

## UWAGI O HIPOTEZIE MAŁEJ NIELINIOWOŚCI DRGAŃ KONSTRUKCJI PŁATOWCÓW\*

JERZY MARYNIAK

*Politechnika Warszawska*

WITOLD WIŚNIEWSKI

*Instytut Lotnictwa*

### Wstęp

Hipoteza małej nieliniowości drgań konstrukcji płatowców jest jednym ze sposobów usprawiedliwienia przyjęcia liniowego modelu matematycznego drgań. Parametry równań przyjętego modelu można określić na drodze eksperymentalnej, co jednocześnie stwarza okazję do obserwacji słuszności przyjętej hipotezy.

Jednym ze sposobów eksperymentalnej identyfikacji parametrów równań liniowego modelu matematycznego drgań są próby rezonansowe. Próby te polegają na harmonicznym wymuszaniu drgań rezonansowych badanej konstrukcji i na pomiarze ich częstości i postaci. Każdy z badanych rezonansów zostaje wyizolowany poprzez wymuszenie określonymi siłami przyłożonymi w odpowiednich punktach tak, że przypomina rezonans układu o jednym stopniu swobody. Zmierzone parametry rezonansu są utożsamiane z odpowiednimi parametrami modelu matematycznego: częstości rezonansowe z wartościami własnymi, postaci z wektorami własnymi.

Podczas badań rezonansowych w pewnej liczbie przypadków stwierdzono wyraźną zależność częstości drgań rezonansowych od wartości siły wymuszającej (amplitudy drgań). Nie jest to zgodne z hipotezą małej nieliniowości drgań i dlatego stało się przedmiotem systematycznego badania. Zależność tę analizowano 164 razy podczas prób 3 szybowców, 2 samolotów dyspozycyjnych, 1 samolotu rolniczego, 1 samolotu bojowego oraz śmigła ogonowego śmigłowca.

### 2. Metoda pomiarów

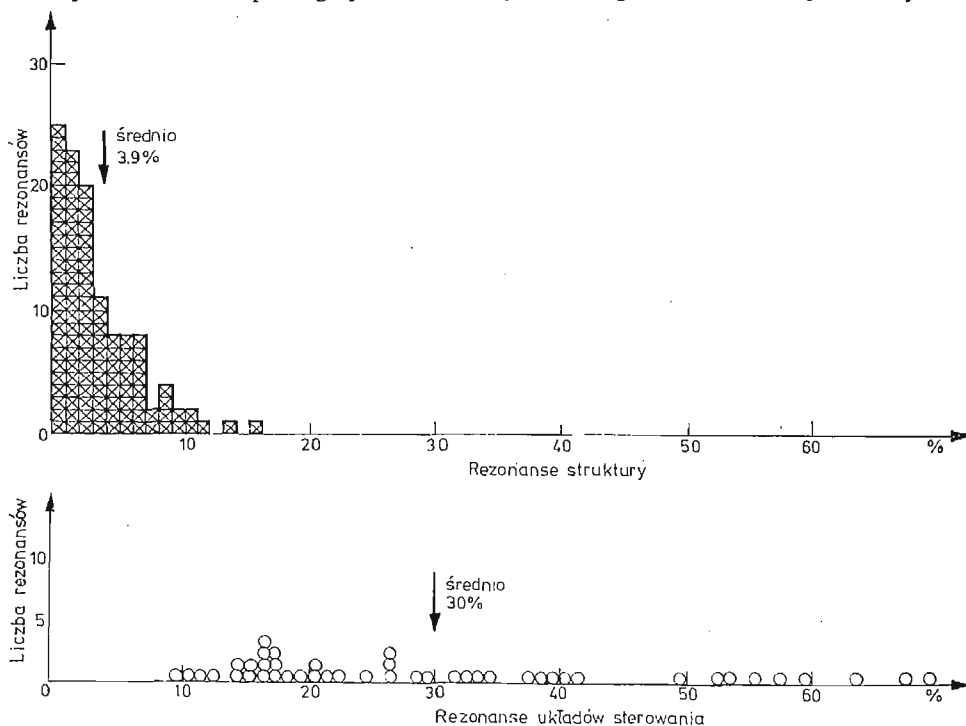
Pomiary wykonano przy pomocy aparatury wzbudząco-pomiarowej firmy Prodera. Drgania wymuszano wzbudnikami elektrodynamicznymi (1—8) i mierzono przy pomocy kilkudziesięciu piezoelektrycznych czujników przyspieszeń. Drogą kolejnych przybliżeń

\* Praca przedstawiona na I Ogólnopolskiej Konferencji „Mechanika w Lotnictwie” — Warszawa 19 I 1984 r.

poprzez zmiany wartości poszczególnych sił wymuszających, punktów ich przyłożenia oraz częstości wymuszenia doprowadzono drgania do stanów możliwie najbliższych stanom rezonansów. Efekty kolejnych manipulacji obserwowano na ekranie wielokanałowego oscyloskopu w postaci krzywych Lissajous, które w miarę przybliżania się drgań do rezonansu w każdym z punktów pomiaru przekształcały się z elipsy w odcinek ukośny. Obraz najbliższy pojedynczemu rezonansowi, a więc taki do którego dążono to jak najwięcej ukośnych odcinków i minimalna powierzchnia ewentualnych nieujrzańionych elips. Pomiar zależności częstości drgań rezonansowych od wartości siły wymuszającej przeprowadzono poprzez zadawanie kolejnych wartości sił wymuszających bez zmiany proporcji pomiędzy nimi i poszukiwanie takiej częstości wymuszenia, przy której w wybranym charakterystycznym punkcie postaci wystąpi rezonans. Jako kryterium wyznaczania częstości rezonansu stosowano kryterium fazowe. Badania przeprowadzono w takim zakresie wartości siły wymuszającej, w których amplituda drgań nie przekraczała 20 mm ze względu na skok wzbudników i mieściła się w granicach przyspieszeń 1 do  $150 \frac{m}{sek^2}$  ze względu na zakres pomiarowy aparatury.

### 3. Omówienie wyników

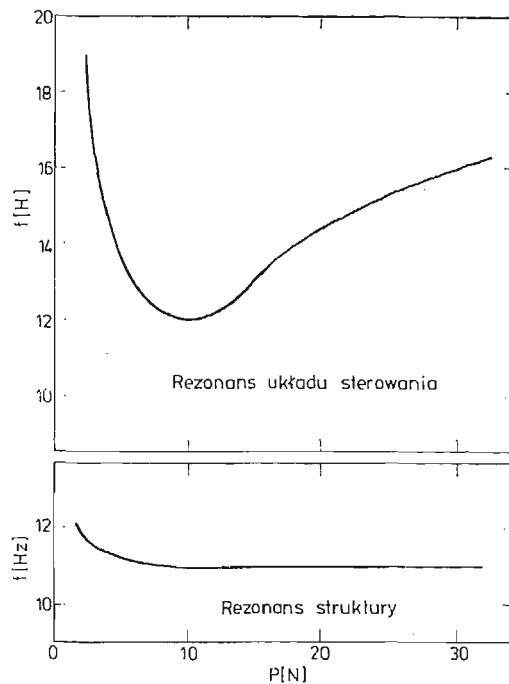
Podczas analizy wyników starano się uzyskać odpowiedzi na następujące pytania: Jak dużym zmianom podlegały badane częstości drgań rezonansowych? Czy istnieje



Rys. 1. Procentowy zakres zmienności częstości 119 zbadanych rezonansów struktury oraz 45 rezonansów układów sterowania 4 typów samolotów oraz 3 typów szybowców

związek pomiędzy rodzajem postaci drgań i wielkością zmian częstości rezonansowych? Jaki jest przebieg badanej zależności oraz czy jest on powtarzalny czy przypadkowy?

Na rys. 1 przedstawiono wielkość zmian częstości drgań rezonansowych wszystkich badanych rezonansów. Rysunek ten rozbito na część a i b w związku ze stwierdzeniem niewielkiej zależności częstości rezonansów struktury (średnio 3,9%) i stosunkowo dużej zależności rezonansów układów sterowania (średnio 30%). Przebiegi badanych zależności posiadały podobny charakter. W najbardziej rozbudowanych przypadkach był on następujący: W zakresie względnie małych amplitud drgań wraz ze wzrostem amplitudy, częstość gwałtownie malała, by przy dalszym wzroście osiągnąć minimum i ponownie wzrastać przechodząc często w zakres zbliżony do liniowego.



Rys. 2. Typowy przebieg zależności częstości drgań rezonansowych od wielkości siły wymuszającej

Na rys. 2 pokazano dwa typowe przebiegi. Jeden z grupy rezonansów układów sterowania, drugi z grupy rezonansów struktury. Pierwszy w całym badanym przedziale zależy od siły wymuszającej drugi w niewielkim stopniu jedynie dla małych amplitud.

#### 4. Wnioski

W świetle analizy uzyskanych wyników stwierdzono że:

1. Hipotezy o małej nieliniowości drgań nie zaleca się stosować podczas analizy zjawisk drganiowych zachodzących przy względnie małych amplitudach.

2. Hipotezy o małej nieliniowości drgań nie zaleca się stosować podczas analizy drgań układów sterowania.

3. Hipoteza o małej nieliniowości drgań jest słuszna dla drgań struktury w zakresie większych amplitud.

#### Резюме

#### ЗАМЕЧАНИЯ О ГИПОТЕЗЕ МАЛОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ КОЛЕБАНИЙ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

Экспериментальное исследование зависимости частоты резонансных колебаний от величины возмущающей гармонической силы (амплитуды колебаний), указывает существование характерных нелинейностей, в диапазоне малых амплитуд колебаний. Исследование этих нелинейностей сделало возможным уточнение диапазона применения гипотеза малой нелинейности колебаний авиационных конструкций.

#### Summary

#### REMARKS ON SMALL NONLINEARITY HYPOTHESIS OF THE AIRPLANE VIBRATIONS

Experimental investigation of frequency of resonance vibrations as a function of harmonic excitation force value (or of the amplitude of vibration) reveals characteristic non-linearities in the low range of the amplitude of vibration. Analysis of the non-linearities in question enabled the scope of application of the theory of small non-linearity of vibration of aircraft structure to become more precise.

*Praca wpłynęła do Redakcji dnia 12 lutego 1985 roku*

---