

УДК 631.3:620.172

## НЕРУЙНІВНІ ВИПРОБУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**Карабиньош С.С., доцент, Ружило З.В., доцент, Новицький А.В., доцент**  
(Національний університет біоресурсів та природокористування України)

*В статті приведено аналіз умов голографування деталей сільськогосподарської техніки для визначення рівня їх надійності. Розглянуто можливості застосування різних методів голографування для визначення технічного стану деталей машин в тому числі і сільськогосподарської.*

*Введення.* Методи голографування із застосуванням подвійного імпульсу дозволяють перевіряти два різних стани поверхні об'єкту, які спостерігати у вигляді інтерференційних смуг на його відновленому зображенні. Один імпульс генерують при ненапруженому стані об'єкту, а другий - при напруженому стані. Аномалії в картині інтерференційних смуг можуть відображати характер конкретного дефекту або структуру поверхні конкретної деталі об'єкта [1]. Імпульсний рубіновий лазер забезпечує заходи, необхідні для запису голограм в умовах, відмінних від лабораторних. Ось чому голографічні неруйнуючі випробування є ефективним способом контролю в експлуатаційних умовах. Можливе також якісне управління системою в реальному масштабі часу і контроль деталі, що дозволяє провести діагностичне випробування без порушення працездатності об'єкта.

*Мета.* Провести аналіз існуючих методів голографування деталей та визначити приоритетні умови їх реалізації.

*Результати.* При неруйнуючих дослідженнях із реалізацією лазера безперервного випромінювання для генерації резонансних мод коливань високого порядку і пошуку аномалій у інтерференційних смуг у відновлених голограмах і отриманих методом усереднення за часом, є ефективним застосування ультразвукового збудження як навантаження. Цей метод застосовують при голографії із синхронізацією лазера і ультразвукового збудження між двома імпульсами.

Голографічну інтерференцію із імпульсними лазерами, як було встановлено, доцільно застосовувати при дослідженнях на втому, а також матеріалів на міцність при використанні механічного згину. Для отримання інтерференційних смуг на поверхні деталі чи вузла, використовують випромінювання лазера із двома хвилями різної довжини. Робота імпульсного лазера із одночасною генерацією двох хвиль різної довжини проведена із розділенням контурів. Цей метод базується на такому виборі віддалі до еталона (резонансного відбивача), при якій два відбитих пучка знаходяться в межах ширини лінії флуоресценції оптично накачаного рубіна. Інтервал між лініями різких рівнів поверхні визначають як [1, 2]:

$$I = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \left( 2 \cdot \Delta\lambda \cdot \cos \frac{Q}{2} \right), \quad (1)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  - довжини хвиль випромінювання лазера, мкм;

$\Delta\lambda$  - різниця довжин хвиль, мкм;

$Q$  - кут між напрямком споглядання і напрямком освітлення, рад.

Розподіл навантажень дозволяє вивчати не тільки окремі зони на деталі, а також спряжені поверхні. Обробка поверхонь не впливає на якість проведення контрольних операцій, навіть у виробничих умовах.

Існуюча інтерферометрія застосовується тільки для вимірювання невеликих змін ходу променів при дослідженні оптично полірованих і дзеркально відбиваючих плоских поверхонь. Голографія ж дозволяє проводити вимірювання трьохмірних дифузійно відбиваючих неплоских поверхонь. Смуги, що появляються на зображенні (світлі і темні), являють собою контури рівного переміщення частини поверхні об'єкта вздовж осі спостереження, а кожна наступна смуга відображає зміщення, рівне приблизно половині довжини хвилі джерела когерентного випромінювання, використаного при відновленні голограми.

Розрізняють такі основних варіанти методу голографічної інтеферометрії:

1) статична двоекспозиційна інтерферометрія. Запис проводять на одну і ту ж фотопластинку - до і після прикладення статичного навантаження;

2) динамічна інтерферометрія із усередненням за часом. Метод базується на подовженій експозиції об'єкта, який знаходиться під дією циклічного чи вібраційного навантаження, під час якого проходить інтерференція між сукупністю окремих зображень. Найбільш чітко проявляються смуги, записані при швидкості зміни стану об'єкта, близького до нуля - в крайніх амплітудних положеннях;

3) голографічна інтерферометрія в реальному масштабі. За цим методом проводять запис голограми нерухомого об'єкта, її повністю обробляють і вертають точно на те саме місце в голографічній установці. Потім об'єкт, який досліджують спостерігають через голограму. Любе зміщення об'єкта приводить до виявлення інтерференційних смуг в реальному масштабі часу;

4) комп'ютерна голографія – найсучасніший її вияв, коли застосовують програмне забезпечення для створення умов запису голограм в цифровому виді при математичній обробці отриманих результатів.

Голограма показує картину зміщення об'єкта в проміжку між двома експозиціями – двоекспозиційна голографія. Проведені автором дослідження дали змогу вперше встановити умови визначення станів поверхонь деталей і вузлів сільськогосподарських машин близьких до граничних або відповідаючих їм. В наслідок того, що обидва хвилеві фронти, один із яких несе світлову інформацію із поверхні відбиття, а інший є опорним, сумуються в площині емульсії, то розподіл інтенсивності запису на голограмі визначиться через [1]:

$$I = |U_{0_1}|^2 + |U_{0_2}|^2 + |U_r|^2 + U_r^* \cdot |U_{0_1} + U_{0_2}| + U_r \cdot (U_{0_1}^* + U_{0_2}^*) \quad (2)$$

де зірочка вказує на комплексно-спряжену функцію;

$U_r$  - опорна хвиля, м.

Відновлений хвильовий фронт, при цьому буде пропорційний хвильовому фронту зображення [1, 2]:

$$U_i = (U_{0_1} + U_{0_2}) \quad (3)$$

Відновлене зображення описується векторною сумою відповідних полів об'єкта ( $U_{0_1}$  і  $U_{0_2}$ ). Переміщення, що розглядається голографічною інтерферометрією, малі в порівнянні із просторовою протяжністю об'єкта, то окремі поля об'єкта запишуться [1]:

$$\begin{aligned} U_{0_1} &= A_0 \cdot \exp i \cdot k \cdot \varphi_1; \\ U_{0_2} &= A_0 \cdot \exp i \cdot k \cdot \varphi_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Тоді розподіл інтенсивності (індекс позначає хвильовий ефект об'єкта у випадку двох експозицій), то відновлене зображення запишеться [2]:

$$I_{i_d} = |U_r|^2 \cdot \alpha \cdot 2 \cdot |A_0|^2 \times \{1 + \cos[k \cdot (\varphi_{0_2} - \varphi_{0_1})]\}, \quad (5)$$

де  $k = 2\pi / \lambda$

$\varphi_{0_2} - \varphi_{0_1}$  - додаткова довжина шляху променів, яка появляється в результаті зміщення об'єкта, м.

Розподіл інтенсивності відновленого зображення є функцією інтенсивності освітленості об'єкта, промодульованого за законом косинуса, внаслідок зміни фази при зміщенні об'єкта. Зміщення  $z_1$  походить в напрямку нормалі до поверхні. Якщо кут між падаючим пучком і нормаллю поверхні об'єкта при згину рівний  $\alpha$ , а кут спостереження при відновленні  $\beta$  то інтенсивність [1, 2]:

$$\begin{aligned} I_{i_d} &\propto 2 \cdot |A_0|^2 + \{1 + \cos[k \cdot z_1 \cdot \cos \alpha + \cos \beta]\}; \\ &\text{або} \\ I_{i_d} &\propto 4 \cdot |A_0|^2 \cdot \cos^2 \frac{1}{2} [k \cdot z_1 (\cos \alpha + \cos \beta)]. \end{aligned} \quad (6)$$

Інтенсивність змінюється, як квадрат косинуса в залежності від віддалі між двома інтерференційними смугами, безпосередньо зв'язаними із зміщення  $z_1$  об'єкта [1]:

$$z_1 = N \cdot \lambda / (\cos \alpha + \cos \beta) \quad (7)$$

де  $N$  – число смуг.

Голографічна інтерферометрія дозволяє знайти і виміряти незначні зміни форми поверхні шляхом порівняння кожної точки на поверхні деталі із її зміненим станом. Надзвичайна чутливість метода до поверхневих деформацій дозволяє вивчити характеристики окремих частин об'єкта, спостерігаючи переміщення його поверхонь під дією малих навантажень. Цей метод містить в собі великі потенційні можливості для вирішення різноманітних задач неруйнуючого контролю у виявленні різних дефектів.

Для реалізації цього метода застосовують різні по фізичній суті навантаження: 1) акустичне збудження; 2) термічні навантаження; 3) навантаження тиском, або розрідженням; 4) механічне навантаження;

Поєднання голографії, як було встановлено автором, із методом ультразвукового збудження на невеликих частотах дає можливість реєструвати фізичні властивості відносні великих поверхонь при їх деформації плоскою акустичною хвилею. При контролі за допомогою термічного навантаження фіксують поверхневі деформації, викликані різницею в тепловому розширенні елементів об'єкта. Навантаження тиском або розрідженням дає ефективні результати для порожнини елементів конструкцій. До виробу прикладають механічне навантаження адекватне експлуатаційному.

Для удосконалення способу управління смугами необхідно змінити кривизну предметного пучка, що змінюється оптичним шляхом за допомогою лінз. Розмістивши лінзу на шляху предметного пучка і забезпечив її переміщення вздовж оптичної осі, отримаємо можливість компенсувати загальний рух об'єкта по лінії спостереження від голограми до поверхні об'єкта. Спосіб підвищення чутливості голографічної інтерферометрії полягає в забезпеченні відповідної зміни фази в опорному (чи у предметному) пучку в проміжку між двома експозиціями. Це дозволяє записувати малі переміщення поверхні об'єкта, співвимірні із долями довжини хвилі випромінювання, як функцію інтенсивності смуг і забезпечує підвищення чутливості на один порядок.

При застосуванні метода двох експозицій, зміна фази визначається математично, як  $1/4$  довжини хвилі випромінювання, рівне  $90^\circ$ . Введення такої зміни між експозиціями перемістить нормальну функцію косинуса від якої залежить інтенсивність інтерференційних смуг на  $1/4$  періоду. При цьому найбільше значення косинуса - точка із максимальною зміною яскравості смуг зміститься в точку нульового положення об'єкта і тоді при малому зміщенні від нульового положення буде споглядатися максимальна яскравість смуг. Синусоїдально змінюючи фазову модуляцію опорного пучка здійснюють за допомогою вібруючого дзеркала. Амплітуду модуляції теоретично визначають прирівнюючи нулю другу похідну квадрата функцій Бесселя нульового порядку [2]. Оптимальна фазова модуляція досягається при  $62^\circ$ . Амплітуда коливань дзеркала  $A = 1,082 \cdot \lambda / 2 \cdot \pi$  [2], де  $\lambda$  довжина хвилі лазера.

Спосіб зниження великої чутливості використовують в голографічній інтерферометрії для дослідження великих переміщень об'єкта і полягає у використанні муарових методів. Записують дві серії звичайних голографічних

інтерференційних смуг, які потім порівнюють за допомогою муарового методу. Голографічну муарову картину отримують шляхом чотирьох експозицій на одну емульсію. Перші дві експозиції і дві останні проводять при постійному зміщенні об'єкта. При чому, в проміжку між другою і третьою експозиціями переміщення об'єкта перевищує те, яке можливо зареєструвати звичайною голографічною інтерферометрією. Отримані за допомогою муарового методу дві серії інтерференційних смуг інтерферують в некогерентному світлі. В результаті цього отримують інтерференційну картину від великих зміщень поверхні деталі більш яскравою. Відносну фазу між пучностями на інтерферограмі вібрацій можливо визначити, регулюючи амплітуду, що особливо важливо при дефектації та неруйнуючому контролі деталей сільськогосподарських машин.

*Висновки.* Таким чином встановлено практичну можливість реалізації як імпульсної голографії (двоімпульсний режим роботи лазера), так і голографії при постійному опроміненні виробу. Теоретично визначено, а потім практично реалізовано при встановленні технічного стану сільськогосподарських машин.

#### **Список літератури:**

1. Островский Ю.И. Голография и ее применение. - Л.: Наука, 1973, - 320 с.
2. Ерф Р. К. Голографические неразрушающие исследования. /Пер. с англ.. - М.: Машиностроение, 1979. - 446 с.
3. Карабиньош С.С. Определение величины микродеформации нагруженного тела голографическим методом. - М.:Контроль. Диагностика. № 4. 2008. –С.35-41.

#### **Аннотация**

##### **Неразрушающие испытания деталей сельскохозяйственных машин**

Карабиньош С.С., Ружило З.В., Новицкий А.В.

*В статье приведен анализ условий голографирования деталей сельскохозяйственной техники для определения уровня их надежности. Рассмотрены возможности применения различных методов голографирования для определения технического состояния деталей машин в том числе и сельскохозяйственной.*

#### **Abstract**

##### **Non-destructive tests of parts of agricultural machines**

Karabinesh S.S., Ruzhylo Z.V., Novytskyu A.V.

*Annotation. In the article the analysis of terms of holographical investigations parts of agricultural technique is resulted for determination of level of their reliability. Possibilities of application of different methods of holographical investigations are considered for determination of the technical state of details of machines including agricultural.*