

Количественное описание мод вибраций может быть получено с помощью согласованных пространственных фильтров, определяющих изменения спекл-структуры во время смещения диффузных элементов. Условия эксперимента не такие жесткие, как в голографии. Единственное требование — достаточно надежная фильтрация.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. I. Goldfisher. J. Opt. Soc. Am., march 1965, v. 55, pp. 247—253.
2. H. H. Hopkins and H. Tiziani. Proc. of the Int. Symp. on the Appl. of Holography. Besançon 1970 (viii) ed. by J. Ch. Viénot & al.
3. S. Lowenthal, H. Arsenault, D. Joyeux. Proc. of the Int. Symp. on the Appl. of Holography. Besançon 1970 (2.2) ed. by J. Ch. Viénot & al.
4. B. Eliasson and F. M. Mottier. J. Opt. Soc. Am., 1971, v. 61, p. 559.
5. A. Caron. Thèse de 3^{ème} cycle. Besançon 1971, Pupilles synthétiques en lumière spatialement incohérente, correction des images au moyen de fonctions particulières.
6. G. A. Massey, Nasa Rept. № 68—14070 (1968), Nat. Technical Information Service, Springfield, Va. 22151, Study of vibration measurement by laser methods.
7. J. Ch. Viénot, C. Froehly, J. Monneret and J. Pasteur. Proc. of the Symposium on the Engineering Uses of Holography, Glasgow 1968 ed. by E. R. Robertson & al, Cambridge University Press, 1970.
8. C. Froehly, J. Monneret, J. Pasteur and J. Ch. Viénot. Symposium on Applications of coherent light, Florence sept. 1968 and Optica Acta, v. 16, № 3, p. 343—362, 1969.
9. J. Monneret. Thèse de Doctorat d'Etat 1973.
10. E. Archbold, J. M. Burch, A. E. Ennos and P. A. Taylor. Nature, 1969, v. 222, p. 263.
11. J. N. Butters and J. A. Leendertz. Optics and Laser Technology, feb. 1971, v. 3, p. 26.
12. L. Ek, N. E. Molin. Opt. Comm., 1971, v. 2, p. 9.
13. N. Fernelius, C. Tome. J. Appl. Phys. 1970, v. 2, p. 2252.
14. J. A. Leendertz. J. Sc. Instruments, 1970, v. 3, p. 214 and Proc. of the Conference 100 on Optical Instruments and Techniques, Reading 1969, ed. by J. M. Dickson, Oriel Press, p. 256.
15. S. Debrus, M. Francon and M. May. Proc. of the Conference 100 on Optical Instruments and Techniques, Reading 1969, ed. by J. M. Dickson, Oriel Press, p. 318.
16. E. Archbold, A. E. Ennos. Optica Acta, 1972, v. 19, № 4, pp. 253—271.
17. H. J. Tiziani. Optica Acta, 1971, v. 18, pp. 891—902.
18. M. E. Guillaume. Thèse de 3^{ème} cycle. Besançon 1972, Contribut on à l'étude d'une onde cohérente diffusée et à la détermination optique des modes de vibration de systèmes mécaniques.

Поступила в редакцию 16 апреля 1973 г.

УДК 621.378.9 : 778 : 4

А. М. ВАСИЛЬЕВ, С. Т. ДЕ, А. В. ЛОГИНОВ,
Ю. Н. СОЛОДКИН
(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Необходимость исследования вибрационных характеристик объектов связана с тем, что эти характеристики позволяют оценить прочность и надежность механических конструкций в условиях эксплуатации. Под вибрационными характеристиками понимаются собственные частоты и формы колебаний объектов, а также распределение ампли-

туд вибраций по поверхности объекта. Эта задача особенно актуальна для двигателей, так как постоянное стремление увеличивать мощность, приходящуюся на единицу веса, приводит к тому, что детали работают при нагрузках, близких к предельным. Примером таких деталей являются лопатки и диски компрессоров авиационных двигателей. Некоторые результаты исследования вибрационных характеристик этих деталей методом голографической интерферометрии приводятся в данной работе.

Способы определения вибрационных характеристик, которые в настоящее время используются на практике (тензометрия, сканирование вибродатчиком, песочные фигуры), являются очень трудоемкими и часто приводят к ошибкам и промахам. Применение голографических методов позволяет значительно упростить решение задачи и получить результат в удобном для экспериментатора виде [1, 2].

Для исследования вибрационных характеристик наиболее целесообразно использовать сочетание двух методов голографической интерферометрии: интерферометрии в реальном времени и метода усреднения. Первый метод позволяет определить значения собственных частот колебаний объекта и положение узловых линий на его поверхности, а также необходимый уровень возбуждения для получения интерферограммы методом усреднения. Он осуществляется следующим образом. После записи волны, рассеянной объектом, на голограмму и обработки последней на месте экспонирования производится незначительное изменение направления объектного пучка или положения объекта. Это приводит к появлению интерференционных полос, расположение и пространственная частота которых зависят от типа смещения и его величины. Так, при повороте объекта на малый угол θ возникают интерференционные полосы, параллельные оси поворота. Интенсивность изображения в этом случае определяется выражением

$$I = 2I_{\text{ст}}(1 + \cos kh\theta), \quad (1)$$

где $k = \frac{4\pi}{\lambda} \cos \psi \cos \frac{\varphi}{2}$; λ — длина волны света; φ — угол между направлениями освещения и наблюдения объекта; ψ — угол между направлением смещения и биссектрисой угла φ ; h — расстояние от оси поворота до соответствующих точек объекта; $I_{\text{ст}}$ — интенсивность неподвижного объекта.

Если теперь объект начинает вибрировать, то фаза в выражении (1) становится периодической функцией. Усреднение во времени приводит к следующему выражению для интенсивности:

$$I = 2I_{\text{ст}}[1 + \cos kh\theta J_0(ka)], \quad (2)$$

где a — амплитуда вибраций; J_0 — функция Бесселя первого рода нулевого порядка. Из (2) следует, что контраст интерференционных полос равен

$$\gamma = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} = J_0(ka), \quad (3)$$

т. е. полосы максимального контраста наблюдаются в узловых линиях, для которых $a=0$ и $J_0(0)=1$. При достаточно большой амплитуде вибраций $J_0(a) \approx 0$ и $\gamma \approx 0$. В результате при возбуждении объекта на резонансных частотах полосы исчезают в местах пучностей, но сохраняются в узлах. Таким образом, узловые линии проходят через середины сохранившихся участков интерференционных полос, а величина этих участков определится уровнем возбуждения. Чем выше уровень возбуждения, тем меньше видимый участок полосы и уже узловая линия. На рис. 1, а показана лопатка компрессора авиадвигателя, воз-

бужденная на одной из резонансных частот. Сохранившиеся участки полос определяют форму узловых линий.

Такой способ позволяет довольно быстро и качественно определить формы колебаний объектов и значения резонансных частот. Однако он не дает возможности найти распределение амплитуд вибраций по поверхности объекта и направление градиента. Для получения этих характеристик на резонансной частоте регистрируется голографическая интерферограмма методом усреднения [3]. В этом случае для интенсивности изображения вибрирующего объекта имеем

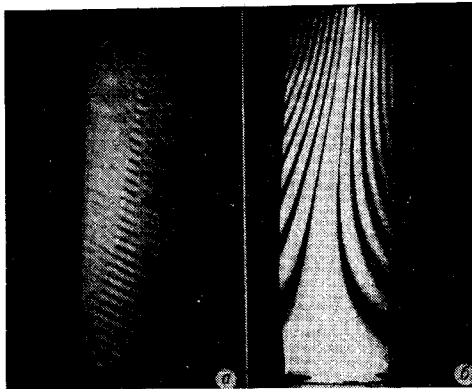


Рис. 1.

$$I = I_{ст} J_0^2(ka). \quad (4)$$

Из (4) следует, что узловые линии на восстановленном с голограммы изображении проявляются в виде сплошных ярких полос, соответствующих первому максимуму функции Бесселя при амплитудах вибраций, близких к нулю. Затем происходит чередование интерференционных полос, причем контраст их резко падает с увеличением амплитуды вибраций. На рис. 1, б показано изображение вибрирующей лопатки, восстановленное с голограммы, полученной по методу усреднения. Частота и амплитуда вибраций те же, что и для рис. 1, а.

Отметим, что в эксперименте сначала была получена картина узловых линий (см. рис. 1, а), т. е. определена резонансная частота и подобран необходимый уровень возбуждения, а затем перед голограммой, обработанной на месте экспонирования, помещалась фотопластинка для получения голограммы по методу усреднения.

Более важной в практическом отношении задачей является исследование не отдельных лопаток, а дисков с лопатками диаметром 1 м и более. Мощность излучения наиболее распространенных в настоящее время гелий-неоновых лазеров недостаточна для голографирования таких объектов. Применение мощных импульсных лазеров также ограничено, ибо для получения эффекта усреднения длительность импульса должна быть много больше периода колебаний объекта. Предъявляемым требованиям отвечают ионные газовые лазеры.

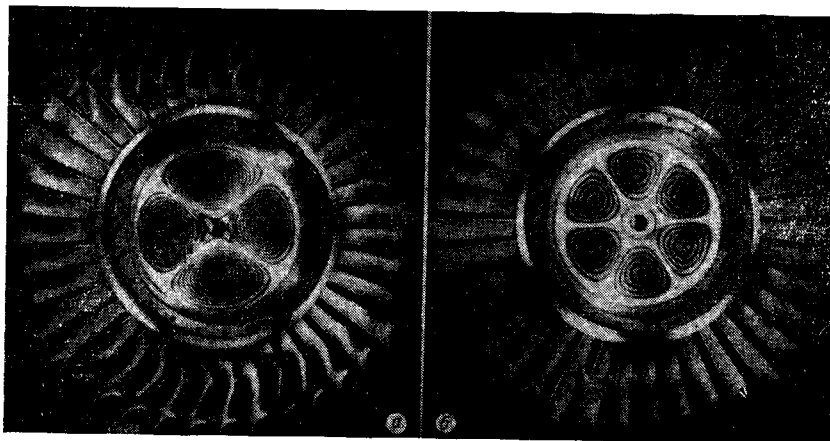


Рис. 2.

Диски компрессоров авиадвигателей исследовались с помощью лабораторного ионного лазера [4]. В аргоне ($\lambda=514,5$ нм, 600 мВт в одномодовом режиме) голограммы записывались на пластинках «Agfa-Gevaert» и «Kodak». В криптоне ($\lambda=647,1$ нм, 350 мВт в одномодовом режиме) запись голограмм производилась на отечественных пластинках «Микрат-ВРЛ».

На рис. 2, а, б приведены интерферограммы вибрирующего диска компрессора двигателя диаметром 85 см, полученные методом усреднения на частотах 2220 и 3070 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. B. S. Hockley, J. N. Butters. Holography as a Routine Method of Vibration Analysis.— *Journal Mechanical Engineering Science*, 1970, v. 12, № 1.
2. P. Waters, H. G. Aas. Holographic Analysis of Turbine Blades.— *Pap. ASME*, 1971, NGT-84.
3. R. L. Powell, K. A. Stetson. Interferometric Vibration Analysis by Wavefront Reconstruction.— *Journal of the Optical Society of America*, 1965, v. 55, № 12.
4. А. М. Васильев, С. Т. Де, А. В. Логинов. Лабораторный аргонный лазер с разрядным каналом из окиси бериллия.— *Автометрия*, 1972, № 5.

Поступила в редакцию 9 марта 1973 г.

УДК 53-07/08

М. М. БУТУСОВ

(Ленинград)

СХЕМА ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАФИИ

Модуляция по фазе опорного пучка [1—3] в схемах голографической виброметрии позволяет расширить диапазон исследуемых амплитуд колебаний [2, 3].

На рис. 1 приведена схема с модулируемым по фазе опорным пучком, которую мы применяем для исследования объектов, имеющих почти поршневую форму колебаний. Фазовая модуляция опорного пучка осуществляется полированным участком 3 поверхности объекта или легким зеркалом, наклеенным на этот участок. Полученные с помощью этой схемы голограммы несут информацию о распределении амплитуды колебаний точек исследуемого объекта относительно участка 3.

Схема может быть применена для голографического исследования объектов, находящихся в воде. Часто такие объекты нельзя исследовать в лабораторных условиях из-за искажающего влияния стеклянных стенок кюветы или бассейна. Однако простой перенос под воду указанной схемы, настроенной на воздухе, оказывается невозможным прежде всего потому, что в воде полупрозрачная пластина ПП и линза Л изменяют свои свойства. Полупрозрачная пластина может быть заменена светоделительным кубом, однако линза Л, помещенная в воду, изменяет свое фокусное расстояние в соответствии с формулой, полученной из (4.4.36) [4]:

$$\frac{f_0}{f_1} = \frac{n_c/n_0 - 1}{n_c/n_1 - 1} \approx 4,5, \quad (1)$$