

Stanowisko do badań częstotliwości drgań własnych łopatek wirnika przy pomocy wibrometru PSV-500-3D

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.453

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania wibrometru laserowego do wykonywania bezdotykowych pomiarów drgań pozwalających na zastosowanie go jako narzędzie do wielu aplikacji pomiarowych. Autorzy wskazali możliwości efektywnego zastosowania wibrometru laserowego w przemyśle lotniczym do celów projektowania optymalnej geometrii łopatek wirnika, badania wpływu drgań na pracę łopatek oraz w konsekwencji zwiększenia wydajności oraz niezawodności ich pracy.

Słowa kluczowe: wibrometr laserowy

Wstęp

Problem drgań jest zjawiskiem często występującym w życiu codziennym. Oprócz częstotliwości z jaką drga dany obiekt, ważną rolę odgrywa identyfikacja postaci drgań. Dzięki tej wiedzy możemy wykrywać uszkodzenia w badanej strukturze lub sterować drganiami. W Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej przy pomocy wibrometru laserowego prowadzone są badania nad wykorzystaniem w diagnostyce częstotliwości drgań oraz wpływu przenoszonej mocy na drganie łopatek wentylatora.

Poniżej zostanie przedstawione i omówione stanowisko przeznaczone do częstotliwości drgań łopatek wirnika. Stanowisko zbudowano w celu rejestracji i analizy drgań przedmiotowych łopatek, co umożliwi:

- diagnostykę uszkodzeń zmęczeniowych łopatek
- dobór odpowiedniej geometrii łopatek,
- dobór najbardziej wydajnego połączenia uchwyt-łopatki.

Zastosowane w układzie pomiarowym dodatkowe czujniki mają za zadanie rejestrować pozostałe parametry pracy takie jak: hałas, prędkość obrotowa, dokonanie transformaty Fouriera (FFT), określenie częstości drgań własnych oraz zwizualizowanie postaci drgań analizowanego obiektu [2, 5].

1 Wibrometr laserowy

1.1 Zasada działania

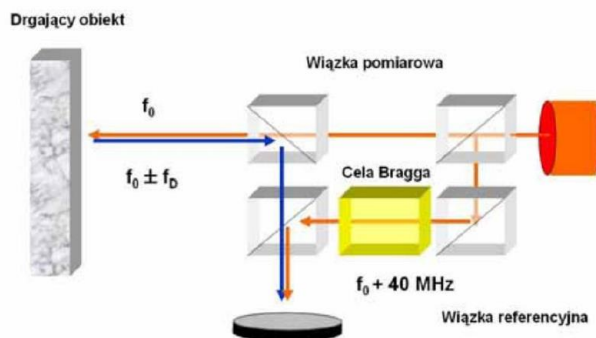
Zastosowany wibrometr laserowy, jest urządzeniem używanym do bezdotykowego pomiaru drgania powierzchni. Zasada działania wibrometru opiera się na porównaniu wiązki lasera odbitej od badanego obiektu i docierającej do fotodetektora ze znanym sygnałem referencyjnym. Wykorzystanie takiego porównania jest możliwe dzięki zastosowaniu zjawiska Dopplera polegającego na zmianie częstotliwości fali wywołanej ruchem źródła fali, bądź też odbiornika (Rys. 1). Wewnątrz głowicy lasera znajduje się interferometr oraz układ soczewek. W głowicy następuje podzielenie wiązki na dwie składowe:

- pierwsza z nich (zwana wiązką referencyjną), kierowana jest bezpośrednio na fotodetektor i przechodzi po drodze przez tak zwaną celę Bragga i w wyniku efektu Dopplera jej częstotliwość zostaje przesunięta o 40 MHz, dzięki czemu jest możliwy pomiar stałej składowej oraz kierunku ruchu badanego obiektu,

- druga kierowana jest na badany obiekt, a po odbiciu od niego wraca z powrotem do głowicy padając następnie na fotodetektor.

Dzięki wykorzystaniu danych z wiązek referencyjnej i pomiarowej, możliwym jest wygenerowanie jest sygnału, który podlega dalszej analizie.

Upraszczając ten proces: przy wzajemnym zbliżaniu się źródła i odbiornika częstotliwość fali rośnie, zatem barwa światła przesuwana się w kierunku fioletu, natomiast podczas oddalania się źródła fali i odbiornika częstotliwość maleje a barwa światła przesuwana się w kierunku czerwieni. Sygnał wyjściowy z przetwornika laserowego jest proporcjonalny do prędkości drgań badanego obiektu. Wykorzystany podczas analizy badawczej wibrometr składa się z trzech niezależnych głowic laserowych oraz stacji przetwarzania danych pomiarowych. Każda z głowic laserowych wyposażona jest w źródło światła laserowego o znanej częstotliwości. Zastosowanie trzech niezależnych głowic umożliwia punktowy pomiar drgań badanego obiektu w trzech wzajemnie ortogonalnych kierunkach [3, 4].



Rys.1. Wykorzystanie zjawiska Dopplera w wibrometrze laserowym [5].

W wibrometrze laserowym skanowanie i układ przetwarzania obrazu umożliwia wizualizację rozkładu amplitud drgań takich jak:

- przemieszczenia,
- prędkości,
- przyspieszenia obiektów o powierzchni od kilku mm² do kilkunastu m².

Zastosowana metoda pomiaru obejmuje kolejno:

- wybór obszaru skanowania,
- dobór parametrów geometrycznych siatki,
- ustalenie parametrów częstotliwościowych skanowania,
- ustalenie sygnału referencyjnego i analizy,
- uruchomienie pomiaru,
- wizualizację wyników [1, 5].

Wibrometr laserowy znajduje zastosowanie w rozwiązywaniu problemów związanych z hałasem oraz drganiami w przemyśle oraz ośrodkach badawczo-rozwojowych, ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu samochodowego oraz lotniczego. Technika wibrometrii laserowej może mieć szczególne zastosowanie w wyznaczaniu częstotliwości drgań własnych elementów maszyn, wykrywaniu wad ukrytych, ocenie stanu połączeń spawanych, klejonych elemen-

tów i powłok z podłożem, optymalizacji konstrukcji inżynierskich ze względu na drgania i hałas emitowany do środowiska, wpływu drgań (wstrząsów) na obiekty, ochronie przeciwdźwiękowej.

Wibrometr laserowy zapewnia pomiar bezdotykowy drgań, dzięki czemu może być skierowany na cele, które są trudno dostępne. Dzięki bezdotykowej metodzie pomiarowej można rejestrować częstotliwości rezonansowe różnego rodzaju przetworników. Ponadto pozwala to na wyeliminowanie zakłóceń spowodowanych masą czujników pomiarowych, a także niską lub wysoką temperaturą punktu pomiarowego. Są to warunki szczególnie istotne przy prowadzeniu badań nad urządzeniami w systemach mikroelektromechanicznych. Pomiar bezdotykowy pozwala na: diagnozowanie maszyn o niskiej prędkości obrotowej wirnika; ponadto pomiar może być realizowany z dużej odległości. Jako przetwornik drgań, wibrometr jest zdolny do współpracy z dowolnym analizatorem drgań o wejściu bezpośrednim. Urządzenie się szerokim pasmem częstotliwościowym, pozwalającym na analizę drgań o prędkości do 10 m/s, w zakresie mierzonych częstotliwości od 0 do 80 kHz. Głowice laserowe wibrometru laserowego PSV-500-3D umożliwiają pomiar z odległości od 42 cm. Dzięki wibrometrowi można dokonać analizy drgań konstrukcji zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. Autorzy przedstawiają wykorzystanie wibrometru laserowego w diagnostyce częstotliwości drgań oraz wpływu przenoszonej mocy na drganie łopatek wentylatora [2, 5].

1.2 Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Politechnika Łódzka dysponuje wibrometrem skaningowym serii PSV-500 firmy Polytec (Rys. 3.). Urządzenie to umożliwia analizę i wizualizację wszelkiego rodzaju drgań strukturalnych. Układ pomiarowy, składa się z: głowicy laserowej, skanującej powierzchnię wiązką lasera oraz jednostki sterująco-pomiarowej, która pozwala na analizowanie wyników. Obiektem badań są łopatkę wentylatora (Rys. 1). Badania trwałości łopatek przeprowadzono przy zmiennej prędkości obrotowej wirnika, zadawanej przy pomocy falownika.



Rys. 2. Łopatkę wentylatora wykorzystywane w śmigle helikoptera Airbus.

Podstawowe elementy stanowiska do badania trwałości łopatek wirnika oraz połączenia uchwyt-łopatkę:

- kontroler OFV-5000
- moduły dekodérów
- głowica skanująca czujnika laserowego OFV- 505,
- falownik,
- karty przetworników analogowo-cyfrowych służących do rejestracji danych pomiarowych,
- układ generatora sygnału wymuszającego,

- stacja przetwarzania danych- jednostka sterująco- pomiarowa- komputer PC z oprogramowaniem pomiarowo-wizualizacyjnym (Rys. 3).



Rys. 3. PSV-500 Wibrometr Skanujący

Jednostka centralna (Rys. 4.) wibrometru składa się z komputera klasy PC z monitorem LCD oraz kart analogowo-cyfrowych umożliwiających przetwarzanie sygnałów w głowicy skanującej. Jednostka sterująco-pomiarowa posiada w pełni sterowalny generator sygnału wymuszającego oraz specjalistyczne oprogramowanie służące do obróbki sygnału pomiarowego.

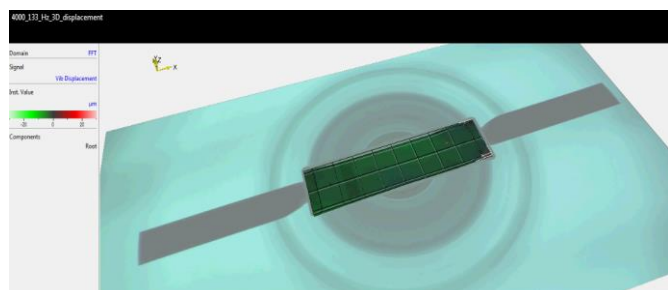


Rys. 4. Stacja przetwarzania danych- jednostka sterująco- pomiarowa

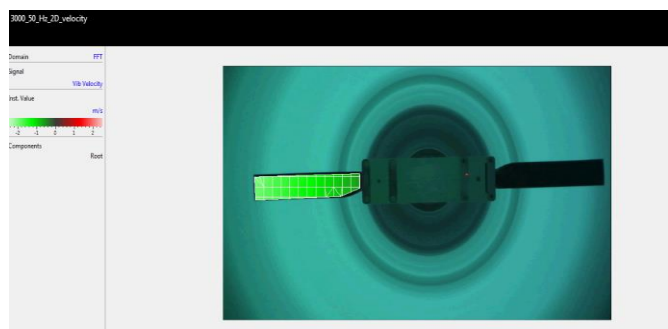
Oprogramowanie wibrometru laserowego umożliwia pełną wizualizację zarejestrowanych danych pomiarowych w dziedzinie częstotliwości.

Moduł skanowania geometrii daje możliwość wyznaczenia geometrii obiektu bezpośrednio na podstawie skanowanej próbki. Poza bezpośrednio mierzonymi prędkościami drgań, dzięki oprogramowaniu jednostki centralnej możliwe jest uzyskiwanie informacji o przyspieszeniach drgań oraz o przemieszczeniach.

Wyniki pomiarów mogą być przedstawione w postaci szczegółowych: wykresów, diagramów, widmowych funkcji przejścia FRF, czy też animacji i map dwu- i trójwymiarowych (Rys. 5. Orz 6 Przykład wizualizacji pracy uchwytu oraz łopatkki).



Rys. 5. Wizualizacja pracy uchwytu przy zadanej prędkości obrotowej.



Rys. 6. Wizualizacja pracy łopatkki przy zadanej prędkości obrotowej.

Wykorzystywane do celów badawczych oprogramowanie pozwala na eksport danych do różnych formatów. Ponadto możliwa jest prezentacja postaci drgań badanego obiektu oraz tworzenie wizualizacji drgań w wybranych przez użytkownika przekrojach konstrukcji [2].

Głowica skanująca (Rys. 7) wyposażona jest w wysokiej jakości optykę pozwalającą na zwiększenie rozdzielczości i czułości optycznej. Głowica pomiarowa wykorzystuje w układzie sterowania wiązkę światła laserowego. Wyposażona jest w kamerę przeznaczoną do obserwacji danego obiektu.

Przed rozpoczęciem badania, za pomocą kamery wprowadzany jest do jednostki centralnej obraz analizowanego przedmiotu, w tym przypadku- łopatek wirnika. Następnie ze zdjęcia obiektu operator wybiera element, który będzie poddawany analizie. Wybór ten polega na obrysowaniu badanej geometrii. Następnie określony zostaje rodzaj pomiaru- badanie jednego, konkretnego punktu lub analiza określonej powierzchni. W przypadku badania całej powierzchni, należy nałożyć siatkę punktów pomiarowych. Gęstość siatki może być zaprojektowana w sposób dowolny- istnieje możliwość sterowania jej zagęszczeniem. W trakcie pomiaru skanująca wiązka lasera przechodzi od punktu do punktu. W celu zwiększenia dokładności otrzymanych wyników, pomiar można zaprogramować,

tak aby np. w każdym punkcie był wykonywany kilka razy w jednym cyklu [2].



Rys. 7. Głowica skanująca OFV 505 [4]

Kontroler OFV- 5000 (rysunek 8) jest dekoderym, mającym budowę modułową, która pozwala na przetwarzanie pomiaru częstotliwości, prędkości i przemieszczenia w oparciu o zainstalowaną w jednostce sterującą aplikację. Pozwala na przeprowadzanie pomiarów prędkości w zakresie ± 10 m/s i przemieszczeń od ułamków nanometrów po metry, w paśmie częstotliwości od składowej stałej do 20 MHz. Ponadto zapewnia elastyczne przetwarzanie sygnału w czasie rzeczywistym.



Rys. 8. Rys. Kontroler OFV- 5000 [4]

Regulację i utrzymanie stałej wartości prędkości obrotowej łopatek wirnika zapewnia falowniki (Rys. 9.). Jego zadaniem jest łagodne uruchamianie całego układu, a także zadawanie procentowego obciążenia. Do celów badawczych wykorzystano falownik LG iS7. iS7 jest to najnowsze rozwiązanie, które w porównaniu do poprzednich serii jest dużo bardziej wszechstronne co do właściwości sterowania silnikami oraz posiada skomplikowane algorytmy, które zapewniają wysokie parametry pracy i precyzję pracy maszyn. Posiada on standardowo stopień ochrony IP54 dla mocy do 22kW. Przemienne posiada bardzo czytelny klawiaturę LCD, na której możemy jednocześnie odczytywać nawet do czterech aktualnych parametrów pracy (częstotliwość, prąd, napięcie, moc, prędkość obrotową, stany wartości zwrotnych itd.). Dodatkowo klawiatura posiada przyciski, które użytkownik może sam zaprogramować na szybki wybór interesującej go funkcji.



Rys. 9. Falownik LG iS7

Użyty do napędu łopatek wirnika został silnik 22kW marki Weg High Efficiency (Rys. 10.), charakteryzujący się wysoką wydajnością i niskimi kosztami eksploatacji przez cały okres użytkowania. Silnik oferuje sprawność w pełnym zakresie mocy i pozwala zmniejszyć straty o 40% w porównaniu z silnikami tej samej wielkości. Trójfazowy silnik indukcyjny wykorzystuje popularną konstrukcję mechaniczną zapewniając mniejsze zużycie energii, większą sprawność, dłuższy okres eksploatacji oraz łatwiejszą obsługę techniczną. Doskonale nadaje się do takich urządzeń przemysłowych jak wentylatory, dmuchawy, pompy i sprężarki. Dzięki takim elementom jak innowacyjna, aerodynamiczna obudowa, ulepszony układ chłodzenia oraz unikatowy system izolacji, pracuje ciszej i z większą niezawodnością, jest łatwiejszy w obsłudze technicznej i bardziej ekonomiczny. Silnik zaprojektowano do pracy w niskiej temperaturze roboczej, co wydłuża czas izolacji i zapewnia długi okres eksploatacji. Kadłub i układ chłodzenia zostały zoptymalizowane, aby zagwarantować wyjątkowy przepływ powietrza do elementów silnika.



Rys. 10. W22 High Efficiency [9]

Podsumowanie

W artykule przedstawiono możliwe wykorzystanie wibrometru w przemyśle lotniczym. Wskazano możliwość aplikacji technik wibrometrii laserowej do diagnostyki eksploatacyjnej łopatek wirnika. Dzięki przeprowadzonym badaniom możliwym jest zaprojektowanie łopatek o bardziej optymalnej geometrii, pozwalającej na redukcję drgań. Dodatkowo warto zastanowić się nad zmianą uchwytu dla łopatek, który w konsekwencji pozwoliłby na redukcję drgań i zapewnił bardziej stabilną pracę łopatek. Wyniki badań pomiaru drgań łopatek wentylatora na proponowanym stanowisku badawczym zostaną przedstawione jako oddzielne opracowanie.

Bibliografia:

1. Cichoń P., Stosiak M., Zastosowanie wibrometru laserowego do pomiaru drgań stołu symulatora liniowego napędu hydrostatycznego, Napędy i sterowanie, Wrocław 2012.
2. Cwikła A., Jurek M., Zastosowanie bezdotykowych technik pomiarowych w analizie drgań, Scientific Bulletin of Chełm Section of Mathematics and Computer Science No. 1/2009, Chełm 2009,
3. Dwojak J., Rzeplińska M., Struzik J., Wykorzystanie wibrometru laserowego do diagnostyki eksploatacyjnej silników elektrycznych na podstawie własnych doświadczeń, Zeszyty Problematyczne – Maszyny Elektryczne Nr 89/2011, Komel, Katowice 2011,
4. Polytec, Instrukcja obsługi LASEROWY WIBROMETR SKANUJĄCY PSV-500-3D
5. Waszczuk- Młyńska A., Radkowski S., Drgania płyty, model analityczny i jego weryfikacja za pomocą wibrometru laserowego, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 4(95)/2013, politechnika Warszawska, Warszawa 2013,
6. <http://pl.brammer.biz/product-family/20657-W22+IE2+%28High+Efficiency%29++Silnik+Indukcyjny+AC+%E2%80%93+Mocowanie+%C5%81apowe?category=177&sort=itemDescription&order=ASC>

Research position for testing the natural frequency of rotor blades using a PSV-500-3D vibrometer

The article presents the possibilities of using a laser vibrometer to perform non-contact vibration measurements, allowing it to be used as a tool for many measuring applications. The authors pointed to the possibilities of effective use of a laser vibrometer in the aviation industry for the purpose of designing the optimal geometry of the rotor blades, studying the impact of vibrations on the work of the blades and, as a consequence, increasing the efficiency and reliability of their work.

Keywords: vibrometer, non-contact vibration measurements

Autorzy:

1. mgr **Joanna Matczak**, doktorantka – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn
2. mgr **Kamil Matczak**, doktorant – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn