

ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ПОШКОДЖЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЇХ КОЛИВАНЬ

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

Анотація

Представлено результати розрахунково-експериментальних досліджень з визначення закономірностей впливу параметрів експлуатаційного пошкодження на формування резонансних коливань камертонного зразка та його складових, як найпростішої регулярної системи. Показано, що як діагностичний параметр наявності пошкодження можна використовувати параметр зв'язаності форм коливань, що збуджуються.

Ключові слова: камертонний зразок, коливання, пошкодження

Вступ

Актуальною проблемою при розробці нових та доводці існуючих турбомашин, в першу чергу авіаційних газотурбінних двигунів, залишається задача аналізу закономірностей коливань їх однотипних елементів, якими є робочі лопатки компресорів і турбін, як необхідної умови для підвищення їх вібраційної надійності та ефективності. Аналіз коливань лопаткових вінців в більшості випадків проводиться в припущенні, що вони володіють циклічною симетрією, тобто коли всі лопатки мають однакові геометричні та механічні властивості. В цьому випадку аналіз зводиться до розгляду періоду вінця з відповідними граничними умовами. Проте на практиці існує певний розкид конструктивно-технологічних параметрів лопаткових вінців, який обумовлений виробничими допусками та експлуатаційними умовами, що неминуче призводить до порушення конструктивної поворотної симетрії.

При експлуатації двигунів виникають різноманітні їх пошкодження – забоїни від сторонніх предметів, тріщини втоми тощо. У визначенні впливу таких пошкоджень на коливання як окремих лопаток, так і їх систем (пакетів і вінців), проводяться інтенсивні розрахунково-експериментальні дослідження.

Враховуючи вищевикладене, для аналізу коливань систем з порушеною поворотною симетрією, великий інтерес становлять закономірності коливань регулярної системи, що складається з двох підсистем, а саме вплив наявності пошкодження в одній з них на параметр зв'язаності їх парних форм коливань, що і є метою даної роботи.

Результати дослідження

У відповідності до постановки задачі, об'єктом дослідження було обрано камертонний зразок з двома призматичними стрижнями, довжиною робочої частини 175 мм і прямокутним поперечним перерізом висотою 15 мм і шириною 6 мм. Загальний вид зразка показано на рис. 1, а.

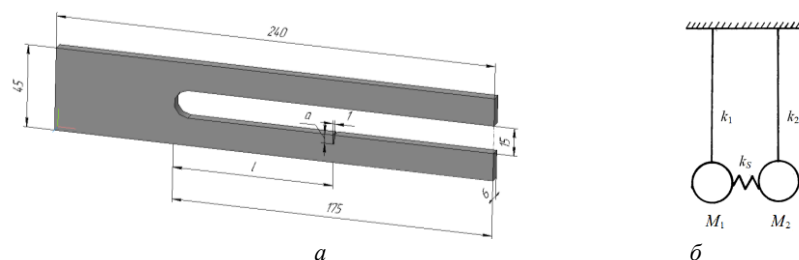


Рис. 1. Загальний вид камертонного зразка, вибраного для дослідження (а) та його дискретна модель (б)

Пошкодження одного з стрижнів моделювалось у вигляді паза шириною 1 мм та глибиною a , який знаходився на відстані l від кореневого перерізу зразка.

По аналогії з моделлю парних форм, для опису коливань об'єкта досліджень використаємо коефіцієнт розщеплення частот збуджуваних форм коливань, що визначається різницею відносних частот синфазної ($\bar{p}^{(I)}$) та антифазної ($\bar{p}^{(II)}$) форм коливань:

$$r = \left| \bar{p}^{(I)} - \bar{p}^{(II)} \right| \times 100\%$$

На рис. 2, а приведено залежності коефіцієнта розщеплення частот збуджуваних форм коливань від параметра пошкодження $\alpha = (k - k_0)/k$ для обраних значень коефіцієнта пружного зв'язку γ . Аналіз представлених даних розрахунків показує, що їх якісний характер не залежить від причини порушення регулярності системи. Також підтверджується той факт, що найбільша відмінність у величині коефіцієнта розщеплення спостерігається для системи з суворою регулярністю. При зростанні порушення її регулярності значення коефіцієнта розщеплення зближаються.

Для пояснення отриманих закономірностей формування резонансних коливань досліджуваної регулярної системи також використаємо параметр зв'язаності S парних форм коливань, який визначається за формулою:

$$S = r/h,$$

де δ – дисипативна характеристика системи, яка відповідає заданій формі коливань.

В роботі в якості дисипативної характеристики системи вибрано коефіцієнт демпфірування коливань в діапазоні зміни його значень від 0.0008 c^{-1} до 0.0032 c^{-1} .

Для обраних значень коефіцієнта пружного зв'язку γ та демпфірування коливань h були визначені залежності параметра зв'язаності S від параметра пошкодження α , які наведені на рис.2, б. Їх аналіз показує, що зі зменшенням коефіцієнта γ і збільшенням коефіцієнта демпфірування коливань h величина параметру зв'язаності S парних форм коливань знижується.

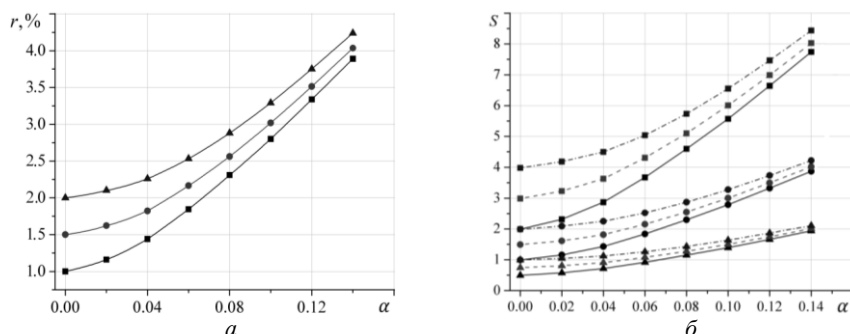


Рис. 2. - Залежності коефіцієнта розщеплення резонансних частот збуджуваних форм коливань (а) дискретної моделі досліджуваної регулярної системи для значень коефіцієнта пружного зв'язку γ , рівних 0.01(■), 0.015(●) і 0.02 (▲) та параметра зв'язаності збуджуваних форм коливань (б) для значень коефіцієнта демпфірування h , рівних 0.0008 c^{-1} (■), 0.0016 c^{-1} (●) і 0.0032 c^{-1} (▲), при значеннях коефіцієнта пружного зв'язку γ , рівних 0.01 (суцільні лінії), 0.015 (штрихові) і 0.02 (штрихпунктирні) від параметра пошкодження α

Висновки

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що в обраному діапазоні зміни параметра пошкодження α найменше значення параметра зв'язаності парних форм коливань характерне для системи, яка має найменшу величину коефіцієнта пружного зв'язку та найбільший коефіцієнт демпфірування коливань. Це означає, що на формування резонансних коливань такої системи найбільший вплив має взаємозв'язок збуджуваних їх форм, що може бути використано при виборі параметрів діагностування наявності досліджуваних пошкоджень.

Круц Вадим Олексійович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу коливань та вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ.

Савченко Кирило Валентинович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу коливань та вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, e-mail: savchenko@ipp.kiev.ua

Identifying damage in regular systems via vibration parameter analysis

Abstract

This paper presents the results of computational and experimental studies aimed at identifying how operational damage parameters influence the formation of resonant vibrations in a tuning fork sample - considered a simple regular system. The findings demonstrate that the parameter of coupling of the excited modes of vibrations can serve as a reliable diagnostic indicator for detecting the presence of damage.

Keywords: tuning fork, vibration, damage.

Kruts Vadym O. — Cand. Sc. (Eng), Senior Researcher of Department of Oscillation and Vibration Reliability, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv.

Savchenko Kyrilo V. — Cand. Sc. (Eng), Senior Researcher of Department of Oscillation and Vibration Reliability, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: savchenko@ipp.kiev.ua