

УДК 621.39

С. О. Тишко, О. Є. Забула

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ КУТА  
У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Запропоновано спосіб контролю похибки засобів вимірювання кута у горизонтальній площині з використанням опосередкованих методів вимірювання та їх подальшого застосування на основі мажоритарного способу прийняття рішення.

**Постановка проблеми.** Важливою задачею синтезу вимірювальних систем є забезпечення необхідного рівня метрологічної надійності. Заданий рівень метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) досягається якісним технічним обслуговуванням. Складником системи технічного обслуговування ЗВТ, який значною мірою визначає її склад, є підсистема контролю метрологічних характеристик (МХ).

При обґрунтуванні параметрів підсистеми контролю МХ, як правило, використовується показник ефективності метрологічного обслуговування і враховуються особливості експлуатації ЗВТ.

Засоби вимірювання кутів у горизонтальній площині широко застосовують в різноманітних технічних системах. Виключення такого ЗВТ зі складу технічної системи призводить до неможливості її застосування за призначенням. Таким чином, для підвищення експлуатаційних та характеристик надійності різноманітних технічних систем необхідно зменшити часові витрати на проведення контролю МХ засобів вимірювання кутів у горизонтальній площині. Одним із шляхів скорочення часу контролю МХ є його проведення в місцях розміщення засобів, які повіряють.

Методики проведення такого контролю повинні базуватися на математичній моделі, що описуватиме процедури проведення даного виду робіт та прийняття рішення про технічний стан ЗВТ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Державна повірочна схема для ЗВТ у горизонтальній площині подана в ДСТУ 8.016 -01. Контроль МХ засобів вимірювання кута в горизонтальній площині виконують методом безпосереднього звірення їх показань з показаннями еталонної кутомірної системи, основою якої є багатогранна еталонна призма та автоколіматор. Такі еталонні засоби достатньо чутливі до механічних навантажень, що істотно ускладнює їх переміщення для проведення контролю МХ у місцях постійного розміщення засобів вимірювання геодезичних величин.

Як альтернативний спосіб контролю МХ засобів вимірювання кутів у горизонтальній площині пропонується застосувати опосередкований метод вимірювання.

**Мета статті** – запропонувати математичну модель обґрунтування характеристик точності робочих еталонів та параметрів схем для контролю МХ засобів вимірювання кута у горизонтальній площині, які реалізують контроль із застосуванням опосередкованого методу вимірювання та мажоритарного способу прийняття рішення про їх технічний стан.

**Виклад основного матеріалу.** Для реалізації зазначеного способу контролю пропонується використати такі технічні засоби: кутомір – робочий еталон, зберігач еталонного значення кута.

Інформацією про технічний стан вважатимемо різницю між значеннями кутів  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  (визначені за допомогою засобу визначення кута у горизонтальній площині, що досліджується, та засобу визначення відстані),  $\alpha$  (визначеного за допомогою засобу визначення кута у горизонтальній площині, що досліджується) і  $\xi'_1$ ,  $\xi'_2$ ,  $\alpha'$  (виміряні кутоміром – робочим еталоном).

Схема проведення контролю похибки вимірювання кута у горизонтальній площині наведена на рис. 1.

На місцевості необхідно розмістити дві віхи, на яких закріплені кутові відбивачі 2 і 3. Місце розташування засобу вимірювання кута в горизонтальній площині й засобу вимірювання дальності 1 вибирають таким чином, щоб забезпечити пряму видимість

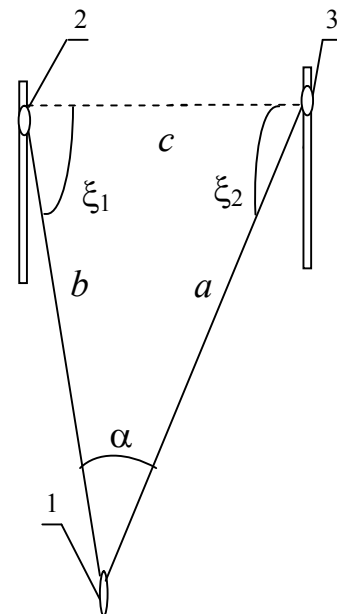


Рис 1. Схема проведення контролю похибки вимірювань

відбивачів 2 і 3.

Перед початком вимірів з використанням еталонного кутоміра вимірюють значення кута  $\xi_1'$ , утвореного прямими  $c$  та  $b$ , кута  $\xi_2'$ , утвореного прямими  $c$  та  $a$ , кута  $\alpha'$ , утвореного прямими  $a$  та  $b$ .

Визначення кутів  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  здійснюють у такий спосіб. За допомогою засобу вимірювання відстані визначають значення відрізків  $a$  й  $b$ . Кут  $\alpha$  вимірюють засобом виміру кута в горизонтальній площині. Значення кутів  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  отримуємо за допомогою співвідношень:

$$\xi_1 = \operatorname{arctg} \frac{a \sin \alpha}{b - a \cos \alpha}, \quad (1)$$

$$\xi_2 = \operatorname{arctg} \frac{b \sin \alpha}{a - b \cos \alpha}. \quad (2)$$

За відомими значеннями кутів, що виміряні за допомогою засобу, характеристики якого контролюємо ( $\xi_1$ ,  $\xi_2$ ,  $\alpha$ ), та робочого еталону ( $\xi_1'$ ,  $\xi_2'$ ,  $\alpha'$ ), визначаємо різницю між відповідними значеннями кутів:

$$\Delta_{\xi_1} = \xi_1 - \xi_1', \quad \Delta_{\xi_2} = \xi_2 - \xi_2', \quad \Delta_{\alpha} = \alpha - \alpha'.$$

Після використання мажоритарного методу рішення про придатність засобу вимірювання кута в горизонтальній площині до подальшого застосування приймається за умови виконання:

$$\Delta_{\xi_1}' \geq \Delta_{\xi_1}, \quad \Delta_{\xi_2}' \geq \Delta_{\xi_2}, \quad \Delta_{\alpha}' \geq \Delta_{\alpha}; \quad (3)$$

$$\Delta_{\xi_1}' \leq \Delta_{\xi_1}, \quad \Delta_{\xi_2}' \geq \Delta_{\xi_2}, \quad \Delta_{\alpha}' \geq \Delta_{\alpha}; \quad (4)$$

$$\Delta_{\xi_1}' \geq \Delta_{\xi_1}, \quad \Delta_{\xi_2}' \leq \Delta_{\xi_2}, \quad \Delta_{\alpha}' \geq \Delta_{\alpha}; \quad (5)$$

$$\Delta_{\xi_1}' \geq \Delta_{\xi_1}, \quad \Delta_{\xi_2}' \geq \Delta_{\xi_2}, \quad \Delta_{\alpha}' \leq \Delta_{\alpha}. \quad (6)$$

Визначення  $\Delta_{\xi_1}'$ ,  $\Delta_{\xi_2}'$  здійснюють за методикою, наведеною в [1]. При цьому необхідно врахувати, що відстані  $a$  й  $b$  вимірюють засобом вимірювання дальності, а кут  $\alpha$  – засобом вимірювання кута в горизонтальній площині. У такому випадку похибки вимірювання відстаней  $a$  і  $b$  можна вважати сильно корельованими (коефіцієнт кореляції приймаємо 1). Всі інші величини, що входять у вирази вимірювання кутів  $\xi_1$  та  $\xi_2$ , можна вважати слабо корельованими (коефіцієнт кореляції приймаємо 0).

Таким чином, вираз для значення  $\Delta_{\xi_{1,2}}'$  матиме вигляд:

$$\Delta_{\xi_{1,2}}' = \sqrt{\Delta_{a,b}^2 \left( \kappa_{a(\xi_{1,2})}' + \kappa_{b(\xi_{1,2})}' \right)^2 + \left( \kappa_{\alpha(\xi_{1,2})}' \Delta_{\alpha} \right)^2}, \quad (7)$$

де  $\kappa_{a(\xi_1)} = \frac{\partial \xi_1}{\partial a}$ ,  $\kappa_{b(\xi_1)} = \frac{\partial \xi_1}{\partial b}$ ,  $\kappa_{\alpha(\xi_1)} = \frac{\partial \xi_1}{\partial \alpha}$ ,  $\kappa_{a(\xi_2)} = \frac{\partial \xi_2}{\partial a}$ ,  $\kappa_{b(\xi_2)} = \frac{\partial \xi_2}{\partial b}$ ,

$\kappa_{\alpha(\xi_2)} = \frac{\partial \xi_2}{\partial \alpha}$  – вагові коефіцієнти;  $\Delta_{a,b}$ ,  $\Delta_{\alpha}$  – припустимі похибки засобу вимірювання дальності й засобу вимірювання кута у горизонтальній площині відповідно.

Обґрунтування технічних характеристик засобів повірки (ЗП), що реалізують запропонований спосіб, доцільно проводити з використанням підходу, який розглянуто у [2]. Він полягає у досягненні необхідного рівня достовірності проведення повірки. Виходячи з умови прийняття позитивного рішення про подальше застосування засобу вимірювання, достовірність повірки визначатиметься співвідношенням:

$$D = 1 - \left[ \left( (1 - D_{\xi_1})(1 - D_{\xi_2})(1 - D_{\alpha}) \right) + \left( D_{\xi_1}(1 - D_{\xi_2})(1 - D_{\alpha}) \right) + \left( D_{\xi_2}(1 - D_{\xi_1})(1 - D_{\alpha}) \right) + \left( D_{\alpha}(1 - D_{\xi_2})(1 - D_{\xi_1}) \right) \right],$$

де:  $D_{\xi_1}$ ,  $D_{\xi_2}$ ,  $D_{\alpha}$  – достовірність контролю кутів  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ ,  $\alpha$  відповідно.

Виходячи з того, що кути  $\xi_1$  та  $\xi_2$  вимірюють за допомогою опосередкованих методів вимірювань, на достовірність контролю  $D_{\xi_1}$  і  $D_{\xi_2}$  впливає як складник  $D_{ec}$ , обумовлений технічними характеристиками робочих еталонів, так і складник  $D_{dc}$ , обумовлений впливом допоміжних засобів. Тоді результуюче значення достовірності контролю кожного параметра визначатиме вираз:  $D = D_{ec}D_{dc}$ .

Згідно з припущенням [3] про те, що значення  $D_{ec}$  має бути близьким до значення  $D_{dc}$ , за відомим значенням припустимої достовірності контролю визначаємо значення  $D_{ec}$  й  $D_{dc}$ .

Складник вірогідності вимірювального контролю  $D_{dc}$  залежить від умовних ймовірностей помилкової  $\alpha_{dc}$  та невиявленої  $\beta_{dc}$  відмов.

На значення  $\alpha_{dc}$  й  $\beta_{dc}$  визначальний вплив здійснюють характеристики засобу вимірювання дальності.

При визначенні  $\alpha_{dc}$  припустимо, що існує деякий діапазон значень похибки засобу вимірювання кута у горизонтальній площині в полі допуску, у разі потрапляння похибки в який засіб вимірювання кута у горизонтальній площині може бути забракованим (помилка першого роду).

Під полем допуску розумітимемо діапазон значень, у разі потрапляння похибки в який засіб вимірювання кута в горизонтальній площині визнається придатним до подальшого застосування.

Значення  $\alpha_{dc}$  для контролю засобу вимірювання кута у горизонтальній площині визначається співвідношенням

$$\alpha_{dc} = \int_{\Delta_{\alpha v} - \varepsilon_{\alpha}}^{\Delta_{\alpha v}} f(\alpha) d\alpha \int_0^{\Delta_{\alpha v}} f(a) da + \int_{\Delta_{\alpha n}}^{\Delta_{\alpha n} + \varepsilon_{\alpha}} f(\alpha) d\alpha \int_{\sigma_{\alpha n}}^0 f(a) da, \quad (8)$$

де  $f(\alpha)$ ,  $f(a)$  – функції щільності розподілу ймовірностей для похибок засобу вимірювання кута у горизонтальній площині й засобу вимірювання дальності;  $\Delta_{\alpha v}$ ,  $\Delta_{\alpha n}$  – верхня й нижня границі діапазону припустимих значень похибок засобу вимірювання кута в горизонтальній площині;  $\Delta_{\alpha n}$ ,  $\Delta_{\alpha v}$  – верхня й нижня границі діапазону припустимих похибок засобу вимірювання дальності;  $\varepsilon_{\alpha}$  – ширина діапазону похибки засобу вимірювання кута у горизонтальній площині, в якому за результатами контролю може виникнути помилка першого роду.

При визначенні  $\beta_{\partial c}$  припустимо, що існує деякий діапазон можливих значень похибки засобу вимірювання кута у горизонтальній площині за полем допуску, в якому компенсується вихід похибки засобу вимірювання кута у горизонтальній площині за поле допуску достатньо малим значенням похибки засобу вимірювання дальності (помилка другого роду).

Значення  $\beta_{\partial c}$  для контролю засобу вимірювання кута у горизонтальній площині, згідно з [2], визначається співвідношенням:

$$\beta_M = \left( \int_{A_{\alpha a}}^{A_{\alpha a} + \varepsilon_\beta} f(\alpha) d\alpha + \int_{A_{\alpha n}}^{A_{\alpha n} - \varepsilon_\beta} f(\alpha) d\alpha \right) \int_{A_{\alpha n}}^{A_{\alpha a}} f(a) da, \quad (9)$$

де  $\varepsilon_\beta$  – ширина діапазону похибки засобу вимірювання кута у горизонтальній площині, в якому за результатами контролю може виникнути помилка другого роду.

Вирішуючи інтегральні рівняння (8) і (9), визначимо  $\varepsilon_\alpha$  та  $\varepsilon_\beta$ . Для забезпечення необхідного рівня  $D_{\partial c}$  за  $\varepsilon$  обираємо найменше зі значень  $\varepsilon_\alpha$  та  $\varepsilon_\beta$ .

Складник  $D_{ec}$  вірогідності вимірювального контролю залежить від умовних імовірностей помилкової  $\alpha_{ec}$  і невиявленої  $\beta_{ec}$  відмов.

Значення  $\alpha_{ec}$  та  $\beta_{ec}$  при контролі засобу вимірювання кута у горизонтальній площині визначаються в такий спосіб:

$$\alpha_{ec} = \int_{-\Delta'_\xi}^{\Delta'_\xi - \Delta_\xi} \int_{-\infty}^{\Delta'_\xi} f(z_n, x_n) dx_n dz_n + \int_{-\Delta'_\xi}^{\Delta'_\xi} \int_{\Delta'_\xi}^{\infty} f(z_n, x_n) dx_n dz_n;$$

$$\beta_{ec} = \int_{\Delta'_\xi - \Delta'_\xi}^{\infty} \int_{\Delta'_\xi}^{\Delta'_\xi} f(z_n, x_n) dx_n dz_n + \int_{-\infty}^{-\Delta'_\xi} \int_{-\Delta'_\xi}^{\Delta'_\xi} f(z_n, x_n) dx_n dz_n,$$

де  $f(z_n, x_n)$  – узагальнена функція щільності розподілу ймовірностей для похибки визначення кута  $\xi$  й похибки ЗП.

### Висновки

У статті запропонована математична модель контролю МХ засобу вимірювання кута у горизонтальній площині. Застосування даної моделі дозволить визначити перелік засобів, які використовують для проведення контролю параметрів, і їхні технічні характеристики. Зазначений спосіб також дозволить зменшити витрати на експлуатацію і покращити експлуатаційні характеристики технічних засобів, до складу яких входять вказані ЗВТ.

### Список використаних джерел

1. Савин С. К. Достоверность контроля сложных радиоэлектронных систем летательных аппаратов / С. К. Савин, А. А. Никитин, В. И. Кравченко. – М. : Машиностроение, 1984. – 166 с.
2. Сычев Е. И. Влияние точности и объема измерений на качество диагностирования технических систем / Е. И. Сычев // Измерительная техника. – 1982. – № 7. – С.14 – 17.
3. Таланчук П. М. Основы теории проектирования измерительных приборов / П. М. Таланчук, В. Т. Рущенко. – К. : Вища шк., 1989. – 454 с.

*Стаття надійшла до редакції 07.10.2010 р.*