

**І.В. ГРИГОРЕНКО**, к.т.н., доцент НТУ «ХП»;  
**А.С. БЕЛЄВЦОВА**, ПП «УДЦ ТЕХІНФОРМСЕРВІС», Харків;  
**О.В. ХАРЧЕНКО**, магістр НТУ «ХП»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОХИБОК ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ТЕСТОВОМУ КОНТРОЛІ**

У статті представлено аналіз можливості підвищення точності лазерного діагностичного приладу шляхом оцінки динамічної та температурної похибок у системах лазерного контролю. Запропоновано оцінювати динамічну похибку, що виникає при відпрацюванні східчастого тесту за інтегральним критерієм помилки. Для врахування температурної похибки запропоновано провести розрахунок та аналіз температурних режимів роботи лазерної системи контролю, а за його результатами – введення у розрахункові формули коефіцієнтів, що враховують вплив температурних дрейфів на результати вимірювань.

**Ключові слова:** інтегральний критерій помилки, система лазерного контролю, вимірювальний пристрій, тестові методи контролю лазерних систем.

**Вступ.** Задача отримання прецизійних результатів при використанні на виробництві лазерних систем – основна задача, яку необхідно вирішувати першочергово. Тестовий контроль дозволить підвищити точність вимірювань за допомогою лазерних систем та зменшити похибку виміру шляхом перетворення спеціальних тестів, функціонально пов'язаних з вимірюваною величиною і обробки результатів перетворень за заданим алгоритмом.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** У роботі [1] розглянуті основні методи та загальні підходи до вирішення задач проектування лазерних систем, показані фактори, що впливають на розповсюдження хвиль оптичного діапазону у навколишньому середовищі, а також вплив вибору довжини хвилі випромінювання на характеристики сигналів, що приймаються. У роботі [2] розглянуті основні види оптичних завад природного та штучного походження. Описані способи організації штучних завад, а також механізм впливу завад на оптико-електричні прибори.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є підвищення точності лазерного діагностичного приладу [3] шляхом оцінки динамічної та температурної похибки тесту, а також похибки розсіювання лазерного випромінювання.

**Матеріали досліджень.** На цей час існують багато систем лазерного контролю як технологічних процесів, так і окремих об'єктів, які дають можливість вирішувати конкретні задачі, але не відповідають на запитання, наскільки достовірні дані цього контролю?

Оцінку динамічної похибки при тестуванні східчастим вхідним впливом можна виконати за допомогою інтегрального критерію помилки (рис. 1) [4].

© І.В. Григоренко, А.С. Белєвцова, О.В. Харченко 2015

$$e_{ik} = \int_t^{t+T} \mu \cdot [Y_T(t) - Y_p(t)] dt, \quad (1)$$

де  $e_{ik}$  – значення інтегрального критерію при відпрацюванні тесту;  
 $\mu [Y_T(t) - Y_p(t)]$  – міра динамічної похибки, у якій  $Y_T(t)$  вихідний сигнал ідеального (безінерційного) вимірювального пристрою при східчастому вхідному сигналі;  
 $Y_p(t)$  – вихідний сигнал реального вимірювального пристрою;  
 $\mu$  – масштабний коефіцієнт.

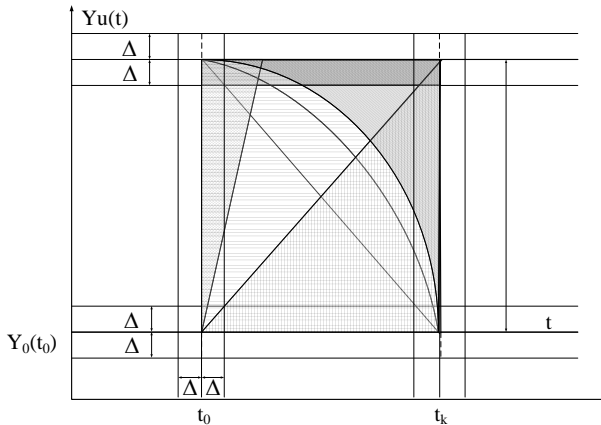


Рис. 1 – Інтегральний критерій оцінювання похибки тесту

Таким чином, якщо система, що контролюється, реагує на зразкові ділянки, то на виході блоку обробки даних маємо різницевий сигнал заданого рівня, що говорить про чутливість та точність роботи системи [2].

Оскільки оцінка динамічної похибки відбувається за допомогою оцінки площ під кривою, то можливий випадок, коли рівність площ зберігатися при наявності фактичної помилки. Проілюструємо це рисунком 2. Даний випадок називається похибкою тесту і пов'язаний з розсіюванням лазерного променя.

Точність сучасних лазерних систем контролю визначається у першу чергу шумами, а також внутрішніми та особисто зовнішніми перешкодами, які носять випадковий характер. Це може бути пояснено як рівнем сучасної елементної бази лазерних систем, розвитком методів їх розрахунку та конструювання, так і ускладненням умов, у яких доводиться працювати лазерним системам [1]. Прикладом таких систем є системи контролю якості поверхні виробів на металообробляючих верстатах.

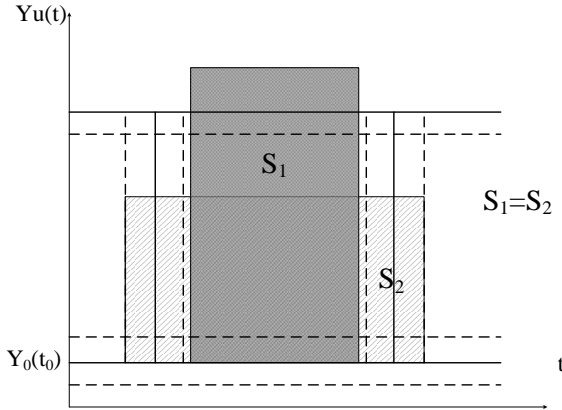


Рис. 2 – Рівність площ

Інтегральний критерій похибки дає змогу оцінити динамічну похибку тесту. Розрахунок динамічної похибки самої лазерної системи контролю може бути проведено, якщо відома передаточна функція системи або частотні характеристики окремих елементів її структурної схеми.

У загальному випадку спектральна щільність динамічної похибки відтворення деякого вхідного сигналу зі спектром  $X(j\omega)$  на виході лінійної системи з частотною характеристикою  $G_s(j\omega)$  визначається як

$$\Delta_{din\ вых}(j\omega) = [G_s(j\omega) - 1] \cdot X(j\omega).$$

Ця ж похибка, приведена до входу, буде мати вигляд

$$\Delta_{din\ вх}(j\omega) = \left[ \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right] \cdot X(j\omega),$$

де  $K_c$  – статичний загальний коефіцієнт перетворення системи (при  $\omega=0$ ).

Якщо неузгодженість на вході (вимірювальна величина) являє собою стаціонарний центрований випадковий процес зі спектральною щільністю  $S(\omega)$ , то математичне очікування динамічної похибки дорівнює нулю, а її дисперсія

$$D[\Delta_{din}] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right|^2 \cdot S(\omega) d\omega.$$

Якщо вхідна неузгодженість є миттєвим значенням гармонічного сигналу  $A_m \cdot e^{j\omega t}$ , то динамічна похибка вимірювання цього значення

$$\Delta_{din}(t) = \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right| \cdot A_m \cdot e^{j\omega t},$$

її математичне очікування дорівнює нулю, а дисперсія

$$D[\Delta_{din}] = \left( \frac{A_m^2}{2} \right) \cdot \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right|^2.$$

Значний вплив на точність лазерних систем має температурний режим роботи. Навіть незначний перепад температури елементів системи може привести до появи термооптичної аберації, розфокусування оптичної системи, термодформації оптичних деталей, до погіршення чутливості і відношення сигнал/шум внаслідок збільшення фонового потоку випромінювання, що наближається до приймача випромінювання, та інших помилок.

Для забезпечення потрібної якості показань лазерної системи контролю необхідно провести розрахунок та аналіз теплових режимів роботи.

Таким чином, виникає необхідність введення температурної корекції, оскільки, наприклад, при обробці металів різанням, має місце висока температура у зоні різання.

У самій системі, у самій системі при відомих значеннях перепадів температур  $\Delta t$  окремих вузлів і елементів відносно номінальних температур є можливість розрахунку відповідних змін оптичних параметрів: радіусів кривизни оптичних поверхонь  $r_i$ , показників переломлення деталей  $n_i$ , товщини повітряних проміжків  $d_i$  за формулами

$$r_i = r_{20}(1 + \alpha_i \Delta t); \quad n_i = n_{20}(1 + \beta_i \Delta t); \quad d_i = d_{20}(1 + \beta_i \Delta t),$$

де  $r_{20}$ ,  $d_{20}$ ,  $n_{20}$  – відповідно радіусів кривизни, товщина і показник переломлення при нормальній температурі  $t = 20^\circ \text{C}$ ;  $\alpha_i$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу  $i$ -х оптичних, або механічних деталей;  $\beta_i$  – температурний коефіцієнт показника переломлення скла  $i$ -х деталей.

**Результати досліджень.** Через наявність випаровувань, підвищених температур при обробці деталей різанням у подальших розробках планується проаналізувати можливість розрахунку розсіювання лазерного пучка для визначення оптимальних параметрів вимірюваного вікна і зробити рекомендації щодо ширини тесту так, щоб світлова пляма від лазерного випромінювання розміщувалась на вершині тестових ділянок для уникнення можливих помилок тесту.

**Висновки.** Проведений аналіз показав доцільність подальшої розробки тестового методу для діагностичного приладу [3] з урахуванням умов, які впливають на точність контролю, і встановлення допустимих границь вимірювального вікна, на які впливають розміщення лазерного променя відносно виробу, його яскравість, умови і характер виконуваних робіт.

Застосування запропонованих підходів до оцінки похибок дасть можливість підвищити якість і вірогідність контролю лазерних діагностичних систем.

**Список літератури:** 1. Мишура Т.П. Проектирование лазерных систем: учебное пособие / Т.П. Мишура, О.Ю. Платонов // ГУАП. - СПб., 2006. – 98с. 2. Якушенков Ю.Г. Методы борьбы в оптико-электронных приборах / Н.В. Луканцев, М.П. Колосов // М.: Радио и связь, 1981. – 180с. 3. Пат. 85637 У Україна, МПК G01V 11/30(2006.01) Пристрій для контролю лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні виробів / І.В. Григоренко, С.І. Кондрашов, Давиденко О.П., А.С. Белєвцова; Власник НТУ «ХПІ», № u2013 06975; заявлено 03.06.2013, опубл. 25.11.2013, бюл. №22, – 2с. 4. Григоренко І.В. Розвиток тестових методів підвищення точності електричних компенсаційних вимірювальних перетворювачів у динамічних режимах: дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.11.05 / І.В. Григоренко – Харків, 2010. – 224 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Michura T.P. *Design of laser systems: a tutorial* / T.P. Michura, O. Platonov // SUAE. - SPb., 2006. – 98 p. 2. Yakushenkov Y.G. *Methods of struggle in optoelectronic devices* / N.V. Lucanians, M.P. Kolosov // M.: Radio and sviyaz, 1981. – 180 p. 3. Pat. 85 637 U Ukraine, IPC G01V 11/30 (2006.01) *Device for controlling laser measurement systems geometric dimensions and surface quality of products* / I.V. Hrihorenko, S.I. Kondrashov, A.P. Davydenko, A.S. Byelyevtsova; Owner NTU "KhPI", Nou2013 06 975; stated 03.06.2013, publ. 25.11.2013, Bul. No22, - 2p. 4. Hrihorenko I.V. *The development of test methods to improve the accuracy of measuring transformers countervailing power in dynamic modes*: Thesis. for the degree of candidate of technical sciences: 05.11.05 / I.V. Hrihorenko - Kharkiv, 2010. - 224 p.

*Надійшла (received) 17.03.2015*