

М.П. Дивнич, к.т.н., доцент  
(Національний авіаційний університет, Україна)

### Оптичний метод вимірювання трьох складових вектора швидкості вібрації

*Розглядається оптичний метод вимірювання трьох складових вектора швидкості вібрації, що може знайти застосування при стендових випробувань авіаційної техніки. Такий безконтактний метод дозволяє отримати повну інформацію про вектор швидкості вібрації. Він заснований на застосуванні лазерного доплерівського вимірювача швидкості інверсно - диференціального типу та лазерного доплерівського вимірювача з опорним променем.*

Найбільш поширені фактори динамічного механічного впливу на літальні апарати та елементи їх конструкцій - це вібраційні навантаження. Інерційні сили, що виникають під час дії вібрації можуть визивати напруження, що перевищує межу міцності конструкцій авіаційного обладнання.

Підвищення надійності при створенні нових типів авіаційної техніки є неможливим без проведення вібраційних випробувань як її окремих елементів (у тому числі матеріалів, що використовуються), так і обладнання в цілому.

В результаті вібраційних випробувань можна визначити динамічні характеристики об'єктів випробувань: віброміцність та вібростійкість [1].

В роботі пропонується метод вимірювання трьох складових вектора швидкості вібрації, який заснований на застосуванні лазерного доплерівського вимірювача швидкості з опорним променем та лазерного доплерівського вимірювача швидкості інверсно - диференціального типу [2].

За цим методом промінь лазера направляється в область обладнання, вібрацію якого потрібно виміряти.

Поверхня об'єкту розсіює лазерне випромінювання в тілесному куті  $\Omega$ . В кожному напрямку в межах кута  $\Omega$  розповсюджуються розсіяні промені, частота яких наслідок ефекту Доплера зсунута на величину, що пропорційна швидкості вібрації та залежить від напрямку розповсюдження розсіяного променя.

Якщо поверхня об'єкту здійснює складний коливальний рух, то вектор швидкості його коливань можна розділити на три складові: складову, що направлена вздовж розповсюдження променя лазера -  $V_x$ , а також складові, що лежать в площині, яка перпендикулярна напрямку променя лазера -  $V_y$  та  $V_z$  та утворюють з вектором  $V_x$  праву ортогональну систему координат.

Зсув частоти розсіяного променя, який розповсюджується в напрямку, який перпендикулярний поверхні об'єкта пропорційний  $V_x$  складовій швидкості вібрації.

Випромінювання променя He-Ne лазера має частоту  $4,78 \cdot 10^{14}$  Гц. Допплерівський зсув частоти розсіяного променя при швидкості вібрації 1 м/с буде дорівнювати  $3,2 \cdot 10^6$  Гц.

Сучасні приймачі оптичного випромінювання не дозволяють безпосередньо визначити такий зсув частоти лазерного випромінювання. Тому на фотоприймач потрібно одночасно з розсіяним променем направити частину випромінювання променя лазера (опорний промінь).

Тоді в результаті інтерференції сигнального та опорного променів на поверхні фотоприймача утворюється інтерференційна картина, що рухається зі швидкістю, що пропорційна  $V_x$  складової швидкості вібрації.

На виході фотоприймача при цьому утворюється доплерівський сигнал, напруга якого дорівнює:

$$U_{dx} = \frac{2e\eta k_1}{h\nu} R \sqrt{I_s I_0} r^2 \cos(\omega_{dx} t + \varphi_{dx}).$$

де:  $e, \eta, k_1, R$  - відповідно заряд електрона, квантова ефективність фотоприймача, коефіцієнт підсилення та опір навантаження фотоприймача;  $h, \nu$  - постійна Планка та частота лазерного випромінювання;  $I_s, I_0$  - інтенсивність сигнального та опорного променів;  $r$  - відстань від точки розсіяння випромінювання до фотоприймача;  $\omega_{dx}, \varphi_{dx}$  - частота та фаза доплерівського сигналу.

Частота доплерівського сигналу у такому випадку буде пропорційна  $V_x$  складової швидкості вібрації:

$$\omega_{dx} = \frac{4\pi V_x}{\lambda},$$

Для того, щоб виміряти дві інші складові вектора швидкості вібрації потрібно додатково в приладі встановити два фотоприймача.

За допомогою діафрагми необхідно з розсіяного поверхнею об'єкту випромінювання виділити чотири розсіяних променя.

Для вимірювання  $V_y$  складової вектора швидкості вібрації треба направити на перший фотоприймач два розсіяних лазерних променя, які розташовані в площині, що проходить через промінь лазера та перпендикулярна площині, в якій розташований об'єктів, який збирає лазерні промені. Кути між лазерним променем та розсіяними повинні бути рівними. Тоді, частота кожного розсіяного променя буде зсунута на однакову величину.

В наслідок інтерференції розсіяних променів, що мають різну частоту на виході фотоприймача утворюється напруга, частота якої пропорційна  $V_y$  складової вектора швидкості вібрації:

$$U_{dy} = \frac{2e\eta k_1}{h\nu} R \sqrt{I_{s1} I_{s2}} r^2 \cos(\omega_{dy} t + \varphi_{dy}).$$

де:  $I_{s1}, I_{s2}$  - інтенсивності розсіяних лазерних променів об'єктом вимірювання.

Частота доплерівського сигналу буде залежати від  $V_y$  складової вектора швидкості вібрації та від кута  $\alpha$  між розсіяними променями:

$$\omega_{dy} = \frac{4\pi V_y}{\lambda} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

Для вимірювання  $V_z$  складової вектора швидкості вібрації треба також направити але вже на другий фотоприймач два розсіяних лазерних променя, що мають інтенсивності  $I_{s3}$  та  $I_{s4}$ .

Ці промені повинні бути розташовані в площині, що проходить через промінь лазера. Крім того площина, в якій лежать третій та четвертий розсіяний промінь повинна бути перпендикулярною площині, що утворена двома першими променями.

На виході другого фотоприймача буде утворюватись напруга, частота якої пропорційна  $V_z$  складової вектора швидкості вібрації:

$$U_{dz} = \frac{2e\eta k_1}{h\nu} R \sqrt{I_{s3} I_{s4}} r^2 \cos(\omega_{dz} t + \varphi_{dz}).$$

Частота доплерівського сигналу буде залежати від  $V_z$  складової вектора швидкості вібрації та від кута  $\beta$  між другою парою розсіяних променів:

$$\omega_{dz} = \frac{4\pi V_z}{\lambda} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right),$$

Застосування лазерного віброметра для вимірювання вібрації при стендових випробуваннях може дозволити розширити можливості технічного діагностування. Безконтактний лазерний віброметр на відміну, наприклад, від п'єзоелектричного вібродатчика не потребує точки кріплення на об'єкті контролю та дозволяє отримати інформативний сигнал дистанційно.

Такий лазерний метод може також бути застосований для вимірювання швидкості вібрації вузлів авіаційного двигуна, що мають високу температуру.

### Список літератури

1. Нагорний В. М. Введення в технічну діагностику машин: навчальний посібник / В. М. Нагорний. — Суми: Сумський державний університет, 2011. — 482 с.
2. Albrecht H.-E., Borys M., Damaschke N., Tropea C. Laser Doppler and phase Doppler measurement techniques/ Albrecht H.-E.- Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. — 740 p.