

Корисна модель відноситься до оптичних методів контролю, а саме до методів голографічної інтерферометрії, і може бути використаний для неруйнівного контролю і технічної діагностики виробів машинобудування.

Зазвичай оцінка якості об'єкта методом голографічної інтерферометрії проводиться в такий спосіб. Голографічним методом на реєструюче середовище записують хвильові фронти, відбиті від об'єкта в його початковому і деформованому станах. Інтерференція цих хвильових фронтів приводить до того, що записане голографічне зображення об'єкта виявляється покритим сіткою інтерференційних смуг, що свідчать про переміщення зовнішньої поверхні об'єкта. Величини переміщень відображають реакцію об'єкта на задане навантаження.

Для визначення цих переміщень здійснюють розшифровку інтерферограми - голографічного інтерференційного портрета об'єкта (ГІП). Складність рішення цієї задачі полягає в тому, що один і той же ступінь почорніння на ГІП може відповідати різним фазам світлової хвилі - величини, безпосередньо пов'язаної з переміщеннями, тобто неможливо точно визначити величину переміщення.

Для точного визначення полів різниці фаз оптичних хвильових фронтів використовують методи, засновані на отриманні надлишкової інформації, яка дозволяє однозначно визначити різницю фаз. Такими методами є метод вимірювання фази інтерферометром з керованим фазовим зміщенням [1-4], який полягає в тому що виконують, принаймні, три вимірювання інтенсивності при різних фазових зсувах. Цей алгоритм досить чутливий до похибок керованих фазових зміщень, тому для зменшення впливу цих похибок виконують n вимірювань ($n > 3$) і обчислюють значення фаз шляхом розв'язання системи з n рівнянь методом найменших квадратів. Для зменшення впливу випадкових похибок використовують великі значення n . Але є ряд причин, що обмежують кількість фазових зміщень n , особливо при високошвидкісних вимірюваннях.

За певних умов формування інтерференційної картини можливе одержання повної інформації про фазу хвильового фронту з урахуванням її знаку. Цей підхід використовується, зокрема, у методі несучих смуг [5-9]. Суть методу полягає у тому, що одержують початкову інтерферограму несучих смуг з високою просторовою частотою й об'єднують її з інтерференційною картиною смуг, отриманою при навантаженні об'єкта, що досліджується.

Змінюючи кут нахилу, регулюють просторову частоту несучих смуг, що покривають поверхню не навантаженого об'єкта. Картину несучих смуг створюють за допомогою нахилу фазової пластинки, що розташована в оптичній схемі інтерферометра в об'єктному пучці, нахилом досліджуваного об'єкта, зміною орієнтації опорного променя або самої голограми.

Розшифровка інтерферограми, отриманої за методикою несучих смуг, з використанням класичного Фур'є - методу вимагає точного знання частоти несучих смуг. Крім того, необхідно виконати умову, що забезпечує однакову відстань між несучими смугами, що не завжди вдається.

Найбільш близьким до корисної моделі по технічній суті є спосіб визначення переміщень поверхні об'єкта за голографічним інтерференційним портретом (ГІП), отриманим в процесі навантаження об'єкту, який полягає в тому, що за допомогою відео пристрою ГІП заводять до комп'ютера, виходячи з розподілу інтенсивності почорніння поверхні об'єкту, програмним способом визначають фазу світлової хвилі і, використовуючи формули зв'язку фази з величиною переміщень, визначають переміщення поверхні об'єкту. При цьому фаза світлової хвилі визначається лише для точок скелетних смуг, тобто тих ліній на інтерферограмі, які є центральними для чорних і білих інтерференційних смуг [10]. Операція визначення цих ліній називається скелетизацією інтерферограми. Таким чином, операції розшифровки, тобто нумерації смуг, визначення значень фаз, переміщень і деформацій, проводять лише для точок ліній скелету. Якщо лінії скелету пронумеровані послідовними номерами, які пов'язані із значеннями фаз на лініях, то інтерферограма вже не містить невизначеності у визначенні фаз. Тобто рішення задачі про усунення невизначеності визначення фаз у різних точках інтерферограми зводиться до задачі нумерації ліній скелету.

Оскільки після скелетизації розглядається не все зображення об'єкту, а тільки лінії скелету, скелетизація інтерферограми дозволяє різко скоротити кількість операцій, необхідних для розшифровки інтерферограм. Разом з властивими йому перевагами підхід, заснований на скелетизації, має і недоліки. Вони пов'язані в основному з ненадійністю існуючих алгоритмів скелетизації, яка носить принциповий характер. Це пов'язано з тим, що не завжди двовимірний об'єкт (широку смугу) можна однозначно замінити одновимірним об'єктом - скелетною лінією. У зв'язку з цим після процесу автоматичної скелетизації необхідним є ручне виправлення недоліків скелету, яке вимагає значних трудовитрат оператора.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу розшифровки інтерферограм, що забезпечить однозначне визначення величини переміщення кожної точки об'єкта при мінімальних витратах часу і зменшить вплив на результат контролю суб'єктивного фактору.

Поставлена задача вирішується тим, що ГІП об'єкта, який контролюється, програмним способом розбивають на скінченні елементи простої геометричної форми, задають зв'язок між інтенсивністю почорніння у вузлових точках цих елементів у вигляді полінома з невідомими коефіцієнтами, які визначаються шляхом мінімізації функціонала відхилень інтенсивності вихідного ГІП об'єкта і ГІП, отриманого розрахунковим способом з використанням значень фаз, які обчислені за допомогою вибраних поліномів.

Спосіб реалізується таким чином: отримують ГІП об'єкта в процесі навантаження і за допомогою відео пристрою здійснюють передачу зображення до пам'яті комп'ютера.

Програмним способом розбивають зображення об'єкта на скінченні елементи простої геометричної форми - трикутники або чотирикутники і визначають інтенсивність почорніння у вузлових точках скінченного елемента з номером i . Інтенсивність почорніння у довільній точці ГІП об'єкта визначається за формулою

$$I(x, y) = I_0(x, y)(1 + \cos(\Phi(x, y))) \quad (1)$$

де x, y - координати точки на інтерферограмі; $I(x, y)$ - результуюча освітленість; $I_0(x, y)$ - вихідна освітленість точки поверхні об'єкта, що визначає його фотографічне зображення; $\Phi(x, y)$ - зміна фази, що викликана переміщенням точки поверхні об'єкта. В межах кожного скінченного елемента $I_0(x, y)$ вважається постійною. Розрахунковим методом визначають таку функцію $\Phi(x, y)$, для якої функціонал

$$J(\varphi) = \iint_{\Omega} (I(x, y) - I_0(x, y)(1 + \cos 2\pi\varphi(x, y)))^2 d\Omega \quad (2)$$

має мінімальне значення. При цьому для кожного скінченного елемента $\varphi(x, y)$ задають у вигляді поліному

$$\varphi(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot x^{u_i} \cdot y^{v_i} \quad (3)$$

де a_i , - коефіцієнти, які підлягають визначенню,

n - наперед задана кількість невизначених коефіцієнтів для кожного скінченного елемента,

u_i, v_i - натуральні числа, які підбираються експериментальним шляхом.

Наприклад, для $n=4$ оптимальними є такі значення величин u_i, v_i

i	1	2	3	4
u_i	0	1	0	1
v_i	0	0	1	1

Тобто знаходять такі значення a_i , для яких функціонал (2) буде мати мінімальне значення. Для здійснення цього способу може бути використаний наступний трьохетапний алгоритм [10].

На першому етапі (етапі початкового розпізнавання) відбувається визначення фаз у вузлах кожного елемента. На другому етапі (етапі узгодження) визначається знак фази та адитивний доданок до неї для кожного елемента. На третьому етапі (етапі уточнення), значення фаз у вузлах уточнюються вже у складі ансамблю елементів.

Для вирішення задач початкового розпізнавання може бути використаний алгоритм, заснований на тому, що спочатку на ділянці кожного елемента визначають екстремальні точки, тобто точки, через які проходять максимуми й мінімуми почорніння інтерференційних смуг. Потім, за допомогою методу найменших квадратів, підбирають вузлові параметри таким чином, щоб відповідні екстремальні лінії проходили якомога ближче до визначених екстремальних точок.

На етапі узгодження скінчених елементів за допомогою статистичних методів вирішується задача визначення знаку (+ чи -) та цілих адитивних доданків для кожного скінченного елемента.

Алгоритм узгодження базується на понятті "оптимального шляху". Для кожного елемента визначається оптимальний шлях до початкового, тобто такий, на якому добуток усіх ймовірностей при переході через межі елементів буде максимальним. Знак і доданок для кожного елемента визначаються згідно оптимального шляху для нього, який знаходять за допомогою алгоритму, що послідовно охоплює всі елементи системи. Включення нового елемента до системи, всі елементи якої вже мають оптимальний шлях, призводить до появи замкнутого ланцюга з елементів, який розривається в місці найслабшої ланки.

На етапі уточнення значення фаз у вузлах методом покоординатного спуску уточнюються вузлові значення. На Фіг. 1-6 наведені етапи реалізації запропонованого способу.

На Фіг.1 приведений вихідний ГІП об'єкту, який був введений в комп'ютер за допомогою відеопристрою.

Після нанесення скінченноелементної сітки ГІП має вигляд, приведений на Фіг.2

На Фіг.3 приведений вид розрахункового ГІП об'єкту після першого етапу - етапу початкового розпізнавання.

На Фіг.4 приведений вид розрахункового ГІП після другого етапу - етапу узгодження.

На Фіг.5 приведений розрахунковий ГІП після третього етапу - етапу уточнення.

На Фіг.6 приведений результат розрахунку нормальних переміщень уздовж довільної лінії АВ.

Таким чином, наведений приклад підтверджує, що при здійсненні заявленого способу забезпечується однозначне визначення величини переміщення кожної точки об'єкта при мінімальних витратах часу і з виключенням впливу суб'єктивного фактору на результат контролю.

Джерела інформації:

1. Карпюк Б.В., Солодкин Ю.Н. Анализ погрешностей измерения фазы интерферометром с управляемым фазовым сдвигом // Автометрия. - 1992. - №6. - С.16-21.
2. Ильиных С.П., Гужов В.И. Обобщенный алгоритм расшифровки интерферограмм с пошаговым сдвигом // Автометрия. - 2002. - Т.38, №3. - С.123-126.
3. Гужов В.И. Практические аспекты измерения фазы в интерферометрии // Автометрия. - 1995. - №5. - С.25-31.
4. Гуров И.П. Компьютерная обработка интерференционных сигналов на основе алгоритма управляемого фазового сдвига // Оптический журнал. 1998. N10. С.38-42.
5. Matthys D.R., Dudderer T.D., Gilbert J.A. Automated analysis of holointerferograms for the determined of surface displacement // Experimental Mechanics. - 1988. - №3. - P.86-91.
6. Takeda M. Ina H., Kobayashi S. Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer - based topography and interferometry // J.Opt.Soc.Am. - 1982. - V.72. - P.156-160.
7. Kujawinska M., Osten W. Fringe pattern analysis methods up-to-date-review // Proc.SPIE. - 1998. - V.3407. - P.56-66.
8. Kreis Th., Juptner W. Fourier-transform evaluation of interference pattern pattern: the role of filtering in spatial - domain in laser interferometry. Quantitative analysis of interferograms // ed. By R.J.Pryputniewicz. - Proc.SPIE - 1989. - V.1162. - P.116-125.
9. Huntley J.M., Coggrave C.R. Progress in phase unwrapping // Proc.SPIE. - 1998. - V.3407. - P.86-93.

10. В.Ф.Рожковский. Автоматизированная расшифровка голографических интерференционных портретов конструкций из композитных материалов // Системные технологии. - 1997. - Вип.1 - с.55-65.

11. В.Ф.Рожковский, Н.А.Бузская. Применение метода конечных элементов для расшифровки голографических интерферограмм // Вестник ДНУ, РКТ. - 2005.



Fig. 1

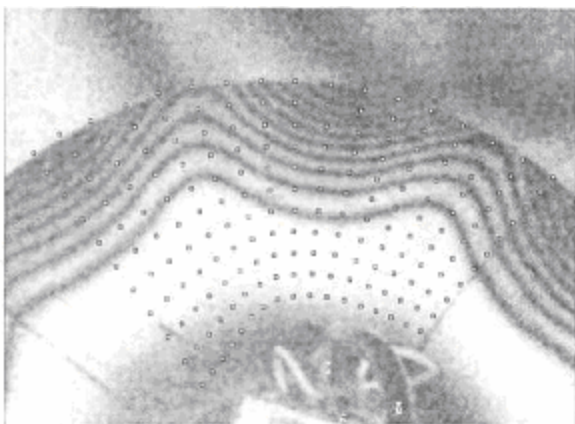
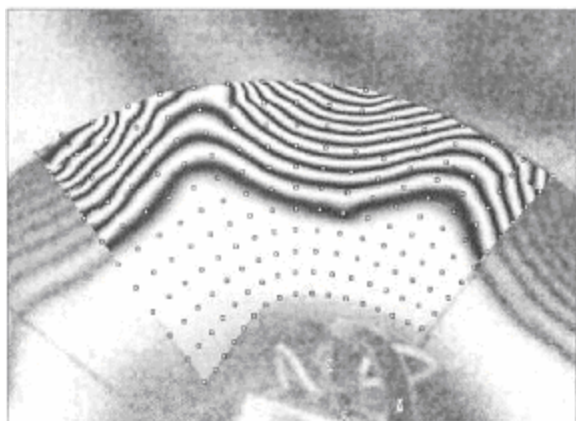


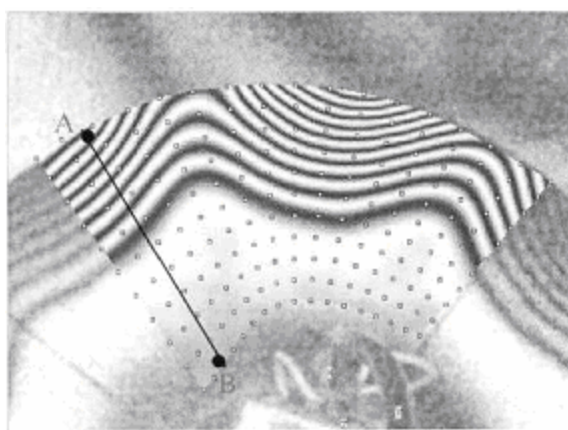
Fig. 2



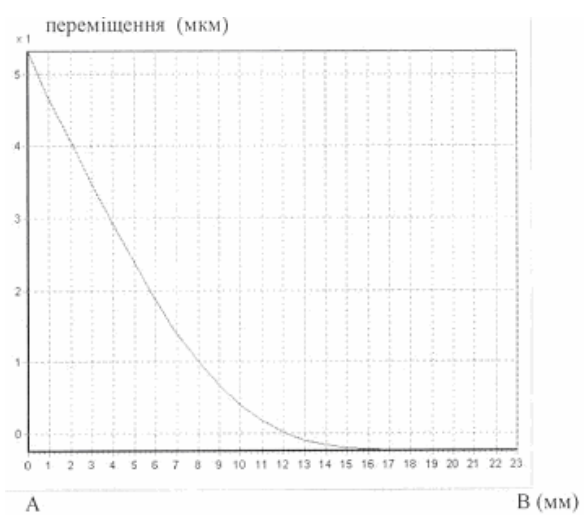
Fig. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6