

УДК 621.39

С.О. Тишко, Г.Ю. Сорокіна

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України "КПІ", Полтава*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ КУТА У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ НА ОСНОВІ ОПОСЕРЕДКОВАНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ

У статті проведений аналіз відомих способів контролю похибок засобів вимірювання кута у горизонтальній площині, виявлені їх недоліки. Запропоновано спосіб контролю похибки даних вимірювальних засобів з використанням опосередкованих методів вимірювання. Обґрунтовано схему проведення контролю, визначені аналітичні співвідношення для обґрунтування точнісних характеристик засобів вимірювального контролю та параметрів схеми.

**Ключові слова:** вимірювання кута, опосередковані методи вимірювання, метрологічні характеристики.

### Вступ

**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. Складовою частиною системи технічного обслуговування ЗВТ, яка значною мірою визначає її вигляд, є підсистема контролю метрологічних характеристик (МХ).

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

Засоби вимірювання кутів у горизонтальній площині знаходять широке застосування в інформаційно-геодезичних комплексах (ІГК). Вивід даного ЗВТ зі складу ІГК приводить до неможливості його застосування за призначенням. Таким чином, для підвищення експлуатаційних і надійнісних характеристик ІГК необхідно зменшити часові витрати на проведення контролю МХ засобів вимірювання кута у горизонтальній площині. Одним із способів скорочення часу на проведення контролю МХ є проведення їхнього контролю у місцях розміщення засобів, які повіряють. Розробка методик проведення контролю МХ засобів вимірювання кута у горизонтальній площині в місцях їх постійного розміщення, повинна базуватися на математичній моделі, яка опише процедуру проведення даного виду робіт.

**Аналіз літератури.** Державна повірочна схема для ЗВТ у горизонтальній площині представлена в ДСТУ 8.016-81. Контроль МХ засобів вимірювання кута в горизонтальній площині проводиться методом безпосереднього звірення їх показів з показами еталонної кутомірної системи (основою якої є багатогранна еталонна призма й автоколіматор). Ці еталонні засоби досить 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 кута у горизонтальній площині, пропонується використати контроль їх МХ із застосуванням опосередкованого методу вимірювання.

**Мета статті.** Запропонувати математичну модель визначення точнісних характеристик робочих еталонів, а також параметрів схем, що застосовують для контролю МХ засобів вимірювання кута у горизонтальній площині, які реалізують контроль із застосуванням опосередкованого методу вимірювання.

### Основна частина

При вирішенні задачі розробки моделі системи контролю МХ необхідно виконати наступні завдання: визначити межі контролю МХ; визначити кількість точок, в яких проводиться контроль МХ; обґрунтувати вимоги до точнісних характеристик засобів контролю; визначити параметри схеми проведення контролю МХ. Встановлення діапазону вимірювання, у якому застосовується засіб вимірювання кута у горизонтальній площині, проводиться з використанням математичних моделей похибок результатів вимірювання геодезичних величин, що наведені в [1...3]. Засіб вимірювання кута у горизонтальній площині застосовується для виміру кута азимутальної орієнтації з використанням апаратури користувача супутникової інформації та на задалегідь підготовленому в топогеодезичному відношенні районі. Виходячи з аналізу способів вимірювання геодезичних величин, границі діапазону вимірювання кута у горизонтальній площині визначаються виразом:

$$\alpha_{\text{min}} = \arcsin \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}}; \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{max}} = 2\pi - \arcsin \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}}, \quad (2)$$

де  $a$ ,  $b$  – відстані від точки розміщення контрольного елемента до лівого та правого боку об'єкта відповідно;  $c$  – відстань від місця розміщення оптичного виходу засобу вимірювання кута у горизонтальній площині до контрольного елемента об'єкта.

Визначення кількості точок, в яких необхідно контролювати похибку ІГК при вимірюванні кута в горизонтальній площині, можна здійснювати з використанням підходів викладених у [4]. Для реалізації способу контролю похибки засобу вимірювання кута в горизонтальній площині при використанні опосередкованого методу вимірювання пропонується використати наступні технічні засоби: кутомір – робочий еталон; зберігач еталонного значення кута.

В якості інформації про технічний стан пропонується використати різницю між значеннями кутів  $\xi$  (визначеного за допомогою засобу вимірювання кута в горизонтальній площині, що досліджується, та засобу визначення дальності) і  $\xi'$  (вимірюного кутоміром – робочим еталоном).

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

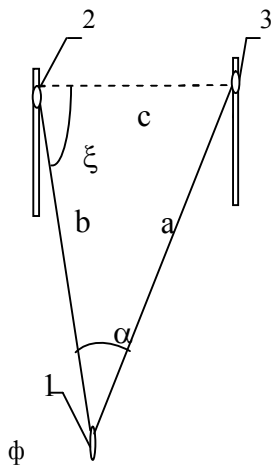


Рис. 1. Схема контролю похибки вимірювання кута в горизонтальній площині

Для проведення контролю похибки засобу вимірювання кута в горизонтальній площині необхідно на місцевості розмістити дві вежі, на яких розташовані кутові відбивачі 2 і 3. Місце розташування засобу вимірювання кута в горизонтальній площині й засобу вимірювання дальності 1 обирається таким чином, щоб забезпечити пряму видимість на відбивачі 2 і 3.

Перед початком вимірювання з використанням еталонного кутоміра визначається значення кута  $\xi'$ , утвореного прямими  $c$  й  $b$ .

Визначення кута  $\xi$  здійснюється в такий спосіб: за допомогою засобу вимірювання дальності визначаються відстані  $a$  й  $b$ , а кут  $\alpha$  вимірюється засобом виміру кута в горизонтальній площині. Значення кута  $\xi$  отримуємо за співвідношенням:

$$\xi = \arctg \frac{a \sin \alpha}{b - a \cos \alpha} \quad (3)$$

Рішення щодо придатності ІГК при вимірюванні кута в горизонтальній площині до подальшого застосування приймається у випадку, якщо різниця між значеннями  $\xi$  й  $\xi'$  ( $\Delta_{\xi} = \xi - \xi'$ ) не перевищує припустимого значення  $\Delta'_{\xi}$ .

Задавання значення  $\Delta'_{\xi}$  проводиться з використанням методики, наведеної у [5]. При цьому необхідно врахувати, що відстані  $a$  й  $b$  вимірюються в подібних умовах з використанням засобу вимірювання дальності, а кут  $\alpha$  вимірюється засобом вимірювання кута в горизонтальній площині. У цьому випадку похибки вимірювання відстаней  $a$  і  $b$  можуть вважатися сильно корельованими (коефіцієнт кореляції приймається рівним 1). Всі інші величини, що входять до складу виразів для виміру кута  $\xi$ , можуть вважатися слабо корельованими (коефіцієнт кореляції приймається рівним 0).

Таким чином, вираз для задання значення  $\Delta'_{\xi}$  набуває вигляд:

$$\Delta'_{\xi} = \sqrt{\Delta_{a,b}^2 (\kappa'_a + \kappa'_b)^2 + (\kappa'_\alpha \Delta_\alpha)^2} \quad (4)$$

де  $\kappa'_a = \frac{\partial \xi}{\partial a}$ ,  $\kappa'_b = \frac{\partial \xi}{\partial b}$ ,  $\kappa'_\alpha = \frac{\partial \xi}{\partial \alpha}$  – вагові коефіцієнти для кожної складової;  $\Delta_{a,b}$ ,  $\Delta_\alpha$  – припустимі похибки засобу вимірювання дальності та засобу вимірювання кута в горизонтальній площині відповідно.

Задавання технічних характеристик ЗП, що реалізують запропонований спосіб, доцільно проводити з використанням підходу, запропонованого у [6], що полягає у досягненні необхідного рівня вірогідності проведення перевірки.

Виходячи з того, що контроль похибки проводиться опосередкованим методом, на вірогідність перевірки впливає як складова  $D_{ec}$ , обумовлена технічними характеристиками робочих еталонів, так і складова  $D_{dc}$ , обумовлена впливом допоміжних засобів, які не несуть інформації про технічний стан засобу вимірювальної техніки, що повіряється. Тоді результуюче значення вірогідності перевірки:  $D = D_{ec} D_{dc}$ . Згідно припущення [7] про те, що значення  $D_{ec}$  повинно бути близьким до значення  $D_{dc}$ , за відомим значенням припустимої вірогідності перевірки визначаємо значення  $D_{ec}$  й  $D_{dc}$ .

Складова вірогідності вимірювального контролю  $D_{dc}$  залежить від умовних ймовірностей помилкової  $\alpha_{dc}$  й невиявленої  $\beta_{dc}$  відмов. На значення  $\alpha_{dc}$  й  $\beta_{dc}$  визначальний вплив здійснюють характеристики засобу вимірювання дальності.

При визначенні значення  $\alpha_{dc}$  приймемо припущення про те, що існує деякий діапазон значень похибки засобу вимірювання кута в горизонтальній площині в полі допуску, при знаходженні похибки в якому за результатами перевірки засіб вимірювання кута в горизонтальній площині може бути забракованим (похибка першого роду).

Під полем допуску будемо розуміти діапазон значень, при знаходженні похибки в якому засіб вимірювання кута в горизонтальній площині визнається придатним до подальшого застосування. Значення  $\alpha_{dc}$  для контролю засобу вимірювання кута в горизонтальній

площині визначається співвідношенням:

$$\alpha_M = \int_{\Delta_{\alpha B} - \varepsilon_{\alpha}}^{\Delta_{\alpha B}} f(\alpha) d\alpha \int_0^{\Delta_{\alpha B}} f(a) da + \int_{\Delta_{\alpha H}}^{\Delta_{\alpha H} + \varepsilon_{\alpha}} f(\alpha) d\alpha \int_{\Delta_{\alpha H}}^0 f(a) da, \quad (5)$$

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

При визначенні значення  $\beta_{dc}$  прийемо припущення про існування деякого діапазону можливих значень похибки засобу вимірювання кута в горизонтальній площині за полем допуску, в якому відбудеться компенсація виходу похибки засобу вимірювання кута в горизонтальній площині за поле допуску досить малим значенням похибки засобу вимірювання дальності (похибка другого роду).

Значення  $\beta_{dc}$  для контролю засобу вимірювання кута в горизонтальній площині, згідно [6], визначається співвідношенням:

$$\beta_M = \left( \int_{\sigma_{\alpha B}}^{\sigma_{\alpha B} + \varepsilon_{\beta}} f(\alpha) d\alpha + \int_{\sigma_{\alpha H}}^{\sigma_{\alpha H} - \varepsilon_{\beta}} f(\alpha) d\alpha \right) \int_{\sigma_{\alpha H}}^{\sigma_{\alpha B}} f(a) da, \quad (6)$$

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

Розв'язком інтегральних рівнянь (5) і (6), визначаємо значення  $\varepsilon_{\alpha}$  та  $\varepsilon_{\beta}$ . Для забезпечення необхідного рівня складовій  $D_{dc}$  в якості  $\varepsilon$  обираємо найменше зі значень  $\varepsilon_{\alpha}$  і  $\varepsilon_{\beta}$ . Складова  $D_{ec}$  вірогідності вимірювального контролю залежить від умовних ймовірностей помилкової  $\alpha_{ec}$  та невиявленої  $\beta_{ec}$  відмов. Значення  $\alpha_{ec}$  та  $\beta_{ec}$  при контролі засобу вимірювання кута в горизонтальній площині, визна-

чаються таким чином:

$$\alpha_{ec} = \int_{-\Delta_{\xi}^{\xi}}^{\Delta_{\xi}^{\xi} - \Delta_{\xi}^{\xi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(z_H, x_H) dx_H dz_H + \int_{-\Delta_{\xi}^{\xi} \Delta_{\xi}^{\xi}}^{\Delta_{\xi}^{\xi} \infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(z_H, x_H) dx_H dz_H;$$

$$\beta_{ec} = \int_{\Delta_{\xi}^{\xi} - \Delta_{\xi}^{\xi}}^{\infty \Delta_{\xi}^{\xi}} \int_{-\infty}^{\Delta_{\xi}^{\xi}} f(z_H, x_H) dx_H dz_H + \int_{-\infty}^{-\Delta_{\xi}^{\xi}} \int_{-\Delta_{\xi}^{\xi}}^{\Delta_{\xi}^{\xi}} f(z_H, x_H) dx_H dz_H,$$

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

## Висновки

У статті запропонована математична модель контролю МХ засобу вимірювання кута в горизонтальній площині. З використанням даної моделі визначається перелік засобів, які застосовуються для проведення контролю параметрів, і їх технічні характеристики.

## Список літератури

1. Крюков А.М. Применение аппаратуры потребителя спутниковой навигации для определения азимутальной ориентации жесткого протяженного объекта / А.М. Крюков, С.А. Тышко // Системы обработки информации. – 2001. – №4. – С. 176-180.
2. Крюков А.М. Сравнительный анализ способов определения азимутальной ориентации жесткого протяженного объекта / А.М. Крюков, С.А. Тышко // Украинский метрологический журнал. – 2000. – №3. – С. 46-48.
3. Тышко С.А. Математическая модель погрешности определения азимутальной ориентации объекта в пространстве / С.А. Тышко, В. М. Васюк, І.А. Сорокин // Системы озброєння й військова техніка. – 2007. – Вып.4 (12). – С. 39-42.
4. Большакова Л.П. Оптимизация методик поверки средств измерений параметров ИС / Л.П. Большакова // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 3. (141). – С. 10-12.
5. Савин С.К. Достоверность контроля сложных радиоэлектронных систем летательных аппаратов / С.К. Савин, А.А. Никитин, В.И. Кравченко: под ред. С.К.Савина. – М.: Машиностроение, 1984. – 166 с.
6. Сычев Е.И. Влияние точности и объема измерений на качество диагностирования технических систем / Е.И. Сычев // Измерительная техника. – 1982. – №7. – С. 14-17.
7. Таланчук П.М. Основы теории проектирования измерительных приборов / П.М. Таланчук, В.Т. Руценко. – К.: Вища школа, 1989. – 454 с.

Надійшла до редколегії 10.06.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Крюков, Академія внутрішніх військ МВС, Харків.

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ НА ОСНОВЕ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С.А. Тышко, Г.Ю. Сорокина

В статье проведен анализ известных способов контроля погрешности средств измерения угла в горизонтальной плоскости, выявлены их недостатки. Предложен способ контроля погрешности данных средств с использованием косвенных методов измерения. Обоснована схема проведения контроля, определены аналитические соотношения для обоснования точностных характеристик средств измерительного контроля и параметров схемы.

**Ключевые слова:** измерение угла, опосредствованы методы измерения, метрологические характеристики.

## MEASURING ERROR DETERMINATION METHOD OF CORNER IN A HORIZONTAL PLANE ON THE BASIS OF THE INDIRECT MEASURING

S.A. Tishko, G.Y. Sorokina

There is the analysis of the known control methods of corner measuring error in a horizontal plane in the article, their failings are exposed. The measuring error control method is offered with the use of indirect measuring methods. The chart of control conducting is grounded, analytical correlations for the ground of measuring controls exactness descriptions and chart parameters are determined.

**Keywords:** measuring of corner, measuring methods, metrological descriptions, are mediated.