

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ**

УДК 621.318

**МЕТОДИКИ СПИСАННЯ МАГНІТНОЇ ДЕВІАЦІЇ КУРСОВИХ СИСТЕМ**

*Мелешко В.В., Кучер В.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

*Розглянуті різні методики списання магнітної девіації курсових систем та обґрунтоване використання більш точних формул для її визначення. Показано, що застосування уточнених формул може збільшити точність визначення магнітної девіації на величину до 30 відсотків. Для зменшення трудозатрат при списанні девіацій наведені формули для визначення девіації по 6 або 5 вимірах девіації. Показані приклади обчислення девіацій по різних формулах та при різних кількостях вимірів девіації. Результати дозволяють оптимізувати методики списання магнітної девіації для морських суден, літаків та наземних рухомих об'єктів.*

**Ключові слова:** списання девіації, магнітометр, курс, девіація.

**Вступ. Постановка задачі**

В наш час курсова система кожного судна повинна давати точні показання, які залежать від багатьох чинників, одним з яких є похибки, викликані зовнішніми чинниками. Курсова система встановлена на борту внаслідок викривлення магнітного поля Землі, «м'яким» у магнітному відношенні залізом, перехресними зв'язками між перетворювачами магнітного поля, а також проекціями постійного магнетизму («твердого» у магнітному відношенні заліза) елементів конструкції приладу, в місці установки має похибку у визначенні магнітного курсу, яка має назву магнітної девіації. За встановленим правилом [1] девіацію  $q$  визначають як різницю між магнітним курсом  $K_M$  і компасним (тобто тим, що вимірюється разом із девіацією) курсом  $K_k$ :

$$\delta = K_M - K_k.$$

Аналітично цю залежність апроксимують рядом

$$\delta = A + B \sin K_k + C \cos K_k + D \sin 2K_k + E \cos 2K_k + \dots$$

де  $A, B, C, D, E$  - коефіцієнти девіації.

Складову, що описується коефіцієнтом  $A$ , називають круговою девіацією, вона незмінна при будь-якому курсі об'єкту. Коефіцієнти  $B$  і  $C$  характеризують напівкругову девіацію, вона змінюється від нуля до максимуму за півоберту об'єкту (півкруга). Зазвичай напівкутові девіації являються визначальними на об'єкті. Коефіцієнти  $D$  і  $E$  характеризують четвертну девіацію, яка змінюється від нуля до максимуму за чверть круга.

Наразі для визначення (ідентифікації) коефіцієнтів девіації її вимірюють на 8 курсах, кратних  $45^\circ$ .

Після цього коефіцієнти девіації визначають за формулами:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{8}(\delta_0 + \delta_{45} + \dots + \delta_{315}), \\
 B &= (\delta_{90} - \delta_{270})/2, \\
 C &= (\delta_0 - \delta_{180})/2, \\
 D &= (\delta_{45} - \delta_{115} + \delta_{225} - \delta_{315})/4, \\
 E &= (\delta_0 - \delta_{90} + \delta_{180} - \delta_{270})/4.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Тут індекс позначає курс, на якому виконане вимірювання.

Обчислення по даним формулам вимагає великих трудозатрат (обертання важких об'єктів і їх точне встановлення у 8 точках), а також є не точним.

В [2] поставлена мета досягається у такий спосіб: після визначення девіаційної помилки на 8 точках інтерполяцією одержують девіаційну помилку на додаткових проміжних 16 точках. Далі апроксимують цю помилку по всіх 24 точках безперервною залежністю від курсу гармонічним рядом Фур'є 3-го порядку. Обчислення коефіцієнтів апроксимації відбувається по 24 точках аналогічно формулам (1), тільки беруться 7 перших членів розкладання ряду. Далі в робочому режимі проводиться компенсація девіаційної помилки курсу. Цей спосіб збільшує точність визначення коефіцієнтів магнітної девіації, але не зменшує кількість вимірювань.

Було поставлено мету зменшити кількість точок вимірювання і при цьому збільшити точність обчислення.

### Розв'язання задачі

Приведені формули (1) є спрощеним варіантом визначення коефіцієнтів ряду Фур'є по 8 вимірюваннях. Для коефіцієнтів В і С більш точними будуть формули (формули перетворення Фур'є)

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{1}{4}[\delta_{90} - \delta_{270} + \sin(45^\circ)(\delta_{45} - \delta_{315} - \delta_{225} + \delta_{135})], \\
 C &= \frac{1}{4}[\delta_0 - \delta_{180} + \sin(45^\circ)(\delta_{45} + \delta_{315} - \delta_{225} - \delta_{135})].
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для ілюстрації проведено моделювання, результати якого показані на рис. 1. Результати показують суттєвий вииграш в точності при розрахунку коефіцієнтів по формула (2). При цьому формули ускладнюються несуттєво.

Розглянемо детальніше ряд Фур'є

$$\delta = a_0 + \sum_{j=1}^m (a_j \cos jx + b_j \sin jx),$$

тут  $a_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i$ ;  $i=1 \dots 6$ ;  $\delta_1 \equiv \delta_{60}$ ,  $\delta_2 \equiv \delta_{120}$ ,  $\delta_3 \equiv \delta_{180}$ ,  $\delta_4 \equiv \delta_{240}$ ,  $\delta_5 \equiv \delta_{300}$ ,  $\delta_6 \equiv \delta_0$ ; 0, 60, 120 – градуси.

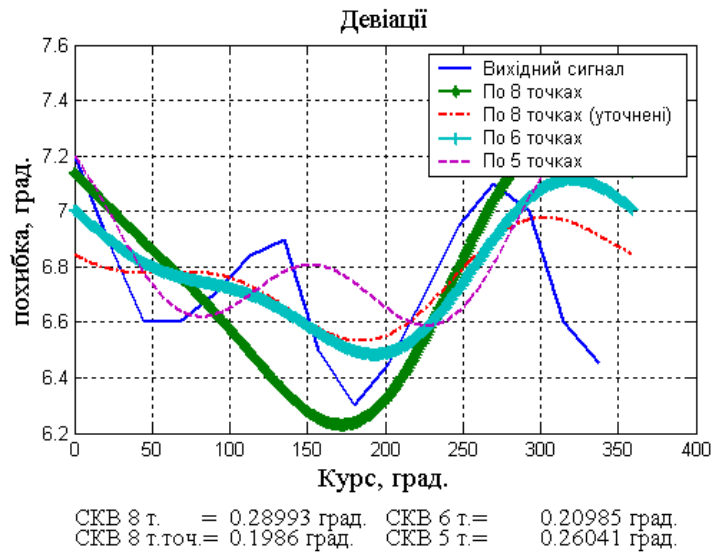
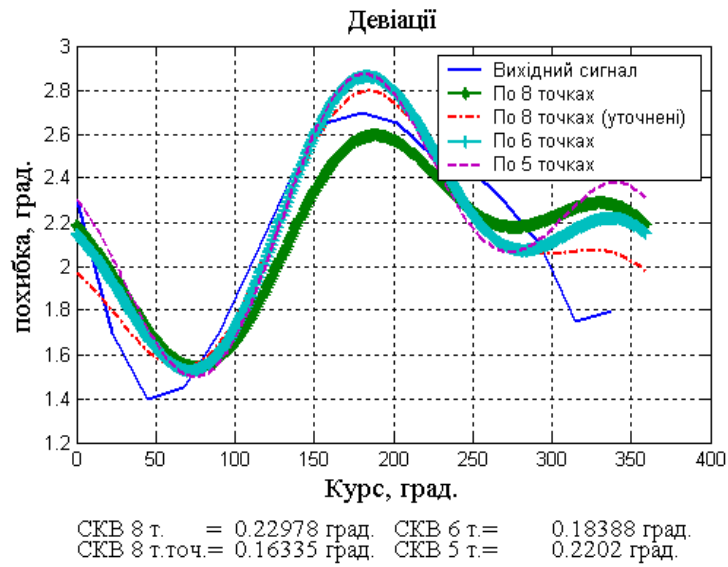


Рис.1. Приклади кривих магнітної девіації

Коефіцієнти розраховують за формулами:

$$a_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i \cos(c \cdot j \cdot i); \quad b_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i \sin(c \cdot j \cdot i),$$

де  $m$  – число рівновіддалених вузлів аргументу функції, апроксимуючої  $\delta$ ;

$c = \frac{2\pi}{m}$  - інтервал відліку;  $j=1,2$  – номер використаних гармонік;  $i$  – номер вузла;

$c \cdot j \cdot i$  - значення аргументу в  $i$ -ому вузлі.

У наслідок отримаємо формули для визначення коефіцієнтів магнітної девіації по 6 вимірюванням через 60 градусів:

$$\begin{aligned}
 a_0 \equiv A &= \frac{1}{6}(\delta_0 + \delta_{60} + \delta_{120} + \delta_{180} + \delta_{240} + \delta_{300}), \\
 b_1 \equiv B &= \frac{1}{2\sqrt{3}}(\delta_{60} + \delta_{120} - \delta_{240} - \delta_{300}), \\
 a_1 \equiv C &= \frac{1}{3}(\delta_0 - \delta_{180}) + \frac{1}{6}(\delta_{60} - \delta_{120} - \delta_{240} + \delta_{300}), \\
 b_2 \equiv D &= \frac{1}{2\sqrt{3}}(\delta_{60} - \delta_{120} + \delta_{240} - \delta_{300}), \\
 a_2 \equiv E &= \frac{1}{3}(\delta_0 + \delta_{180}) + \frac{1}{6}(\delta_{60} + \delta_{120} + \delta_{240} + \delta_{300}).
 \end{aligned} \tag{3}$$

У загальному випадку можливо обчислити коефіцієнти і при іншій кількості вимірювань. Можливо обчислити коефіцієнти, провівши вимірювання всього у 5 точках (вузлах) з кроком  $72^\circ(\frac{2\pi}{5})$ .

Отже, формули визначення коефіцієнтів девіації мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{5}(\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4), \\
 B &= \frac{2}{5} \left[ \sin \frac{2\pi}{5}(\delta_1 - \delta_4) + \sin \frac{4\pi}{5}(\delta_2 - \delta_3) \right], \\
 C &= \frac{2}{5} \left[ \delta_0 + \cos \frac{2\pi}{5}(\delta_1 + \delta_4) + \cos \frac{4\pi}{5}(\delta_2 + \delta_3) \right], \\
 D &= \frac{2}{5} \left[ \sin \frac{4\pi}{5}(\delta_1 - \delta_4) - \sin \frac{2\pi}{5}(\delta_2 - \delta_3) \right], \\
 E &= \frac{2}{5} \left[ \delta_0 + \cos \frac{4\pi}{5}(\delta_1 + \delta_4) + \cos \frac{4\pi}{5}(\delta_2 + \delta_3) \right],
 \end{aligned} \tag{4}$$

Моделювання із застосуванням реальних даних показує, що, при існуючій точності вимірювання девіації, доцільніше для обчислення коефіцієнтів девіації використовувати формули (4), оскільки середнє квадратичне відхилення при розрахунку по ним, навіть при вимірюванні в 5 точках, виявилось меншим, ніж по 8 за формулами (1).

Найбільш точними у досліді виявилися уточнені формули (2) для 8 точок (середнє квадратичне відхилення (СКВ) для трьох випробувань становило відповідно  $0.1633^0$ ,  $0.1986^0$ ,  $0.2071^0$ ), але по формулах (3) для 6 вимірювань (СКВ  $0.1838^0$ ,  $0.2099^0$ ,  $0.2162^0$ ) також були отримані більш точні дані ніж за формулами (1) (СКВ  $0.2298^0$ ,  $0.2899^0$ ,  $0.3139^0$ ). Особливо це актуально для важких об'єктів типу судів, важких літаків, коли виставка на ряд заданих курсів спряжена з великими трудозатратами.

Проведений спектральний аналіз сигналу, отриманого при вимірюванні девіації показує, що у вимірюваннях можуть бути добре вираженими не лише пе-

рші гармоніки, але і 3, 4, 5 і т.д. гармоніки. У першому і третьому досліді рівень гармонік вище другої складав менше  $0,08^0$ ,  $0,074^0$  відповідно, а нульової  $6,74^0$  та  $2,12^0$ . Проте у другому досліді рівень 3 гармоніки складав майже  $0,15^0$ , а рівень 5 гармоніки приблизно  $0,05^0$ , хоча рівень нульової гармоніки складав  $0,5^0$ . Це вказує на те, що в апроксимуючому ряді бажано враховувати не тільки першу та другу гармоніки, а й хоча б 3-7 гармоніки.

### **Висновки**

Розглянуті різні методики списання магнітної девіації та отримані більш точні формули для її визначення. При списанні девіації на важких об'єктах варто використовувати формули, в яких використовується менше вимірювань. Для збільшення точності та зменшення трудомісткості рекомендується використовувати формули для визначення девіації по 6 точках. У подальшому може бути виконаний більш розширений спектральний аналіз девіації, а також розглянуте застосування методів інтерполяції для підвищення точності визначення магнітної девіації.

### **Література**

1. Одинцов А.А. Ориентация объектов в магнитном поле Земли. / А.А. Одинцов, В.В. Мелешко, С.А. Шаров. - К.: Корнийчук, 2008. - 160 с.
2. Школин Д.А. / Расчет и компенсация магнитной девиации / Д.А. Школин, В.Я. Харбаш // Успехи современного естествознания. – 2005. - № 3. - С. 62 - 63.

### **В. В. Мелешко, В. В. Кучер**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», г. Київ, Україна*

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ СПИСАНИЯ МАГНИТНОЙ ДЕВИАЦИИ КУРСОВЫХ СИСТЕМ**

Рассмотрены различные методики списания магнитной девиации курсовых систем и обосновано использование более точных формул для ее определения. Показано, что применение уточненных формул может увеличить точность определения магнитной девиации на величину до 30 процентов. Для уменьшения трудозатрат при списании девиаций приведены формулы для определения девиации по 6 или 5 измерениям девиации. Показаны примеры вычисления девиаций по разным формулам и при разных количествах измерений девиации. Результаты позволяют оптимизировать методики списания магнитной девиации для морских судов, самолетов и наземных подвижных объектов.

**Ключевые слова:** списание девиации, магнитометр, курс, девиация.

### **V. V. Meleshko, V. V. Kucher**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

#### **RESEARCH METHODOLOGY CANCELLATION OF MAGNETIC DEVIATION OF NAVIGATION SYSTEMS**

Considered various methods of writing off the magnetic deviation of navigation systems and sound use of more precise formulas for its determination. It is shown, that a refined formula may increase the accuracy of the definition of a magnetic deviation by up to 30 percent. To reduce labor costs in cancellation of deviations are formulas for determining the deviation of 6 and 5 dimensions of deviation. Shows examples of calculating the deviations of different formulas and different amounts of measurement deviation. Results allow us to optimize the cancellation of the magnetic deviation method for marine vessels, aircraft and ground-based moving objects.

**Keywords:** cancellation of magnetic deviation, magnetometer, rate, deviation.

*Надійшло до редакції  
15 лютого 2010 року*