

Streszczenie

Przemysł, od przynajmniej 50 lat potrzebuje efektywnej, wydajnej i możliwie najmniej ingerującej w układ turbinowy metody pomiarów częstotliwości drgań wymuszonych łopatek wirnikowych. Jest to niezbędne, żeby zapobiec kosztownym naprawom układów łopatkowych czy nawet śmiertelnym wypadkom. Żadna z metod nie jest na tyle bezinwazyjna i zadziwiająco efektywna w swojej prostocie jak metoda Tip-Timing.

Metoda Tip-Timing pomiaru amplitudy i częstotliwości drgań łopatek, polega na pomiarze czasu przyścia łopatek wirnikowych w kolejnych czujnikach umieszczonych w obudowie i na jego podstawie określenie amplitudy, częstotliwości i fazy każdej z łopatek. W tym celu stosuje się model oscylatora harmonicznego i metodę dopasowania. Jest to zagadnienie odwrotne do zagadnienia, gdzie na podstawie przemieszczeń łopatek wirnikowych metodą aproksymacji określa się amplitudę, częstotliwość i fazę.

W pracy zostały opracowane modele i programy numeryczne określania częstotliwości, amplitudy i fazy drgań każdej z łopatek wirnikowych na podstawie pomiaru czasów przyścia łopatek otrzymanych z minimum trzech czujników umieszczonych w obudowie turbiny oraz czujnika raz na obrót. Analiza drgań została przeprowadzona dla łopatek wirnikowych ostatniego stopnia NP turbiny parowej 380 MW z pomiarów na odwirowni podczas odstawiania turbiny oraz z pomiarów w EC Bełchatów podczas nominalnej pracy 3000 obr./min, łopatek wirnikowych pierwszego stopnia sprężarki silnika SO-3, oraz łopatek wirnikowych stanowiska pomiarowego.

W rozdziale 1 przedstawiono wykaz najważniejszych skrótów i symboli używanych w pracy. W rozdziale 2 przedstawiono wstęp i zakres pracy. W rozdziale 3 przedstawiono przegląd literatury, który zawiera również historię Tip-Timingu. W rozdziale 4 przedstawiono cele pracy.

Rozdział 5 zawiera opis modeli matematycznych i algorytmów użytych w programie TipTimingSolver opracowanym przez autora wraz z niektórymi implementacjami.

W rozdziale 6 w celu weryfikacji napisanego programu przedstawiono porównanie z wynikami z numerycznie symulowanych danych pomiarów Tip-Timing z programu opracowanego w IMP PAN.

W rozdziale 7 porównano wyniki otrzymane z prezentowanego w pracy algorytmu z wynikami badań eksperymentalnych wirnika ostatniego stopnia niskiego ciśnienia podczas odstawiania w odwirowni.

W rozdziale 8 za pomocą programu TipTimingSolver przeanalizowano wpływ ciśnienia w kondensatorze na drgania wymuszone łopatek.

W rozdziale 9 przeanalizowano drgania łopatek wirnikowych ostatniego stopnia niskiego ciśnienia turbiny parowej w nominalnych warunkach pracy wykorzystując opracowany program numeryczny.

W rozdziale 10 przeanalizowano drgania łopatek na własnym stanowisku pomiarowym, porównano zadane parametry drgań z parametrami otrzymanymi opracowanym programem.

Rozdział 11 przedstawia amplitudy i częstotliwości drgań łopatek wirnikowych I stopnia sprężarki silnika lotniczego SO-3. Porównano je również z wynikami eksperymentalnymi i numerycznymi dostępnymi w literaturze.

W rozdziale 12 zamieszczono wnioski i kierunki dalszych prac i badań.

Po ostatnim rozdziale przedstawiono spis literatury.

W końcowej części pracy umieszczono apendyksy od A do H. Apendyks A zawiera wyniki dopasowania częstotliwości dla obszaru EO3 dla danych z odwirowni. Apendyks B zawiera wyniki dopasowania amplitudy dla obszaru EO3 dla danych z odwirowni. Appendix C przedstawia serie czasowe dostępne z elektrowni przy badaniu zjawiska zrywania próżni. Apendyks D przedstawia zmierzoną liczbę łopatek systemem pomiarowym IMP PAN w elektrowni w Bełchatowie przy kilku podejściach. Apendyks E zawiera przykładowy plik wejściowy dla programu TipTimingSimulator. Apendyks F zawiera plik konfiguracyjny pomiarów amplitudy drgań łopatek wirnikowych dla różnych ciśnień w kondensatorze. Apendyks G zawiera wyniki dopasowania częstotliwości i amplitudy drgań łopatek wirnikowych I stopnia sprężarki silnika lotniczego SO-3. Apendyks H zawiera wyznaczenie dokładnego rozstawienia kąтового czujników dla pomiarów amplitudy drgań wirnikowych dla różnych ciśnień w kondensatorze.