

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **240610**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **428505**

(51) Int.Cl.
G01N 33/2045 (2019.01)

(22) Data zgłoszenia: **07.01.2019**

(54) **Urządzenie do wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
13.07.2020 BUP 15/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
09.05.2022 WUP 19/22

(73) Uprawniony z patentu:
UNIwersytet MORSKI W GDYNI, Gdynia, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
LECH MURAWSKI, Gdańsk, PL
ADAM SZELEZIŃSKI, Kościerzyna, PL
ADAM MUC, Kościerzyna, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Anna Kwapich

PL 240610 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych. Ma ono zastosowanie do ciągłego pomiaru, monitorowania i oceny wytrzymałości newralgicznych fragmentów konstrukcji cienkościennych, takich jak kadłub statku, elementy nośne platformy wiertniczej, mostu, korpusu turbiny energetycznej itp. W szczególności znajduje zastosowanie do monitorowania i oceny jakości połączeń spawanych, pracujących w ciężkich warunkach eksploatacyjnych spowodowanych m.in. warunkami atmosferycznymi.

Znane są różnego rodzaju urządzenia i sposoby wykrywania uszkodzeń i/lub wad materiałowych różnych konstrukcji i ich elementów, wykorzystujące różne zjawiska, procesy i właściwości materiałów.

Z polskiego opisu patentowego PL165290 znany jest sposób i urządzenie do sprawdzania tłumików drgań skrętnych polegający na badaniu przebiegu i zmian drgań wahadła sprzężonego z badanym tłumikiem.

Znane są układy i sposoby specjalnego przeznaczenia, których istota polega na obróbce i przetwarzaniu określonych sygnałów w specjalnie zaprojektowanych układach elektronicznych. Z polskiego opisu patentowego PL210597 znany jest sposób i urządzenie do diagnozowania uszkodzeń układu pompowtryskiwacza w silniku spalinowym. Urządzenie posiada połączone ze sobą układy elektroniczne, takie jak układ detektora drgań, przetworniki, czujniki, filtry, układ inicjujący, układ wzmacniająco-filtrujący, układ próbkująco-pamiętający, układ transformacji sygnału, układ rejestrująco-analizujący i układ pamięciowy sygnału wzorcowego. Istota tego rozwiązania polega na odpowiednim połączeniu ze sobą poszczególnych układów elektronicznych i przetwarzaniu sygnału wibroakustycznego generowanego przez silnik oraz porównywaniu tego sygnału z sygnałem wzorcowym.

Jeszcze inną grupę rozwiązań w tej dziedzinie stanowią sposoby i urządzenia wykorzystujące fakt, że uszkodzenie w strukturze elementu konstrukcyjnego powoduje zmianę jego sztywności, która z kolei wywołuje zmiany w propagacji i parametrach różnego rodzaju fal sprężystych.

Znane jest z międzynarodowego zgłoszenia patentowego opublikowanego pod numerem WO2006/026321 rozwiązanie polegające na pokryciu całej powierzchni analizowanego elementu siecią przetworników, którymi w szczególności mogą być przetworniki piezoelektryczne, a następnie detekcji i analizie sygnałów elektrycznych generowanych przez te przetworniki pod wpływem fal sprężystych wywołanych przez zmiany warunków obciążenia struktury elementu. W metodzie tej wyodrębniane i analizowane są różne częstotliwości fali sprężystej oraz analizowane, rejestrowane, przetwarzane i monitorowane są odpowiadające im sygnały elektryczne generowane przez przetworniki, ich częstotliwości, strumień energii i zmiany tych sygnałów.

W opisie zgłoszenia międzynarodowego opublikowanego pod nr WO02/079775 ujawniono sposób i urządzenie do wykrywania uszkodzeń w obiektach, którego istotą jest analiza zmian w parametrach drgań obiektu wywołanych zewnętrzną siłą. Urządzenie posiada generator z szerokim zakresem częstotliwości, z którego próbkujące sygnały za pośrednictwem przetwornika są przekazywane do badanego obiektu w celu określenia częstotliwości jego drgań własnych. Urządzenie ma szereg czujników drgań rozmieszczonych na obiekcie, a także element uderzający stanowiący wzbudnik drgań badanego obiektu oraz blok gromadzenia i przetwarzania danych i komputerowy moduł sterujący. Wzbudnikiem drgań może być młotek mechaniczny lub dowolne inne pobudzenie wywołujące drgania. Wykrywanie uszkodzeń odbywa się poprzez różnego rodzaju analizy sygnałów z czujników, stanowiących odpowiedź obiektu na pobudzenie go do drgań za pomocą wzbudnika drgań.

Urządzenie do wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych według wynalazku posiada impulsowy wzbudnik drgań połączony przewodowo lub bezprzewodowo z modułem sterująco-analizującym oraz czujniki drgań, także połączone przewodowo lub bezprzewodowo z modułem sterująco-analizującym i charakteryzuje się tym, że tworzy go układ mechaniczny składający się z części centralnej zawierającej impulsowy wzbudnik drgań i połączonych z nią co najmniej trzech jednakowych ramion z czujnikami drgań umieszczonymi na ich końcach, przy czym część centralna przytwierdzona jest trwale do badanej konstrukcji, a ramiona są tak ukształtowane, że czujniki drgań łączą się z badaną konstrukcją stykowo. Wszystkie ramiona są jednakowe i mają postać płaskiej belki o takiej sztywności, że ich częstotliwość drgań własnych jest zbliżona do częstotliwości drgań własnych uszkodzonej konstrukcji.

W szczególnie korzystnym wariantcie urządzenie ma nieparzystą liczbę ramion rozmieszczonych równomiernie.

W jednym z wariantów urządzenia impulsowy wzbudnik drgań jest wzbudnikiem elektromagnetycznym i składa się z młotka połączonego z elementem sprężystym połączonym z elektromagnesem.

Korzystnie moduł sterująco-analizujący jest zintegrowany z częścią centralną.

Podstawową zaletą rozwiązania według wynalazku jest znaczne zwiększenie efektywności i skuteczności wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych dzięki budowie urządzenia zapewniającej znaczne wzmocnienie poziomu drgań w rezonansie. Pozwala to na pozyskiwanie takich poziomów sygnałów pomiarowych, które umożliwiają rejestrację i analizę nawet niewielkich różnic w charakterystykach dynamicznych monitorowanej konstrukcji cienkościennych wynikających z jej uszkodzeń.

Przykład realizacji urządzenia do wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych zilustrowany jest rysunkiem, na którym fig. 1 przedstawia widok urządzenia w połączeniu z badaną konstrukcją w przekroju podłużnym, fig. 2 przedstawia widok urządzenia na badanej konstrukcji w przekroju poprzecznym, fig. 3 przedstawia przekrój podłużny wzbudnika drgań na badanej konstrukcji, a fig. 4 przedstawia krzywe rezonansowe badanej konstrukcji nieuszkodzonej i uszkodzonej: fig. 4 a) – wyniki pomiarów bez urządzenia według wynalazku, fig. 4 b) – wyniki pomiarów za pomocą urządzenia według wynalazku.

W przykładowej realizacji wynalazku urządzenie stanowi układ mechaniczny zamocowany trwale do monitorowanej konstrukcji, najkorzystniej w rejonie spodziewanego uszkodzenia. Urządzenie ma cylindryczną część centralną 1 połączoną na swym obwodzie z trzema jednakowymi, równomiernie rozmieszczonymi belkowymi ramionami 2. Część centralna 1 zawiera impulsowy wzbudnik drgań 3, 4, 5 i jest trwale przymocowana do badanej konstrukcji cienkościennych 6, w szczególności poprzez spawanie, w rejonie spodziewanego uszkodzenia, np. spawu 7 płyt tworzących kadłub statku. Na końcach ramion 2 znajdują się czujniki drgań 8. Z częścią centralną 1 zintegrowany jest moduł sterująco-analizujący 9, z którym połączone są, przewodowo lub bezprzewodowo, czujniki drgań 8 i wzbudnik drgań 3, 4, 5. Połączenia te nie są pokazane na rysunku. Ramiona 2 są ukształtowane w taki sposób, aby czujniki drgań 8 stykały się z badaną konstrukcją cienkościenną 6, tzn. aby zapewniony był ich stały styk z tą konstrukcją, zarówno w stanie spoczynku, jak i podczas drgań. Sztywność ramion 2 dobrana jest doświadczalnie tak, aby ich częstotliwość drgań własnych była niewiele niższa, ok. 3–5%, od podstawowej częstotliwości drgań własnych badanej konstrukcji 6 cienkościennych nieuszkodzonej i zbliżona do częstotliwości drgań własnych tej konstrukcji z uszkodzeniem.

Urządzenie w przykładowej realizacji przeznaczone jest do monitorowania i wykrywania uszkodzeń płyty kadłuba statku o grubości 8–10 mm i ma część centralną 1 o średnicy 50 mm zawierającą impulsowy wzbudnik drgań składający się z młotka 3 z końcówką stalową lub teflonową połączonego poprzez element sprężysty 4 z elektromagnesem 5. Ramiona 2 mają długość 200 mm, przekrój 20 mm x 3 mm, a zamocowane na ich końcach czujniki drgań 8 są czujnikami piezoelektrycznymi Bruel & Kjaer typu 4514-B. Przed montażem kąt nachylenia ramion 2 urządzenia do powierzchni monitorowanej konstrukcji cienkościennych wynosi 3–5 stopni, co po przyspawaniu części centralnej 1 urządzenia do monitorowanej konstrukcji cienkościennych 6 zapewnia stały docisk czujników drgań 7 do tej konstrukcji.

Rozwiązanie w swej przykładowej realizacji może być zastosowane do monitorowania i oceny stanu technicznego kadłuba statku. W tym celu jedno lub więcej urządzeń według wynalazku powinno być rozmieszczonych w rejonie spawów 7 płyty kadłuba, gdzie najczęściej spodziewane są uszkodzenia, które mogą być zagrożeniem dla bezpieczeństwa statku. W zadanych okresach czasu element sprężysty 4 wraz z młotkiem 3 jest napinany przez elektromagnes 5 wywołując po zwolnieniu drgania impulsowe konstrukcji cienkościennych 6, które są wykrywane przez czujniki drgań 8. Działanie wzbudnika drgań i rejestracja drgań kontrolowane są przez moduł sterująco-analizujący 9. Na podstawie sygnałów pomiarowych z czujników drgań 8, za pomocą modułu sterująco-analizującego 9 rejestrowane są i analizowane lokalne charakterystyki dynamiczne konstrukcji. Jeżeli w konstrukcji 6 pojawi się uszkodzenie, w szczególności w spawie 7, to jej częstotliwość własna obniży się i dostroi do częstotliwości drgań własnych ramion 2, a w związku z rezonansem dynamicznym, amplitudy mierzone przez czujniki drgań 8 umieszczone na końcach ramion 2, znacząco się zwiększą, sygnalizując uszkodzenie. W ten sposób urządzenie zapewnia silne wzmocnienie poziomu drgań mierzonych czujnikami drgań 8 znajdującymi się na końcach ramion 2, ponieważ po uszkodzeniu konstrukcji jej obniżona częstotliwość drgań własnych jest w bliskim rezonansie z częstotliwością drgań własnych ramion 2. Poglądowo ilustrują to fig. 4a) i fig. 4b). Fig. 4a) pokazuje krzywe rezonansowe konstrukcji nieuszkodzonej i uszkodzonej dla pomiarów dokonywanych bez urządzenia według wynalazku, gdy czujniki umieszczone są bezpośrednio na badanej konstrukcji, a fig. 4b) pokazuje krzywe rezonansowe konstrukcji nieuszkodzonej i uszkodzonej przy pomiarach za pomocą urządzenia według wynalazku. Konstrukcja uszkodzona cechuje się

niewielkim przesunięciem w dół częstotliwości rezonansowej, co przy tym samym poziomie amplitudy w rezonansie jest trudno wykrywalne klasycznymi metodami wibroakustyki. Jak pokazano na fig. 4b), przy pomiarach za pomocą urządzenia według wynalazku, występuje znaczne wzmocnienie amplitudy drgań w rezonansie, co w znacznym stopniu ułatwia i zwiększa dokładność pomiarów.

Różnice w poziomach drgań poszczególnych czujników drgań, znajdujących się przed i za uszkodzeniem, w stosunku do wzbudnika drgań, pozwalają na dodatkowe zwiększenie czułości urządzenia. W przypadku konstrukcji nieuszkodzonej sygnały ze wszystkich czujników powinny być zbliżone, natomiast dla konstrukcji uszkodzonej, charakteryzującej się zwiększonym tłumieniem drgań, pojawią się różnice w poziomach drgań mierzonych przez czujniki, w zależności od ich położenia w stosunku do wzbudnika drgań i uszkodzenia. Moduł sterująco-analizujący 9 może być przystosowany do dowolnej obróbki i analizy sygnałów pomiarowych oraz tworzenia różnych charakterystyk dynamicznych znanymi metodami matematycznymi. W zależności od potrzeb, uszkodzenia mogą być identyfikowane na podstawie różnic amplitudowych, częstotliwościowych, fazowych sygnałów pochodzących z różnych czujników, analizy zmian tłumienia drgań itp. Na monitorowanej konstrukcji można rozmieścić w różnych rejonach wiele urządzeń według wynalazku połączonych z centralnym, zewnętrznym systemem monitoringu obiektu, nie pokazanym na rysunku, tworzących razem sieć z systemem gromadzenia i analizy danych za pomocą dowolnych znanych metod i algorytmów.

Urządzenie umożliwia stałą kontrolę i ocenę stanu technicznego całej konstrukcji w czasie rzeczywistym, w trakcie jej eksploatacji, co pozwala przewidywać jej żywotność i ostrzegać o możliwym katastrofalnym jej zniszczeniu.

Urządzenie według wynalazku może być także zrealizowane w innych wariantach, różnych od przedstawionego przykładowego, ale z tymi samymi cechami istotnymi.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do wykrywania uszkodzeń konstrukcji cienkościennych posiadające impulsowy wzbudnik drgań połączony przewodowo lub bezprzewodowo z modułem sterująco-analizującym oraz czujniki drgań, także połączone przewodowo lub bezprzewodowo z modułem sterująco-analizującym, **znamiennie tym**, że tworzy go układ mechaniczny składający się z części centralnej (1) zawierającej impulsowy wzbudnik drgań (3, 4, 5) i połączonych z nią co najmniej trzech jednakowych ramion (2) z czujnikami drgań (8) umieszczonymi na ich końcach, gdzie część centralna (1) przytwierdzona jest trwale do badanej konstrukcji (6), a ramiona (2) są tak ukształtowane, że czujniki drgań (8) łączą się z badaną konstrukcją (6) stykowo, przy czym wszystkie ramiona (2) są jednakowe i mają postać płaskiej belki o takiej sztywności, że ich częstotliwość drgań własnych jest zbliżona do częstotliwości drgań własnych uszkodzonej konstrukcji (6).
2. Urządzenie według zastrz. 2 **znamiennie tym**, że ma nieparzystą liczbę ramion (2) rozmieszczonych równomiernie.
3. Urządzenie według zastrz. 3 **znamiennie tym**, że impulsowy wzbudnik drgań (3, 4, 5) jest wzbudnikiem elektromagnetycznym i składa się z młotka (3) połączonego z elementem sprężystym (4) połączonym z elektromagnesem (5).
4. Urządzenie według jednego z zastrz. 1–3 **znamiennie tym**, że moduł sterująco-analizujący (9) jest zintegrowany z częścią centralną (1).

Rysunki

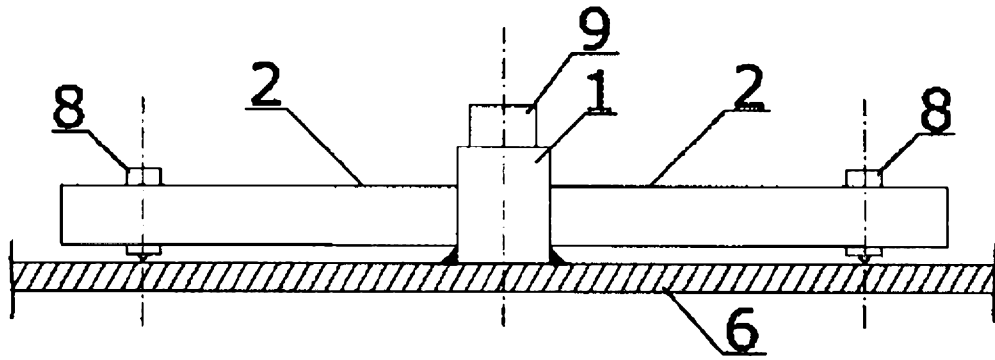


Fig. 1

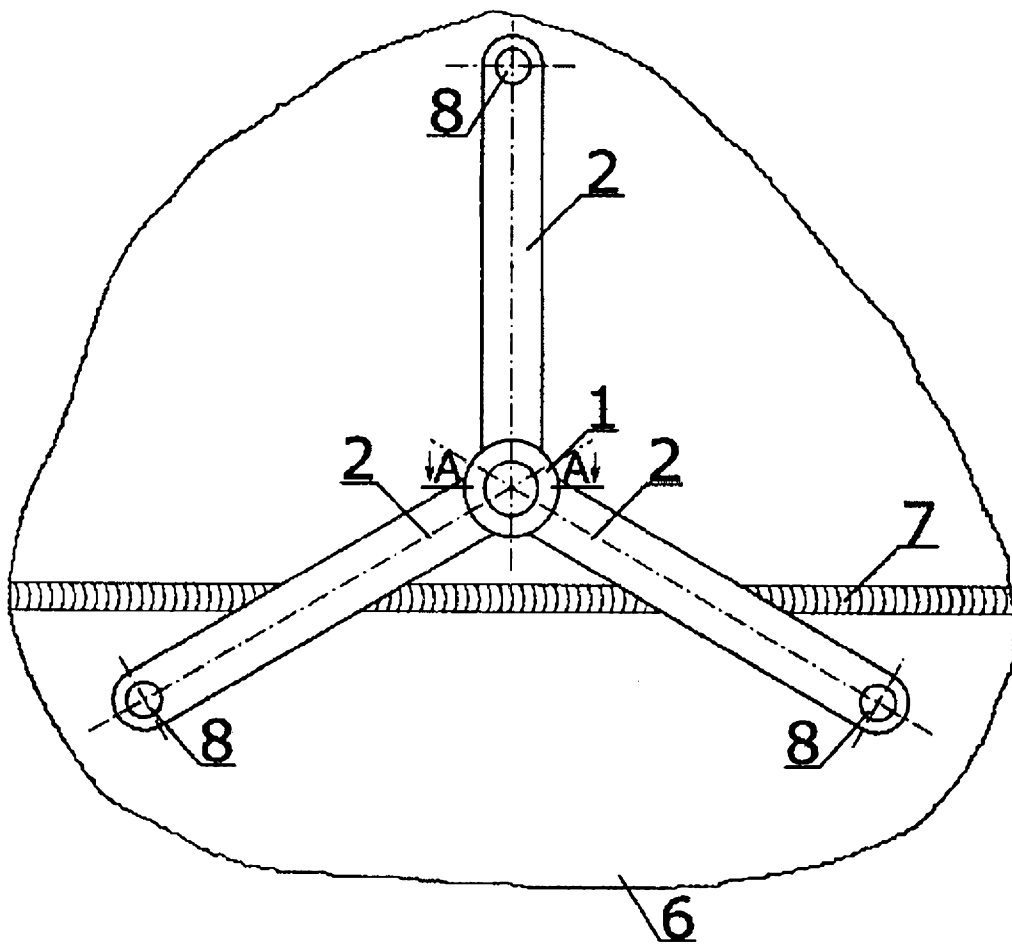


Fig. 2

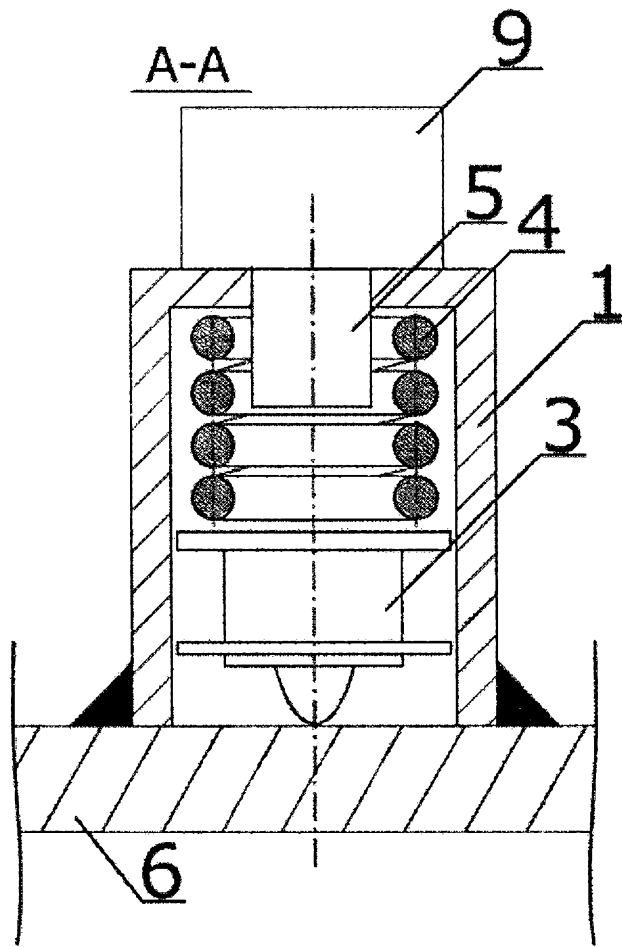
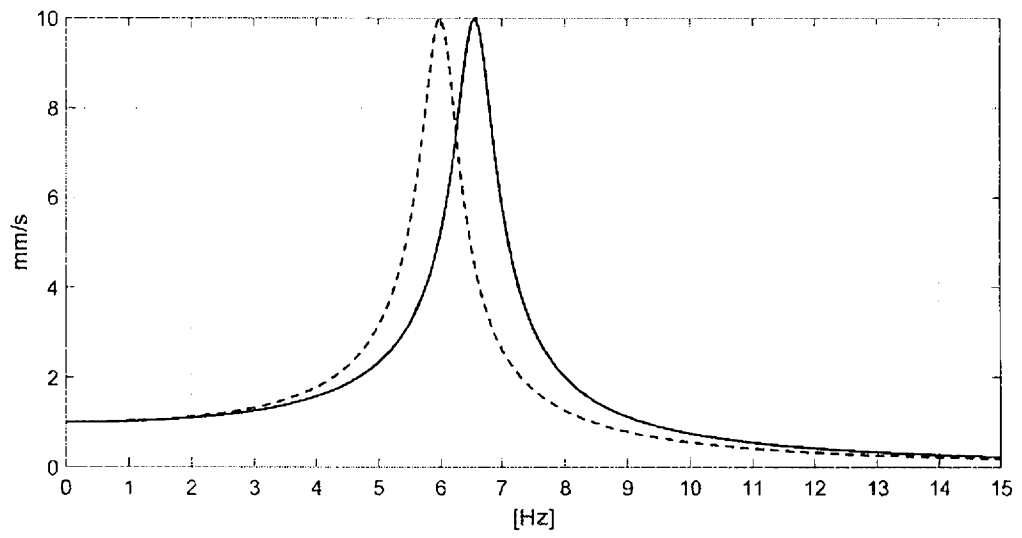
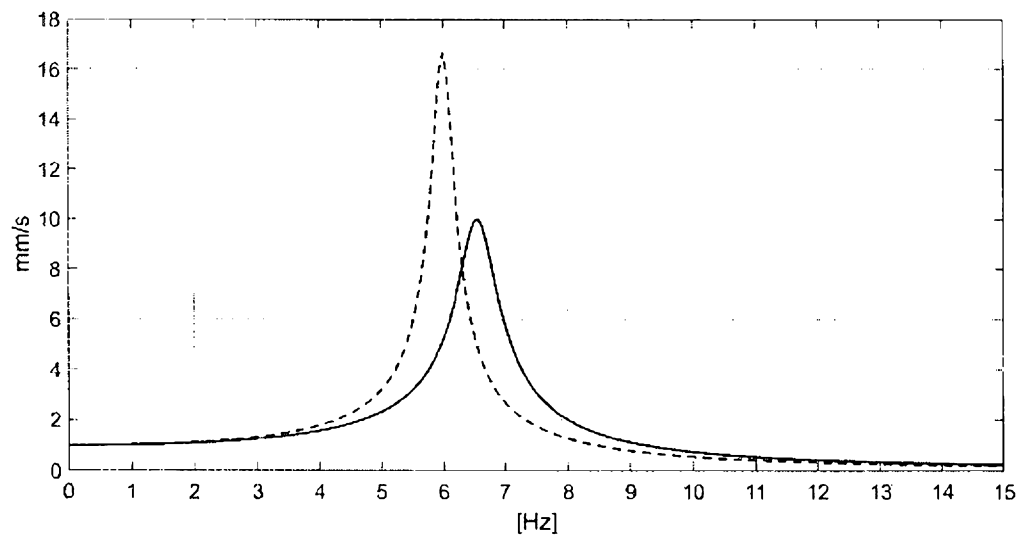


Fig. 3



———— konstrukcja bez uszkodzeń
 - - - - konstrukcja uszkodzona

Fig. 4 a)



———— konstrukcja bez uszkodzeń
 - - - - konstrukcja uszkodzona

Fig. 4 b)