

$$t_p \xi^{\frac{m}{n}} c. \min = C \quad (6)$$

Соотношение (6) устанавливает взаимосвязь между установившейся скоростью деформаций ползучести и временем до разрушения и является критерием разрушения в условиях ползучести при одноосном растяжении для всех материалов при различных температурах испытаний. Нетрудно видеть, что при $|m| = |n|$, выражение (6) приводится к известному критерию Хоффа [4].

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования на ползучесть стали 08X18N9 (T=873K) при длительном активном нагружении в условиях одноосного растяжения позволили установить взаимосвязь между минимальной скоростью деформаций ползучести как основной характеристикой при расчетах на ползучесть и временем до разрушения, а также показать, что критерий Хоффа выполняем не для всех материалов, и тем самым модифицировать его и привести к виду (6), что позволит распространить его на более широкий класс материалов и в дальнейшем разработать экспериментально обоснованные подходы по оценке ресурса конструкционных материалов с учетом ряда эксплуатационных факторов.

Список литературы

1. Можаровская Т.Н. О зависимости времени до разрушения при длительном нагружении в условиях плоского напряженного состояния от минимальной скорости деформаций ползучести. - Пробл. прочности, 1982, №12, с. 51-54.
2. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - М.: Наука, 1966. - 752с.
3. Малинин И.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. - 387с.
4. Hoff N.I. The necking and the rupture of rods subjected to constant tensile loads. - J. Appl. Mech., 1953, 20, №1, p. 105-108.
5. Хофф Н. Кратковременная ползучесть в конструкциях. - В кн.: Проблемы высоких температур в авиационных конструкциях. М.: Изд-во иностр. лит., 1961.

УДК 531.383

Н.В. Гнатейко, О.М. Безвесільна
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ГІРОСКОПА

В работе рассматриваются принципы построения математической модели погрешности для высокоточного измерения углов при динамике движения объектов слежения с помощью обычных оптических устройств с использованием лазерных гироскопов в качестве чувствительных элементов процесса измерения.

Mathematical models of the angle measurement errors for highly precise measurement of angles in the dynamics of tracking with help of the conventional optical devices using laser gyroscopes as sensitive elements of the measurement have been researched in this work.

Вступ

В сучасних астронавігації, геодезії, метрології, верстатобудуванні, в системах спостереження за рухомими об'єктами для точного визначення їх координат і руху, в авіації і космонавтиці, тощо, широко застосовуються різні засоби точного вимірювання кутів для визначення рішень.

Однак більшість з них не мають потрібної високої точності, або працюють повільно у ручному або напівавтоматичному режимі, що не забезпечує потрібних до них вимог.

Одним з перспективних рішень такої задачі є розроблення систем точного вимірювання кутів за допомогою використання чутливих перетворювачів у вигляді лазерних гіроскопів, що дає можливість за допомогою оптичних засобів здійснювати високоточні вимірювання кутів знаходження об'єктів в динаміці на будь якій відстані з одного боку і в автоматичному режимі – з іншого [1], [2].

В статті наведений аналіз точності роботи автоматичної системи вимірювання кутів за допомогою лазерного гіроскопа [1] з урахуванням багатьох, діючих при цьому процесі, шкідливих факторів, які породжують різноманітні похибки вимірювання. Надається розроблена на цій базі математична модель такої загальної похибки визначення кута вимірювання, а також розглядається спрощений метод розрахунку похибки такого вимірювання. [2]

Постановка задачі

Лазерні гіроскопи (ЛГ), або як їх ще називають – кільцеві лазери (КЛ), за рахунок своїх особливих властивостей знаходять поширення як вимірювальні перетворювачі кутової швидкості. Застосування практично безінерційних КЛ для такої мети дозволяє робити безконтактне перетворення кута в цифровий частотний код в реальному масштабі часу в динамічному режимі при значних кутових швидкостях з обробкою інформації цифровими методами на ЕОМ.

Вочевидь, що частотний вихід сигналів з ЛГ буде напряму впливати на похибку вимірювання. На таку точність роботи буде впливати також і ряд інших факторів. Все це потребує провести ретельний аналіз усіх можливих факторів, які формують похибку вимірювання кутів з використанням таких перетворювачів і розробити математичну модель такої похибки для можливого керування точністю вимірювання кутів.

Розробка математичної моделі похибки

В роботі [2] приведена нова автоматична система високо-точного вимірювання кутів в динаміці з використанням ЛГ в якості кутового точного перетворювача на прикладі вимірювання кутів на багатогранній призмі.

У наведеній такій системі кільцевий лазер обертається на столі пристрою разом з вимірювальною призмою з відомою кутовою швидкістю і видає на два лічильника по черзі визначену кількість періодів сигналу з кожної грані призми, яку визначає щільний фотоелектричний автоколіматор. Він вмикає один лічильник і вимикає другий при зміні граней призми автоматично, що дозволяє проводити вимірювання кутів призми в динаміці з підрахуванням результату на ЕОМ.

Такі виміряні кути при відліку кутів від базової першої грані призми обчислюються ЕОМ за формулою [2]:

$$\varphi_i = 2\pi \frac{N_{i-1} + N_i}{N_{n-1} + N_n}, \quad (1)$$

де N_i – число періодів сигналу, отримане з кожної грані призми лічильниками;

n – кількість граней контрольованої призми; i – порядковий номер вимірювального кута, коли $i=1..n$, якщо $i=1$, то $N_{i-1} = 0$.

Принципи побудови перетворювачів кутів на основі ЛГ суттєво відрізняються від принципів побудови інших типів перетворювачів аналогічного призначення, тому їх похибки роботи також різні, що робить застосування методів і моделей інших перетворювачів в даному випадку недопустимим.

На основі проведених досліджень кожного фактору, які впливають на точність роботи системи з використанням перетворювача у вигляді ЛГ, була створена [1] математична модель похибки вимірювання кутів $\Delta\varphi$ за допомогою системи у вигляді:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\int_{t_1}^{t_\varphi} \left[K(t)\omega_{LG}(t) \cos \alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{LG}(t) \cos \alpha(t)} + f_0(t) \right] dt + N_{q1}}{\int_{t_1}^{t_{2\pi}} \left[K(t)\omega_{LG}(t) \cos \alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{LG}(t) \cos \alpha(t)} + f_0(t) \right] dt + N_{q2}} + \Delta\varphi_{cal} - \varphi, \quad (2)$$

де $t_1; t_\varphi; t_{2\pi}$ – зафіксовані автоколіматором моменти часу початку вимірювання першої грані призми при повороті її на кут φ і повний оберт 2π ;

$K(t)$ – масштабний коефіцієнт ЛГ [1];

ω_{LG} – кутова швидкість обертання лазерного гіроскопа;

$\alpha(t)$ – кут між віссю обертання обертового пристрою системи і віссю чутливості ЛГ;

$K_{-1}(t); f_0(t)$ – відповідно нелінійність і зсув нуля вихідної характеристики ЛГ;

N_{q1} і N_{q2} – шум і дискретність квантування сигналу ЛГ;

$\Delta\varphi_{cal}$ – похибка обчислень; φ – дійсне значення вимірюваного кута.

Визначення похибки $\Delta\varphi$, згідно виразу (2), у наданому вигляді представляє дуже складну математичну задачу. Тому можливо для розв'язання практичних задач мати більш спрощений метод визначення компонентів за формулою (2).

Для цього необхідно знати конкретні характеристики обертового пристрою, фотоелектричного автоколіматора, самого лазерного гіроскопу та інших пристроїв, застосованих в системі вимірювання, що значно спрощує вирішення такої задачі.

Час отримання сигналів і їх підрахунок до кожного кута може бути записаний з урахуванням випадкових похибок процедури вимірювання у вигляді:

$$t = t_0 + t_{det} + t_\xi, \quad (3)$$

де t_0 – дійсний час формування імпульсів з ЛГ лічильником по кожній грані призми:

t_{det} і t_ξ – детермінована і випадкова складові похибки відповідно.

Розглянемо похибки, які вносить ЛГ, який конкретно використовується в системі вимірювання кутів. Цей прилад буде підлягати впливу різного роду кутових швидкостей, таких як кутові швидкості обертової платформи – $\bar{\omega}(t)$, Землі – $\bar{\omega}_e$ і основи обертової платформи відносно Землі – $\bar{\omega}_{bas}(t)$. Таким чином на ЛГ буде діяти загальна кутова швидкість у вигляді векторної суми:

$$\bar{\omega}_{LG}(t) = \bar{\omega}(t) + \bar{\omega}_e + \bar{\omega}_{bas}(t). \quad (4)$$

Однак, кутова швидкість обертової платформи $\omega(t)$ також має значні зміни по часу роботи і може бути з урахуванням збуджуючих факторів визначена формулою

$$\bar{\omega}(t) = \bar{G}[\omega_0 + \omega_{dr} + \omega_{det}(t) + \omega_{\xi}(t) + \omega_{\zeta}], \quad (5)$$

де \bar{G} – вектор як масштабний коефіцієнт перерахунку системи;

ω_0 – постійна складова кутової швидкості обертання платформи;

ω_{dr} – величина лінійного дрейфу привідного електродвигуна;

$\omega_{det}(t)$ – детермінована складова кутової швидкості;

$\omega_{\xi}(t)$ – випадкова складова процесу обертання платформи через нелінійність ходу в системі приводу;

ω_{ζ} – зміщення кутової швидкості при вмиканні у вигляді випадкової величини.

Кут між віссю обертання поворотного пристрою і віссю чутливості лазерного гіроскопу може бути визначена по формулі

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha_{\xi}(t), \quad (6)$$

де α_0 – постійне відхилення як похибка переносу системи; $\alpha_{\xi}(t)$ – випадкова складова із-за наявності радіальних зазорів в механізмі приводів, яка враховується як нормальний гаусівський процес з математичним очікуванням $M|\alpha_{\xi}(t)| = 0$ і дисперсією $D|\alpha_{\xi}(t)| = \sigma_{\alpha}^2$.

Дослідження параметрів дрейфу вихідної характеристики ЛГ показали [1], що при його використанні в особливих умовах, коли він працює у спокійних умовах з малим часом вимірювання і не має зовнішніх впливів, масштабний коефіцієнт може бути визначений виразом [1]

$$K(t) = K_0 + K_2(t) + K_{\xi}(t), \quad (7)$$

де K_0 – постійна складова масштабного коефіцієнта;

$K_2(t)$ – випадкова гаусівська величина від неплавності ходу; $K_{\xi}(t)$ – стаціонарний гаусівський процес з $M_K = 0$ і $D_K = \sigma_K^2$.

Параметри, що визначають нелінійність роботи кожного ЛГ конкретно і зсув нуля вихідної його характеристики за час процедури вимірювання кута, можуть бути прийняті постійними, як:

$$K_{-1}(t) = K_{-1}; \quad f_0(t) = f_0, \quad (8)$$

Таким чином, величина похибки $\Delta\varphi$ (2) з врахуванням конкретних значень її складових компонентів (3) – (8) може бути розрахована чисельними методами на ЕОМ точно.

Висновки

Наведений аналіз такої похибки вимірювання кутів автома-тично на системі, з використанням лазерного гіроскопу [1, 2] в якості кутового масштабованого перетворювача, показали, що отримана похибка визначення кутів при багатократному повторі такої процедури була в межах 0,3-0,5 кутових секунд, а отримана модель такої похибки (2) адекватна дійсності.

Встановлено, що зменшення такої похибки $\Delta\phi$ можливо досягнути більш ефективним методом за рахунок точного регулювання кута α між вимірюючій віссю ЛГ та вектором кутової швидкості обертання $\bar{\omega}$.

Список літератури

1. Безвесільна О.М. Елементи і пристрої автоматики та систем управління. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютерних систем: Підручник. Житомир: ЖДТУ, 2008-700 с.
2. Безвесільна О.М., Гнатейко Н.В. Автоматична система високоточного вимірювання кутів в динаміці.// зб. Механіка гіроскопічних систем №20, 2009. – с.78–81
3. Пролетко В.И., Иносов В.Л. Анализ погрешностей измерения плоского угла в интервале времени. // ж. Измерительная техника, №1, 1974. – с.11-14.
4. Богданов А.П., Хлебников Ф.П., Цесняк Л.С. Автоматизированный контроль многогранных призм.// ж. Оптико-механическая промышленность, №7, 1978. - с.3-5.
5. Блентер Б.Э., Филатов Ю.В. Экспериментальное исследование точности измерительного преобразователя угла на основе кольцевого оптического лазера.// ж. Метрология, №1, 1998. - с.38.