

УДК 53.083 (430.1)

С.О. Тишко¹, В.Г. Смоляр²¹ Академія внутрішніх військ МВС України, Харків² Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава

СПОСІБ КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ

Проведено аналіз відомих способів контролю метрологічних характеристик вимірювальних систем, що використовують супутникову навігаційну інформацію та застосовуються для визначення координат рухомих об'єктів. Запропоновано спосіб оперативної оцінки похибки вимірювальної системи, який базується на використанні опосередкованих методів вимірювання та мажоритарного методу прийняття рішення про її технічний стан. Запропонований метод може бути застосований при реалізації контролю в польових умовах.

Ключові слова: апаратура користувача супутникової навігаційної системи, похибка, метрологічні характеристики.

Вступ

Перспективним напрямком створення вимірювальних систем (ВС) для визначення координат рухомих об'єктів є комплексування інерційної навігаційної системи з апаратурою користувача супутникової навігаційної системи (АК СНС), при цьому похибка визначення координат не повинна перевищувати декількох метрів. Такі значення похибки досягаються застосуванням приймачів АК СНС, що працюють в диференційному режимі вимірювання [1].

Вимірювальна система для визначення координат буде надійною, а її експлуатація ефективною лише за умови забезпечення своєчасного контролю метрологічних характеристик (МХ). Тому контроль МХ ВС для визначення координат слід вважати важливою складовою процесу їх експлуатації.

Аналіз літератури. В даний час відсутня нормативна документація з проведення контролю МХ ВС, які будуються на базі приймача АК СНС. Контроль МХ таких ВС може проводитися поелементно (окремо контроль системи видачі диференційних поправок і контроль приймача АК СНС).

Контроль МХ приймачів АК СНС в цей час проводиться такими способами: за допомогою створення групових мір з використанням декількох приймачів АК СНС [2]; шляхом звірення з еталонною мірою (у якості еталонної міри використовуються геодезичні полігони 2-го розряду [3]).

Як видно з аналізу, відомі способи контролю МХ мають ряд обмежень, до яких відносяться: неможливість контролю правильності функціонування обчислювальних засобів; неможливість контролю МХ АК СНС, що функціонує в диференційному режимі; потреба в застосуванні у якості робочих еталонів, засобів вимірювань, які мають метрологічні характеристики на рівні відомих еталонів; необхідність доставки ВС до місць розташування еталонних засобів.

На наш погляд, суттєве зменшення витрат на експлуатацію даних ВС при досягненні потрібної точності вирішення задачі топогеодезичного забезпечення, може бути досягнє шляхом проведення контролю МХ у польових умовах.

Мета статті. Метою роботи є запропонувати спосіб контролю похибки ВС для визначення координат, а також обґрунтування відповідного переліку вимірювальних операцій і співвідношень для вибору еталонного і допоміжного обладнання, що застосовується в процесі контролю, та підхід до прийняття рішення про її технічний стан.

Основна частина

Для проведення контролю МХ ВС пропонується використовувати такі засоби: геодезичний пункт; лазерний далекомір-кутомір (ЛДК) – робочий еталон, в якому реалізовані режими вимірювання відстані й кута у горизонтальній і вертикальній площинах; астрономічний пункт або гірокомпас (ГК), що реалізує точний метод гірокомпасування; технічні засоби обробки та передачі вимірювальної інформації; сервісний рухомий об'єкт (під сервісним рухомих об'єктом розуміється транспортний засіб, який може оперативно транспортувати ВС).

Схема контролю похибки ВС подана на рис. 1.

На місцевості розміщується геодезичний пункт 1, для якого визначено геодезичні координати. На геодезичному пункті розміщується ЛДК – робочий еталон. Перед початком контролю МХ визначається кут $A_{\text{бн}}$ азимутальної орієнтації напрямку з геодезичного пункту на астрономічний пункт 6, або $A_{\text{бн}}$ визначається з використанням ГК, що реалізує точний метод гірокомпасування.

Лазерний далекомір-кутомір встановлюється таким чином, щоб нульові показання кутомірної частини у горизонтальній площині збіглися з напрямком $A_{\text{бн}}$, а вертикальній площині з кутом φ_0 .

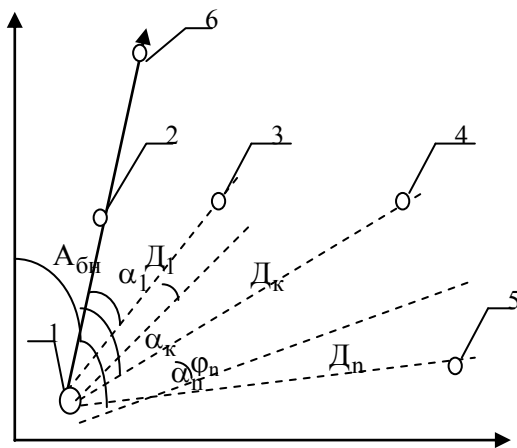


Рис. 1. Схема контролю МХ

У точці фазового центру антени приймача АК СНС встановлюється кутовий відбивач. Сервісний рухомий об'єкт розміщується в точці 2, яка знаходиться на прямій, що сполучає точки 1 і 6.

Маршрут руху сервісного рухомого об'єкту обирається таким чином, щоб в кожній точці забезпечувалася пряма видимість на геодезичний пункт.

За інформацію про технічний стан ВС використовують різниці

$$\Delta D_k = D_{НСк} - D_{ЛДУк}, \quad \Delta A_k = A_{НСк} - A_{ЛДУк},$$

$$\Delta \varphi_k = \varphi_{НСк} - \varphi_{ЛДУк},$$

де $D_{НСк}$ – відстань від системи визначення координат до геодезичного пункту, отримана за інформацією про значення координат;

$D_{ЛДУк}$ – відстань від системи визначення координат до геодезичного пункту, виміряна ЛДК;

$A_{НСк}$ – азимут, розрахований за інформацією про координати, отримані за допомогою ВС, і координати геодезичного пункту;

$A_{ЛДУк}$ – азимут, визначений з використанням ЛДК;

$\varphi_{НСк}$ – кут у площині, розрахований за інформацією про координати, отримані за допомогою ВС, і координати геодезичного пункту;

$\varphi_{ЛДУк}$ – кут у горизонтальній площині, визначений з використанням ЛДК.

Розглянемо співвідношення для визначення величин $D_{НСк}$, $A_{НСк}$ та $\varphi_{НСк}$ детальніше.

По відомим геодезичним координатам сервісного рухомого об'єкту і геодезичного пункту дальність визначається згідно виразу

$$D_{НСк} = \sqrt{(X_{ГП} - X_{НС})^2 + (Y_{ГП} - Y_{НС})^2 + (Z_{ГП} - Z_{НС})^2},$$

де $X_{НС}$, $Y_{НС}$, $Z_{НС}$, $X_{ГП}$, $Y_{ГП}$, $Z_{ГП}$ – довгота, широта і висота сервісного рухомого об'єкту і геодезичного пункту відповідно.

По відомим геодезичним координатам сервісного рухомого об'єкту і геодезичного пункту визначається азимут:

$$A_{НСк} = \arctg \frac{X_{ГП} - X_{НС}}{Y_{ГП} - Y_{НС}}.$$

По відомим геодезичним координатам сервісного рухомого об'єкту і геодезичного пункту визначається кут $\varphi_{НСк}$:

$$\varphi_{НСк} = \arctg \frac{Z_{ГП} - Z_{НС}}{\sqrt{(X_{ГП} - X_{НС})^2 + (Y_{ГП} - Y_{НС})^2}}.$$

На підставі використання мажоритарного методу прийняття, рішення про можливість допуску до подальшого застосування ВС приймається у наступних випадках:

1. $\Delta D_k \leq \Delta_{Ддоп}$, $\Delta A_k \leq \Delta_{Адоп}$, $\Delta \varphi_k \leq \Delta_{\varphi.доп}$;
2. $\Delta D_k \leq \Delta_{Ддоп}$, $\Delta A_k \leq \Delta_{Адоп}$, $\Delta \varphi_k > \Delta_{\varphi.доп}$;
3. $\Delta D_k \leq \Delta_{Ддоп}$, $\Delta A_k > \Delta_{Адоп}$, $\Delta \varphi_k \leq \Delta_{\varphi.доп}$;
4. $\Delta D_k > \Delta_{Ддоп}$, $\Delta A_k \leq \Delta_{Адоп}$, $\Delta \varphi_k \leq \Delta_{\varphi.доп}$,

де $\Delta_{Ддоп}$, $\Delta_{Адоп}$, $\Delta_{\varphi.доп}$ – допустимі значення похибок визначення дальності, азимута і кута перевищення рухомого об'єкта та геодезичного пункту.

Тоді для визначення значень $\sigma_{Ддоп}$, $\sigma_{Адоп}$ і $\sigma_{\varphi.доп}$ будуть справедливі наступні припущення:

похибки визначення координат геодезичного пункту та сервісного рухомого об'єкта, виміряні системи визначення координат, є величинами слабо корельованими (коефіцієнт кореляції приймаємо рівним 0); похибки вимірювання координат системи визначення координат по кожній з координат рівні між собою; похибки визначення координат геодезичного пункту по кожній з координат рівні між собою.

Тоді значення $\sigma_{Ддоп}$, $\sigma_{\varphi.доп}$ і $\sigma_{Адоп}$ визначатимуться виразами

$$\sigma_{Ддоп} = \left[\sigma_{НК}^2 (k_{X_{НС}} + k_{Y_{НС}} + k_{Z_{НС}})^2 + \sigma_{ГП}^2 (k_{X_{ГП}} + k_{Y_{ГП}} + k_{Z_{ГП}})^2 \right]^{1/2},$$

$$\sigma_{Адоп} = \left[\sigma_{НК}^2 (k'_{X_{НС}} + k'_{Y_{НС}})^2 + \sigma_{ГП}^2 (k'_{X_{ГП}} + k'_{Y_{ГП}})^2 \right]^{1/2},$$

$$\sigma_{\varphi.доп} = \left[\sigma_{НК}^2 (k''_{X_{НС}} + k''_{Y_{НС}} + k''_{Z_{НС}})^2 + \sigma_{ГП}^2 (k''_{X_{ГП}} + k''_{Y_{ГП}} + k''_{Z_{ГП}})^2 \right]^{1/2},$$

де $k_{X_{НС}}$, $k_{Y_{НС}}$, $k_{Z_{НС}}$, $k_{X_{ГП}}$, $k_{Y_{ГП}}$, $k_{Z_{ГП}}$ – вагові коефіцієнти для складових $X_{НС}$, $Y_{НС}$, $Z_{НС}$, $X_{ГП}$, $Y_{ГП}$, $Z_{ГП}$ при визначенні дальності за інформацією про координати геодезичного пункту та за даними ВС;

$k'_{X_{HK}}, k'_{Y_{HK}}, k'_{X_{ГП}}, k'_{Y_{ГП}}$ – вагові коефіцієнти для складових $X_{HK}, Y_{HK}, X_{ГП}, Y_{ГП}$ при визначенні азимута напрямку з геодезичного пункту на сервісний рухомий об'єкт;

$k''_{X_{HK}}, k''_{Y_{HK}}, k''_{Z_{HK}}, k''_{X_{ГП}}, k''_{Y_{ГП}}, k''_{Z_{ГП}}$ – вагові коефіцієнти для складових $X_{HK}, Y_{HK}, Z_{HK}, X_{ГП}, Y_{ГП}, Z_{ГП}$ при визначенні кута перевищення між рухомим об'єктом та геодезичним за інформацією про координати геодезичного пункту та за даними ВС;

σ_{HK} і $\sigma_{ГП}$ – СКВ допустимої похибки вимірювання координат.

Обґрунтування технічних характеристик еталонних засобів та допоміжного обладнання, що реалізують запропонований спосіб, доцільно проводити з використанням підходу, який розглянутий в [2], та полягає в досягненні необхідного рівня достовірності проведення перевірки. Виходячи з умови прийняття рішення про подальший допуск засобу вимірювання до подальшого застосування, достовірність перевірки буде визначатися співвідношенням:

$$D = 1 - \left[\left((1 - D_D)(1 - D_A)(1 - D_\Phi) \right) + \left(D_D(1 - D_A)(1 - D_\Phi) \right) + \left(D_A(1 - D_D)(1 - D_\Phi) \right) + \left(D_\Phi(1 - D_A)(1 - D_D) \right) \right],$$

де D_D, D_A, D_Φ – імовірність прийняття правильного рішення по результатам контролю відповідно величин $D_{НСК}, A_{НСК}$ та $\Phi_{НСК}$.

Вводячи припущення, про рівність значень кожної з складових ($D_D = D_A = D_\Phi = D_i$), вище вказане співвідношення буде мати вигляд:

$$D = 1 - \left[(1 - D_i)^3 + 3D_i(1 - D_i)^2 \right].$$

Порядок визначення D_D і D_A доволі детально розглядався у [5]. Розглянемо порядок визначення D_Φ .

Оскільки контроль МХ ВС проводиться непрямым методом, на достовірність D_Φ впливає як складова $D''_{ВС}$, зумовлена характеристиками робочих еталонів, так і складова $D''_{ВС}$, обумовлена впливом характеристик допоміжних засобів, що не несуть інформацію про технічний стан контрольованої ВС. Тоді результуюче значення достовірності для контрольованих величин $\Phi_{НСК}$ визначається виразом

$$D_\Phi = D''_{ВС} D''_{ВС}.$$

Приймаючи, згідно [4], припущення про те, що $D''_{ВС}$ має бути близьким до $D''_{ВС}$, визначимо ці величини за відомим значенням допустимої достовірності контролю МХ. Складова $D''_{ВС}$ залежить від умовних імовірностей хибної $\alpha''_{ВС}$ і невиявленої $\beta''_{ВС}$ відмов.

Для розрахунку $\alpha''_{ВС}$ введемо припущення, що існує деякий діапазон значень похибки в смузі допуску, при знаходженні в якому ВС може бути забракована (помилка першого роду).

Значення $\alpha''_{ВС}$ з використанням [4] визначається виразом

$$\alpha''_{ВС} = \int_{\sigma_{HK,в} - \varepsilon_{ГП,\alpha}}^{\sigma_{HK,в}} f(\Delta_{HK}) d\Delta_{HK} \int_0^{\sigma_{ГП,в}} f(\Delta_{ГП}) d\Delta_{ГП} + \int_{\sigma_{HK,н}}^{\sigma_{HK,н} + \varepsilon_{ГП,\alpha}} f(\Delta_{HK}) d\Delta_{HK} \int_{\sigma_{ГП,н}}^0 f(\Delta_{ГП}) d\Delta_{ГП},$$

де $f(\Delta_{HK}), f(\Delta_{ГП})$ – функції щільності розподілу ймовірності для відповідних похибок; $\sigma_{HK,в}, \sigma_{HK,н}, \sigma_{ГП,в}, \sigma_{ГП,н}$ – нижні і верхні межі СКВ відповідних допустимих похибок; $\varepsilon_{ГП,\alpha}$ – ширина смуги похибок ВС, яка за результатами контролю МХ може зумовити виникнення помилки першого роду.

Для визначення $\beta''_{ВС}$ введемо припущення, що існує деякий діапазон значень похибки за межами смуги допуску, при знаходженні в якому похибка компенсується малим значенням похибки визначення координат геодезичного пункту (помилка другого роду). Тоді згідно з [3] значення $\beta''_{ВС}$ визначається виразом

$$\beta''_{ВС} = \int_{\sigma_{ГП,н}}^{\sigma_{ГП,в}} f(\Delta_{ГП}) d\Delta_{ГП} \times \left(\int_{\sigma_{HK,в}}^{\sigma_{HK,в} + \varepsilon_{ГП,\beta}} f(\Delta_{HK}) d\Delta_{HK} + \int_{\sigma_{HK,н}}^{\sigma_{HK,н} - \varepsilon_{ГП,\beta}} f(\Delta_{HK}) d\Delta_{HK} \right),$$

де $\varepsilon_{ГП,\beta}$ – ширина діапазону похибки ВС, яка за результатами контролю МХ може зумовити виникнення помилки другого роду.

Вирішуючи інтегральні рівняння для $\alpha''_{ВС}$ і $\beta''_{ВС}$, знаходимо $\varepsilon_{ГП,\alpha}$ та $\varepsilon_{ГП,\beta}$. За відомими значеннями $\varepsilon_{ГП,\alpha}$ і $\varepsilon_{ГП,\beta}$ розраховуємо n' , яке є відношенням СКВ похибки визначення координат геодезичного пункту і $\sigma_{Ддоп}$.

Висновки

Сукупність запропонованих в роботі схеми контролю МХ, виразів для визначення параметрів $\sigma_{ГП}, D_{НСК}, A_{НСК}, \Phi_{НСК}, \sigma_{Ддоп}, \sigma_{ф,доп}$ та $\sigma_{Адоп}$, а також співвідношень для розрахунку вимог до характеристик робочих еталонів і допоміжного обладнання можуть бути застосовані для контролю похибок ВС, яка використовується при визначенні координат в ході топогеодезичного забезпечення рухомих об'єктів. В подальшому на основі викладених результатів досліджень доцільно розробити методику контролю МХ такої ВС в польових умовах.

Список літератури

1. Генеке А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А.А. Генеке, Г.Г. Побединский. – М.: „Картогеоцентр” – „Геодезиздат”, 1999. – 272 с.
2. Побединский Г.Г. Метрологическая аттестация топографо-геодезических динамических систем / Г.Г. Побединский, М.И. Верницкий, А.А. Генеке // Геодезия и картография. – 1989. – №11. – С. 26-28.
3. Генеке А.А. Создание полигона для аттестации спутниковых приемо-вычислительных комплексов / А.А. Генеке, В.С. Кислов, Л.С. Юношев // Геодезия и картография. – 1994. – №2. – С. 10-13.

4. Таланчук П.М. Основы теории проектирования измерительных приборов / П.М. Таланчук, В.Т. Руценко. – К.: Вища школа, 1989. – 454 с.

5. Крюков О.М. Спосіб контролю метрологічних характеристик вимірювальної системи для топогеодезичного забезпечення рухомих об'єктів внутрішніх військ / О.М. Крюков, С.О. Тишко, О.І. Костенко, В.В. Афанасьєв // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВД України. – Х.: АБВ, 2011. – Вип. 2(18). – С. 71-76.

Надійшла до редколегії 18.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук ст. наук. співр. М.Ю. Яковлев, Академія СВ ім. П. Сагайдачного, Львів.

СПОСОБ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ВНУТРЕННИХ ВОЙСК

С.А.Тышко, В.Г. Смоляр

Проведен анализ известных способов контроля метрологических характеристик измерительных систем, использующих спутниковую навигационную информацию и применяются для определения координат подвижных объектов. Предложенный способ оперативной оценки погрешности измерительной системы, основывается на использовании косвенных методов измерения и мажоритарном методе принятия решения о ее техническом состоянии. Предложенный метод может быть применен при реализации контроля в полевых условиях.

Ключевые слова: *аппаратура пользователя спутниковой навигационной системы, погрешность, метрологические характеристики.*

CONTROL METHOD METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING SYSTEM FOR YOU, THE COORDINATES OF MOVING OBJECTS INTERNAL FORCES

S.A. Tishko, V.G. Smolar

The analysis of the known methods of control metrological characteristics of measuring systems using satellite navigation information from your computer and used to determine the coordinates of moving objects. Proposed method-proposed operational error evaluation measurement system that base etsya to use indirect methods of measurement and Majority shareholder method of deciding on its technical condition. The proposed metod can be applied in the implementation of control in the field.

Keywords: *apparatus of user of satellite navigational, error, metrology descriptions.*