

УДК.621.373

ПРО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ВІБРОДІАГНОСТИЦІ СВІТЛОВІДБИВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

Г.М. Доля, професор, д.т.н., ХНУ імені В.Н. Каразіна,
В.Г. Мазанов, доцент, к.т.н., Академія внутрішніх військ МВС України,
О.А. Наконечний, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Запропоновано використання методу лазерної віброметрії прямого детектування об'єктів зі світловідбивальними покриттями. Показано шляхи підвищення ефективності вібродіагностики автомобіля зі світловідбивальними покриттями методом прямого фотодетектування за рахунок вибору ряду геометричних розмірів, а також наведено пояснення закономірностей, які реально спостерігаються.

Ключові слова: лазерне випромінювання, автомобіль, вібродіагностика, світловідбивальні покриття.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКЕ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Г.М. Доля, профессор, д.т.н., ХНУ имени В.Н. Каразина,
В.Г. Мазанов, доцент, к.т.н., Академия внутренних войск МВД Украины,
О.О. Наконечный, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Предложено использовать метод лазерной виброметрии прямого детектирования объектов со светоотражающими покрытиями. Показаны пути повышения эффективности вибродиагностики автомобиля со светоотражающими покрытиями методом прямого фотодетектирования за счет выбора ряда геометрических размеров, а также приведены объяснения закономерностей, которые реально наблюдаются.

Ключевые слова: лазерное излучение, автомобиль, вибродиагностика, светоотражающие покрытия.

ON THE POSSIBILITY OF USING RETRO-REFLECTIVE COATINGS IN THE AUTOMOBILE VIBRATION DIAGNOSTICS

G. Doly, Professor, Doctor of Technical Science, KhNU after V. Karazin,
V. Mazanov, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
ABB MINISTRY of internal affairs of Ukraine,
A. Nakonechni, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. In the work is proposed to use the method of laser vibrometry direct detection of objects with light reflectors coatings. The ways to improve the effectiveness of vibrodiagnostics of the car with light reflectors coverings by a method of direct fotodetekction for the account of a choice of the geometrical sizes, and provides explanations of the laws, which really are.

Key words: laser radiation, car, vibrodiagnostics, light reflectors coatings.

Вступ

Вібрації є основним джерелом прискореного зносу, зниження ресурсу і надійності автомобілів. Значний інтерес до вібраційних ме-

тодів діагностування зумовлений високою інформативністю вібраційних сигналів про стан механічних систем [1]. На сьогодні вібродіагностика є інструментом виявлення найрізноманітніших дефектів устаткування

таких як дисбаланс, неспіввісність і непаралельність валів, нетвердість і ослаблення опор, обрив анкерних болтів, порушення геометрії лінії вала, а також різні дефекти підшипникових вузлів, включаючи проблеми зі змащенням [2]. Серед інших методів низкою переваг володіють лазерні прилади вібраційного контролю, насамперед через можливість безконтактного вимірювання рівня вібрації. Суттєвого підвищення відношення сигнал/завада досягають за рахунок використання на об'єкті вимірювання світловідбивальних покриттів [3].

Аналіз публікацій

У цей час розроблено досить багато вібродатчиків, що базуються на різних ефектах. Всі вони мають свої переваги й недоліки [1, 2]. Крім того, існують певні труднощі в теоретичному описі й моделюванні роботи вібродатчиків [3, 4]. Дана робота розглядає можливість використання нових підходів до вібродіагностики автомобільного транспорту, які дають змогу покращити якість діагностування процесів вібрації, приведені в [5].

Мета і постановка задачі

У даній статті пропонується використати метод лазерної віброметрії прямого детектування об'єктів зі світловідбивальними покриттями.

Використання в автомобільній вібродіагностиці світлоповертаючих покриттів

Як відомо [1], принцип роботи методу лазерної віброметрії прямого детектування базується на створенні в площині прийомної апертури просторово-неоднорідного розподілу інтенсивності розсіяного лазерного випромінювання. Потім аналізується характер зсувів цієї картини, зумовлений вібрацією поверхні об'єкта шляхом прямого детектування інтегральної потужності всього лазерного випромінювання, що попадає на прийомну апертуру. Розглянемо даний метод більш докладно.

Нехай під час відсутності вібрацій розсіяне об'єктом лазерне випромінювання створює в площині прийомної апертури деякий розподіл інтенсивності $I = I[x, y]$. Зміна взаємного розташування лазерного променя і локального нахилу ділянки поверхні об'єкта, зумов-

леного вібрацією, на який здійснюється його фокусування, приводить до кутових зсувів даної картини в площині x й y .

$$\Theta_x(t) = \sum_{i=1}^m \theta_{oxi} \sin \omega_i t, \tag{1}$$

$$\Theta_y(t) = \sum_{i=1}^m \theta_{oyi} \cos \omega_i t, \tag{2}$$

де ω_i – частоти вібраційного процесу; $\theta_{oxi}, \theta_{oyi}$ – амплітудні значення відхилень у площинах x й y відповідно (початкові фази для спрощення опису опущені).

Кутові зсуви розсіяного випромінювання, у свою чергу, призводять до лінійних відхилень спостережуваного розподілу інтенсивності в площині прийомної апертури (рис. 1) за законом

$$I = I[x + h_x(t); y + h_y(t)], \tag{3}$$

де

$$h_x(t) = R \sum_{i=1}^m \theta_{oxi} \sin \omega_i t, \tag{4}$$

$$h_y(t) = R \sum_{i=1}^m \theta_{oyi} \cos \omega_i t \tag{5}$$

де R – відстань від площини об'єкта до площини прийомної апертури.

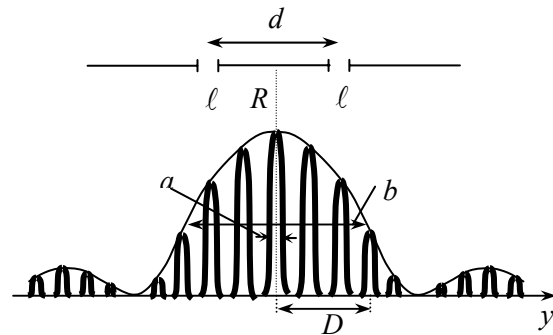


Рис. 1. Геометрія задачі

Для простоти аналізу і з'ясування основних закономірностей спостережуваного явища розглянемо випадок малих зсувів, коли можна обмежитися тільки першими членами розкладання в ряд Тейлора

$$I = I(x, y) + h_x(t) \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} + h_y(t) \frac{\partial I(x, y)}{\partial y}. \tag{6}$$

Будемо також вважати, що інформаційний сигнал на виході фотоприймача у випадку лінійності його світлової характеристики визначається потужністю лазерного випромінювання, що попадає на прямокутну прийомну апертуру з розмірами D і C уздовж осей x й y відповідно (рис. 2)

$$P = \int_0^C \int_0^D I(x, y) dx dy + h_x(t) \int_0^C \int_0^D \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} dx dy + h_y(t) \int_0^C \int_0^D \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} dx dy. \quad (7)$$

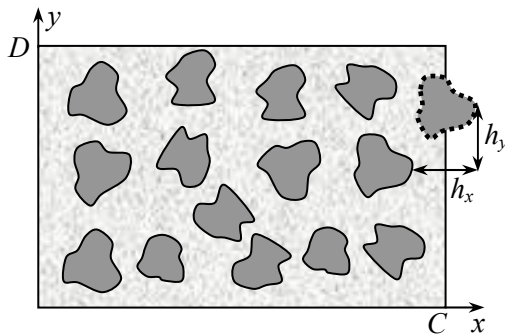


Рис. 2. Зсув розсіяного випромінювання

Виконуючи інтегрування, одержимо

$$P = P_0 + h_x(t)D[\bar{I}_x(C) - \bar{I}_x(0)] + h_y(t)C[\bar{I}_y(D) - \bar{I}_y(0)], \quad (8)$$

де $\bar{I}_x(C) = \frac{1}{D} \int_0^D I(C, y) dy$ – усереднене на відрізок $(0, D)$ по осі y уздовж прямої $x = C$ значення інтенсивності розсіяного лазерного випромінювання, позначення $\bar{I}_x(0)$, $\bar{I}_y(D)$, $\bar{I}_y(0)$ мають аналогічний сенс і математичний опис; P_0 – значення потужності випромінювання, що падає на прийомну апертуру під час відсутності вібрацій. Використовуючи κ для позначення коефіцієнта чутливості приймача, одержимо, що під час відсутності вібрацій величина сигналу на виході приймача прямого фотодетектування постійна

$$U_0 = \kappa P_0.$$

Зі співвідношення (8) видно, що інші два доданки залежать від часу й, отже, створюють змінну складову на виході фотоприймача,

вид якої задається характером коливань поверхні об'єкта

$$U_{\approx} = \kappa h_x(t)D[\bar{I}_x(C) - \bar{I}_x(0)] + \kappa h_y(t)C[\bar{I}_y(D) - \bar{I}_y(0)]. \quad (9)$$

Таке співвідношення є ілюстрацією фізичних основ роботи даного методу вібротрії. Як видно з нього, крім очевидної залежності амплітуди корисного сигналу від чутливості приймача і величини випромінюваної потужності, має місце також залежність, зумовлена значеннями співмножників у квадратних дужках. Проаналізуємо цю залежність більш детально; при цьому для наочності міркувань введемо додатково деякі припущення, що спрощують (більш загальні закономірності будуть отримані пізніше методом математичного моделювання).

Будемо вважати, що вібруючий об'єкт дослідження, покритий двома смужками, що дзеркально відбивають, нескінченних розмірів уздовж осі x та лінійні розміри l уздовж осі y . Відстань між ними дорівнює d (рис. 1), а коливання уздовж осі x відсутні, так що $h_x(t) = 0$. У цьому випадку при нормальному опроміненні такого об'єкта лазерним випромінюванням з довжиною хвилі λ і плоским хвильовим фронтом у площині спостереження буде формуватися інтерференційна картина (рис. 2), що описується співвідношенням [2]

$$I(y) = 2I_0(1 + \cos \delta) \cdot \frac{\sin^2 \frac{\pi \ell y}{\lambda R}}{\left(\frac{\pi \ell y}{\lambda R}\right)^2}, \quad (10)$$

де I_0 – інтенсивність, що створюється в площині спостереження однією смужкою, а

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda R} y.$$

Відзначимо, що аналогічний підхід може бути використаний при аналізі працездатності методу у випадку, коли об'єктом розміром d є смуга поверхні, що дифузно відбиває, з випадковим розташуванням мікронерівностей. При цьому «середня» інтерференційна картина описується [3] співвідношенням, анало-

гічним (10). При цьому $\delta = \frac{2\pi d}{3\lambda R} y$, однак інтерпретація результатів буде менш наочною в порівнянні із ситуацією, що розглядається.

З використанням зроблених спрощень, а також у припущенні, що форма інтерференційної картини, що обгинає, мало міняється на інтервалі $(0, D)$, можна одержати вираз для постійної й змінної складової сигналу на виході фотоприймача

$$U_0 = 2I_0 \kappa C \int_0^D \left(1 + \cos \frac{2\pi dy}{\lambda R}\right) dy = 2P_0 \kappa, \quad (11)$$

$$U_{\approx} = \frac{2P_0 \kappa h_y(t)}{D} \left[\cos \frac{2\pi D}{a} - 1 \right], \quad (12)$$

де $a = \lambda R/d$.

Як видно з останніх двох співвідношень, потужність лазерного випромінювання розподіляється між постійною і змінною складовими. Тому для визначення шляхів підвищення ефективності розглянутого методу доцільно проаналізувати відносну величину змінної складової (корисного сигналу)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{U_{\approx}}{U_0} = \frac{h_y(t)}{D} \left(\cos \frac{2\pi D}{a} - 1 \right) = \\ &= \frac{d}{\lambda} \Theta_y(t) \frac{a}{D} \left(\cos \frac{2\pi D}{a} - 1 \right) \end{aligned} \quad (13)$$

і визначити умови, коли вона є максимальною (сприятлива ситуація) або мінімальною (несприятлива ситуація).

З отриманого співвідношення виходить, що, окрім очевидного випадку відсутності вібрацій, глибина часової модуляції може виявитися рівною нулю у випадку, якщо $a/D \rightarrow 0$, або у випадку, якщо $\cos \frac{2\pi D}{a} = 1$. Фізичний

сенс першої умови означає, що зі збільшенням апертури D (тобто зі збільшенням розміру освітленої області за відсутності фокусування зондувального променя) або відстані між елементами d глибина модуляції (а значить й ефективність спостереження вібрацій) зменшується лінійно від величини a/D (у двовимірному випадку – квадратично, як відношення площ).

Друга умова виконується у випадку, якщо $\frac{2\pi D}{a} = 2n\pi$. Наприклад, при $n = 0$ потрібно,

щоб $D/a \rightarrow 0$. Ця фізична ситуація відповідає випадку дуже малої прийомної апертури, коли малий зсув великого дифракційного максимуму розміром a по цій апертурі не відчувається. Інший несприятливий варіант вибору розміру прийомної апертури розміром D полягає в збігу його з розміром, кратним просторовому періоду дифракційної картини, що також має цілком очевидний фізичний зміст.

Співвідношення (13) дозволяє додатково визначити вимоги до оптимального співвідношення $D/a = \chi$, при якому забезпечується максимум параметра η . Для знаходження такого значення χ необхідно знайти похідну $\frac{d\eta}{d\chi}$ й дорівняти її нулю, після чого можна одержати

$$\cos 2\pi\chi - 1 + 2 \cdot \sin 2\pi\chi \cdot \pi \cdot \chi = 0. \quad (14)$$

Отримане трансцендентне рівняння має коріння, що відповідають як мінімальним значенням η , описаним вище (наприклад, тривіальний корінь $\chi = 0, D/a \rightarrow 0$), так і значенням, що відповідають максимальним рівням глибини модуляції.

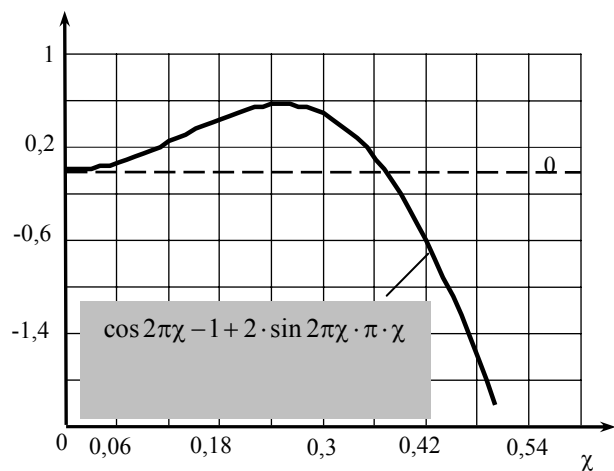


Рис. 3 До розрахунку глибини модуляції

Із графічної ілюстрації рівності, наведеної на рис. 3, величина $\chi \approx 0,4$ відповідає максимальному значенню глибини модуляції (у двовимірному випадку цю величину необхідно піднести до другого степеня). При цьому

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{d\Theta_0(t)}{\lambda} \cdot \frac{10}{4} \cdot (\cos 2\pi \cdot 0.4 - 1) \approx \\ &\approx 4,5 \frac{d\Theta_0(t)}{\lambda}. \end{aligned} \quad (15)$$

Висновки

Таким чином, проведений аналіз, незважаючи на істотні спрощення, дозволяє зробити якісні висновки про шляхи підвищення ефективності виміру вібрацій об'єктів зі світлоповертаючими покриттями методом прямого фотодетектування за рахунок вибору ряду геометричних розмірів, а також пояснити закономірності, які реально спостерігаються [4]. Більш точні співвідношення, природно, можуть бути отримані уточненням розглянутої моделі з використанням методів математичного моделювання.

Література

1. Мигаль В.Д. Вибрация и надежность транспортных машин: монография / В.Д. Мигаль, В.М. Мищенко, В.П. Волков и др.; под ред. Мигалья В.Д. – Харьков : ХНАДУ, 2007. – 383 с.
2. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Кочин А.В. О чувствительности телевизионного датчика угловых колебаний объектов / А.В. Кочин // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2009. – Вип. № 1 (9). – С. 50–53.
4. Доля Г.Н. Лазерный дистанционный контроль колебаний поверхности объектов со световозвращающими покрытиями / Г.Н. Доля, А.В. Кочин, С.Н. Якименко и др. // Збірник наукових праць ХВУ. – 2001. – Вип. № 7 (37). – С. 84 – 88.
5. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти т. – Т.3: Колебания машин, конструкций и их элементов ; под. ред. Ф. М. Диментберга, К.С. Колесникова. – М. : Машиностроение, 1980. – 544 с.

Рецензент: О.П. Алексієв, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 1 червня 2011 р.
