

## Расчет и компенсация магнитной девиации

*Школин Д.А., Харбаи В.Я.*

*Арзамасский Политехнический Институт (филиал) НГТУ*

*Арзамас, Россия*

Как известно, вредное влияние на показания датчика, измеряющего постоянное магнитное поле, оказывают собственные магнитные поля объекта, на котором установлен датчик. Эти поля порождаются магнитными полями, создаваемыми магнитотвердым и магнитомягким железом, расположенным на самолете, а также протекающими в бортовых цепях токами. Ошибки магнитного датчика, обусловленные собственными полями объекта, называются девиацией.

На практике принято, что при горизонтальном движении, девиация магнитного комплекса складывается из постоянной, полукруговой и четвертной девиации:

$$\Delta = A + B \cdot \sin \psi + C \cdot \cos \psi + D \cdot \sin 2\psi + E \cdot \cos 2\psi,$$

где  $\Delta$  – девиация,

$A, B, C, D, E$  – коэффициенты, определяемые экспериментально,

$\psi$  – магнитный курс.

Девиацию реального объекта измеряют в процессе специальных девиационных работ и учитывают при использовании результатов магнитных датчиков в рабочем режиме. Это обычная практика эксплуатации любых подвижных объектов.

Ниже приведены принятые формулы для расчета коэффициентов девиации (1):

$$\begin{aligned} A &= \frac{\Delta_0 + \Delta_{45} + \Delta_{90} + \Delta_{135} + \Delta_{180} + \Delta_{225} + \Delta_{270} + \Delta_{315}}{8} \\ B &= \frac{(\Delta_{45} - \Delta_{225}) \sin 45 + \Delta_{90} - \Delta_{270} + (\Delta_{135} - \Delta_{315}) \sin 45}{4} \\ C &= \frac{(\Delta_{45} - \Delta_{225}) \sin 45 + \Delta_0 - \Delta_{180} + (\Delta_{135} - \Delta_{315}) \sin 45}{4} \\ D &= \frac{\Delta_{45} - \Delta_{135} + \Delta_{225} - \Delta_{315}}{4} \\ E &= \frac{\Delta_0 - \Delta_{90} + \Delta_{180} - \Delta_{270}}{4} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta_0$  - девиация на курсе  $0^\circ$ ;

$\Delta_{45}$  - девиация на курсе  $45^\circ$  и т.д.

Компенсация ошибки происходит по формуле:

$$y_n = y_c - [A + B \sin(y_c) + C \cos(y_c) + D \sin(2y_c) + E \cos(2y_c)]$$

где  $y_c$  – курс с ошибкой,

$y_n$  – поправленный курс,

Недостатком данного способа является низкая точность в определении курса.

На практике в лабораторных условиях для сравнения способов были сняты реальные показания курса прибора и найдена девиационная ошибка на 24 точках через  $15^\circ$ . Но для расчетов берутся только 8 показаний курса через  $45^\circ$ .

Как известно, на подвижных объектах имеются большие массы железа и силовые системы, в которых протекают большие токи, поэтому ошибка курса, как показывает практика, может достигать  $40^\circ$ .

После вычисления коэффициентов девиации и последующей компенсации магнитной девиации этим способом, ошибка определения курса уменьшилась с  $3.8^\circ$  до  $0.6^\circ$ . Те же самые результаты получились бы, если бы были взяты 5 первых членов в

разложении бесконечного ряда Фурье. Тогда коэффициенты девиации рассчитывались бы по методу наименьших квадратов по формулам (2):

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \Delta_{(i-1)*45}, \\ B &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^8 \Delta_{(i-1)*45} * \sin\left(\frac{(i-1)*\pi}{4}\right), & C &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^8 \Delta_{(i-1)*45} * \cos\left(\frac{(i-1)*\pi}{4}\right) \\ D &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^8 \Delta_{(i-1)*45} * \sin\left(\frac{2*(i-1)*\pi}{4}\right), & E &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^8 \Delta_{(i-1)*45} * \cos\left(\frac{2*(i-1)*\pi}{4}\right) \end{aligned} \right\} (2)$$

Поэтому можно сказать, что этот способ учитывает только 2 гармоники бесконечного ряда.

Цель предложенного способа – повышение точности определения курса.

Поставленная цель достигается следующим образом:

После определения девиационной ошибки на 8 точках путем интерполяции (например, линейной) получают девиационную ошибку на дополнительных промежуточных 16 точках. В итоге мы уже имеем 24 точки (через  $15^0$ ).

Далее аппроксимируют эту ошибку по всем 24 точкам непрерывной зависимостью от курса гармоническим рядом Фурье 3-го порядка:

$$\Delta\psi = A + B \sin(\psi) + C \cos(\psi) + D \sin(2\psi) + E \cos(2\psi) + F \sin(3\psi) + G \cos(3\psi)$$

где  $\psi$  – истинный курс;

$\Delta\psi$  – ошибка курса;

$A, B, C, D, E, F, G$  – коэффициенты аппроксимации, определяемые методом наименьших квадратов,

Вычисление коэффициентов аппроксимации  $A, B, C, D, E, F, G$  происходит по 24 точкам аналогично формулам 2, только берутся 7 первых членов разложения ряда.

Далее в рабочем режиме производится компенсация девиационной ошибки курса по следующей формуле:

$$y_n = y_c - [A + B \sin(y_c) + C \cos(y_c) + D \sin(2y_c) + E \cos(2y_c) + F \sin(3y_c) + G \cos(3y_c)].$$

Повышение точности достигается за счет того, что используется формула девиации, включающая 3-ю гармонику, и расчет коэффициентов девиации производится по гармоническому ряду Фурье методом наименьших квадратов. Это позволяет получить более высокую точность за счет того, что компенсируется 3-я гармоника магнитной девиации.

Получение ошибки на курсах через  $15^0$  (необходимой для расчета 3-ей гармоники) осуществляется именно математическим способом путем интерполяции, а не физическим, т. к. операция разворота большого объекта (например, самолета или корабля) на углы через  $15^0$  требует больших энергетических и временных затрат.

После вычисления коэффициентов девиации и последующей компенсации магнитной девиации предлагаемым способом, ошибка определения курса по сравнению с предыдущим способом уменьшилась с  $0.6^0$  до  $0.3^0$ . Использование более сложной интерполяции еще больше повышает точность определения курса. Так, после использования кубической интерполяции через каждые 4 соседние точки, после компенсации девиации точность определения курса составила  $0.19^0$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор Авиационные приборы Москва: «Машиностроение» 1964, с. 385-395
2. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Издание IV. «Наука», Москва, 1977