczególnie w warunkach surge'u.

Głównym celem tego projektu jest połączenie modelowania teoretycznego z praktyczną implementacją, co pozwoli uzyskać istotne informacje na temat stabilności i zachowania dynamicznego systemów sprężarek osiowych. Systemy te są powszechnie stosowane w różnych zastosowaniach przemysłowych, gdzie niestabilności przepływu muszą być zrozumiane i wykorzystane w celu poprawy wydajności oraz bezpieczeństwa.