

Устройство для определения магнитной девиации на подвижном объекте

МПК G01C 17/04;G01R 33/00 (2006.01)

Полезная модель относится к области магнитоизмерительной техники на основе определения магнитных параметров Пуассона и может быть использована в навигационном приборостроении для устранения девиации магнитного компаса, применяемого в качестве измерителя курса подвижного объекта.

Известно устройство для определения магнитной девиации на подвижном объекте [1], содержащее трехкомпонентный магнитометр, устройство для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта, блок преобразователей, блок регистрации, устройство обработки информации, калиброванный по магнитным параметрам образец из магнитомягкого железа.

Изменчивость магнитных параметров образца под влиянием магнитных полей-помех ограничивает точность определения магнитной девиации..

Наиболее близким по технической сущности является устройство для определения магнитной девиации на подвижном объекте [2], содержащее установленные на борту подвижного объекта трехкомпонентный магнитометр, устройство для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта, блок преобразователей сигналов измеренных параметров, устройство управления, вычислительное устройство.

Недостаточность технических средств для одномоментного определения магнитной девиации на подвижном объекте приводит к повышению трудоемкости определения магнитной девиации с помощью данного устройства для определения магнитной девиации на подвижном объекте.

Технический результат заключается в уменьшении трудоемкости и повышении точности определения магнитной девиации на подвижном объекте

Данный технический результат обеспечивается в устройстве для определения магнитной девиации на подвижном объекте, содержащем установленные на борту подвижного объекта трехкомпонентный магнитометр, устройство для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта, блок преобразователей сигналов измеренных параметров, устройство управления, вычислительное устройство, тем, что в него введены приемник спутниковой навигационной системы и постоянное запоминающее устройство, в котором записаны коды полученных из магнитных карт значений вектора магнитного поля Земли в функции географических координат, а также код магнитного склонения.

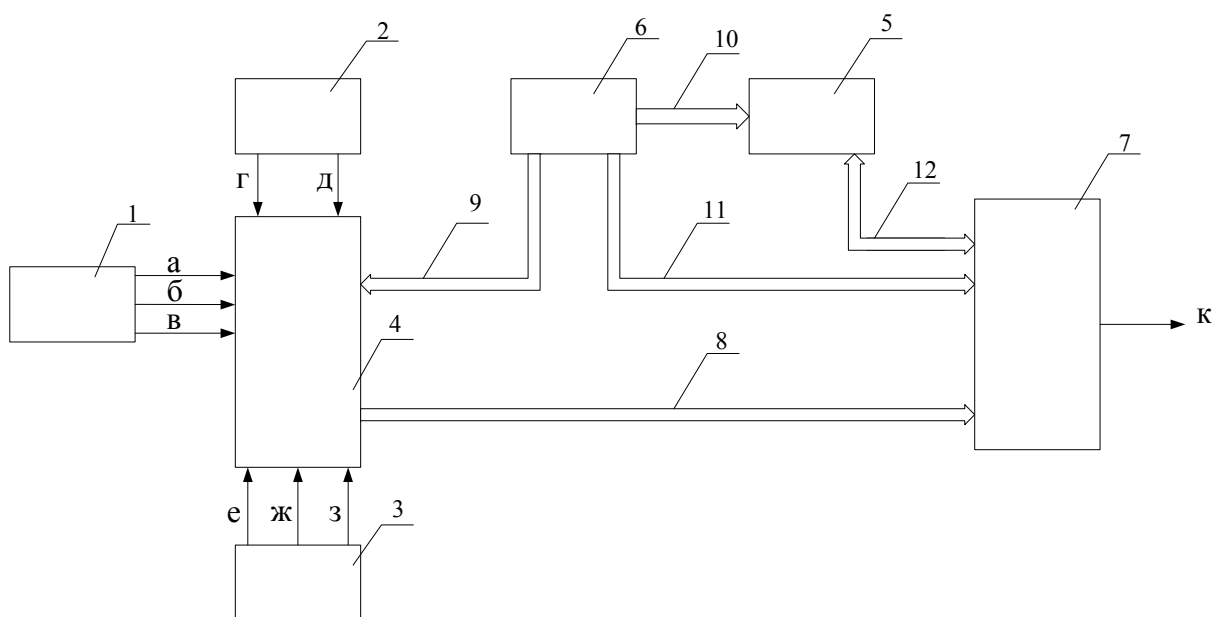
Используя записанные в ПЗУ коды полученных из магнитных карт значений вектора магнитного поля Земли в функции географических координат и географические

координаты подвижного объекта от приемника спутниковой навигационной системы, код магнитного склонения, магнитные коэффициенты Пуассона на подвижном объекте и магнитная девиация рассчитываются при одномоментном нахождении подвижного объекта в данном географическом месте.

Тем самым достигается уменьшение трудоемкости определения магнитной девиации на подвижном объекте.

Возможность получения с помощью приемника спутниковой навигационной системы реальных географических координат местонахождения подвижного объекта на текущий момент времени обеспечивает более точный расчет магнитных параметров Пуассона, в результате чего обеспечивается повышение точности определения магнитной девиации на подвижном объекте.

На фиг.1 представлена блок-схема устройства для определения магнитной девиации на подвижном объекте.



Фиг.1

Устройство для определения магнитной девиации на подвижном объекте (фиг.1) содержит установленные на борту подвижного объекта трехкомпонентный магнитометр 1, приемник спутниковой навигационной системы 2, устройство 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта, блок преобразователей 4 сигналов измеренных параметров, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 5, устройство управления 6, вычислительное устройство 7. В ПЗУ 5 записаны коды полученных из магнитных карт

значений вектора магнитного поля Земли в функции географических координат, а также код магнитного склонения.

В качестве устройства 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта может использоваться имеющаяся на подвижном объекте курсовая система, имеющая датчик магнитного курса и гиросtabilизированную платформу. Блок преобразователей 4 сигналов измеренных параметров может быть выполнен как многоканальный аналого-цифровой преобразователь для удобства расчетов в вычислительном устройстве 7. Устройство управления 6 может быть выполнено как процессор, а вычислительное устройство 7 – как бортовая цифровая вычислительная машина.

Выходы «а,б,в» трехкомпонентного магнитометра 1 подсоединены к одним трем входам блока преобразователей 4 и предназначены для выдачи сигналов трех составляющих вектора индукции магнитного поля подвижного объекта в его осях. Выходы «г,д» приемника спутниковой навигационной системы 2, предназначенные для выдачи географической долготы и географической широты местонахождения подвижного объекта, подключены к другим двум входам блока преобразователей 4. К еще трем входам блока преобразователей 4 подсоединены выходы «е,ж,з» устройства 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта, предназначенные для получения трех данных параметров. Выход устройства 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта соединен линией связи 8 с входом вычислительного устройства 7, выход «к» которого является выходом сигнала о величине магнитной девиации на подвижном объекте. Устройство управления 6 соединено линией связи 9 с блоком преобразователей 4 сигналов, линией связи 10 с ПЗУ 5, линией связи 11 с вычислительным устройством 7. ПЗУ 5 линией обмена 12 соединено с вычислительным устройством 7.

Устройство для определения магнитной девиации на подвижном объекте работает следующим образом. В месте географического нахождения подвижного объекта посредством трехкомпонентного магнитометра 1 измеряются составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{T}' подвижного объекта в его осях и по линиям связи «а,б,в» их значения подаются на вход блока преобразователей 4. Устройство 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта по линиям связи «е,ж,з» выдает в блок преобразователей 4 значения магнитного курса ψ_m , крена γ и тангажа θ . Также с выходов «г,д» приемника спутниковой навигационной системы 2 значения географической долготы и географической широты местонахождения подвижного объекта поступают на вход блока преобразователей 4. Блок преобразователей 4 преобразует в аналогоцифровые сигналы показания трехкомпонентного магнитометра 1,

приемника спутниковой навигационной системы 2 и устройства 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта и по команде по линии связи 9 от устройства управления 6 передает их по линии связи 8 в вычислительное устройство 7. В то же время устройство управления 6 по линии связи 11 дает команду в вычислительное устройство 7 на проведение вычислений, а также по линии связи 10 команду в ПЗУ 5, по которой ПЗУ 5 по линии обмена 12 на запрос вычислительного устройства 7 выдает в него коды значений магнитного склонения D и вектора индукции магнитного поля Земли (МПЗ) на основе полученных по приемнику спутниковой навигационной системы 2 данных географической долготы и географической широты местонахождения подвижного объекта. В течение некоторого времени, когда происходят изменение курса, крена и тангажа подвижного объекта и перемещение подвижного объекта, накапливается некоторое количество поступающих в вычислительное устройство 7 данных, на основе которых вычислительное устройство 7 производит расчет магнитной девиации на подвижном объекте, используя нижеследующие математические соотношения.

Магнитная девиация рассчитывается на основе определения магнитных параметров Пуассона, когда магнитное поле в конкретной точке подвижного объекта описывается уравнениями Пуассона [3]:

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R \end{aligned} \quad (1)$$

где X', Y', Z' - компоненты вектора индукции магнитного поля в конкретной точке подвижного объекта;

X, Y, Z - компоненты вектора индукции МПЗ;

a, b, \dots, k - параметры Пуассона, описывающие поле магнитомягкого железа;

P, Q, R - компоненты вектора магнитной индукции магнитотвердого железа.

Представим модель (1) в векторно-матричной форме.

$$\vec{T}' = (\mathbf{I} + \mathbf{F})\mathbf{C}\vec{T}_g + \vec{M}, \quad (2)$$

где - \vec{T}' -вектор индукции магнитного поля подвижного объекта в осях подвижного объекта,

$$\vec{T}' = [X' \quad Y' \quad Z']^T \quad (3)$$

\mathbf{I} - единичная матрица,

\mathbf{F} - матрица параметров магнитомягкого железа,

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix} \quad (4)$$

$\vec{\mathbf{T}}_g$ - вектор индукции МПЗ, представленный горизонтальной H и вертикальной Z составляющими,

$$\vec{\mathbf{T}}_g = [0 \quad H \quad -Z]^T \quad (5)$$

$\vec{\mathbf{M}}$ - вектор параметров магнитотвердого железа,

$$\vec{\mathbf{M}} = [P \quad Q \quad R]^T \quad (6)$$

$C^{bg} = f(\psi_m, \theta, \gamma)$ - матрица направляющих косинусов между сопровождающим g и связанным с подвижным объектом b базисами, взаимное положение которых задано углами магнитного курса ψ_m , тангажа θ и крена γ :

C^{bg}	ξ_m	η_m	ζ
x_c	$\cos\gamma \cos\psi_m + \sin\gamma \sin\theta \sin\psi_m$	$-\cos\gamma \sin\psi_m + \sin\gamma \sin\theta \cos\psi_m$	$-\sin\gamma \cos\theta$
y_c	$\cos\theta \sin\psi_m$	$\cos\theta \cos\psi_m$	$\sin\theta$
z_c	$\sin\gamma \cos\psi_m - \cos\gamma \sin\theta \sin\psi_m$	$-\sin\gamma \sin\psi_m - \cos\gamma \sin\theta \cos\psi_m$	$\cos\gamma \cos\theta$

(7)

Компоненты вектора \mathbf{T} в результате имеют вид:

$$\begin{aligned} X &= H(\cos\psi_m \sin\theta \sin\gamma + \sin\psi_m \cos\gamma) + Z_g \cos\theta \sin\gamma, \\ Y &= H \cos\psi_m \cos\theta - Z_g \sin\theta, \\ Z &= -H(-\sin\psi_m \sin\gamma + \cos\psi_m \cos\gamma \sin\theta) - Z_g \cos\theta \cos\gamma. \end{aligned} \quad (8)$$

Магнитный курс Ψ_m связан с истинным курсом Ψ соотношением:

$$\Psi_m = \Psi - D \quad (9),$$

где D - магнитное склонение.

Составляющие $\vec{\mathbf{T}}'$ вектора индукции магнитного поля подвижного объекта в осях подвижного объекта на выходе трехкомпонентного магнитометра 1 получают выражение в виде вектора выходных сигналов, обозначаемого как $\vec{\mathbf{T}}'$. Направляющие косинусы (7) определяют по показаниям курсовой системы, выполняющей функции устройства 3 для измерения курса, крена и тангажа подвижного объекта.

Выражение (2) можно преобразовать в соотношение:

$$\vec{\mathbf{T}}' - \tilde{\mathbf{C}} \vec{\mathbf{T}}'_g = \mathbf{F} \mathbf{C} \vec{\mathbf{T}}'_g + \vec{\mathbf{M}} = \mathbf{F} \vec{\mathbf{T}} + \vec{\mathbf{M}} \quad (10)$$

Волной в этом выражении отмечены измеренные и вычисленные значения. Таким образом, получим вектор разностей:

$$\vec{\Delta} = \vec{T}' - \vec{C}\vec{T}_g \quad (11)$$

При движении подвижного объекта в условиях изменения как минимум двух из трех углов подвижного объекта (курса, крена, тангажа) получается ряд значений:

$$\vec{\Delta}_i = \mathbf{F}\vec{T}_i + \vec{M}, \quad (12)$$

где i – номер измерения.

Для судна изменения углов подвижного объекта могут происходить при двухосной качке или циркуляции. Для самолета это может происходить при выполнении эволюций с изменением крена, тангажа, курса.

При количестве измерений $i=1 \dots n$

$$\begin{bmatrix} \Delta X_1 \dots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \dots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \dots \Delta Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i \dots X_n \\ Y_i \dots Y_n \\ Z_i \dots Z_n \\ 1 \dots 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Вкратце матрицы обозначаются в виде:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \Delta X_1 \dots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \dots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \dots \Delta Z_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} X_i \dots X_n \\ Y_i \dots Y_n \\ Z_i \dots Z_n \\ 1 \dots 1 \end{bmatrix}.$$

Тогда выражение (13) в компактном виде будет:

$$\mathbf{B} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{A} \quad (14)$$

При использовании метода наименьших квадратов в пакетной форме получается;

$$\hat{\mathbf{S}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}^+ = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}^T \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1}, \quad (15)$$

где матрица $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^T \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1}$ называется псевдообратной, или в другой форме:

$$\hat{\mathbf{S}}^T = (\mathbf{N}^T \mathbf{N})^{-1} \mathbf{N}^T \mathbf{B}^T, \quad (16)$$

где $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T$.

В результате находятся оценки параметров $\hat{\mathbf{S}}$, соответствующие матрице параметров \mathbf{S} .

Для выполнения оценки необходимы как минимум 4 шага измерений. Шаг измерений во времени имеет величину единиц секунд. Случайность изменения углов

подвижного объекта способствует повышению качества оценки. Увеличение количества измерений способствует сглаживанию влияния случайных ошибок измерителей.

Тогда составляющие магнитного поля подвижного объекта выражаются через полученные оценки магнитных параметров Пуассона в виде:

$$\begin{aligned}\hat{X}' &= X + \hat{a}X + \hat{b}Y + \hat{c}Z + \hat{P} \\ \hat{Y}' &= Y + \hat{d}X + \hat{e}Y + \hat{f}Z + \hat{Q} \\ \hat{Z}' &= Z + \hat{g}X + \hat{h}Y + \hat{k}Z + \hat{R}\end{aligned}\quad (17)$$

Девияция δ рассчитывается с учетом выражения (17) по формуле:

$$\delta = \psi_m - \arctg \frac{-(\hat{X}' \cos \gamma + \hat{Z}' \sin \gamma)}{(\hat{X}' \sin \gamma - \hat{Z}' \cos \gamma) \sin \theta + \hat{Y}' \cos \theta} \quad (18)$$

Таким образом показано, что магнитные параметры Пуассона и девияция магнитного компаса на их основе могут быть вычислены при одномоментном пребывании подвижного объекта в выбранном географическом месте.

Источники информации

1. Патент РФ N 2168188 кл. G01C 21/08; G01R 33/00. Способ определения проекций вектора магнитной индукции геомагнитного поля с подвижного объекта. 2000.
2. Патент РФ № 2365877 кл. G01C 17/00; G01V 3/00. Способ определения магнитной девииции на подвижном объекте. 2008.
3. Воронов В.В., Григорьев Н.Н., Яловенко А.В. Магнитные компасы. – СПб.: "Элмор", 2004.

Формула изобретения

Способ определения магнитных параметров Пуассона на подвижном объекте, состоящий в том, что в географическом месте нахождения подвижного объекта, учитывая магнитное склонение в данном географическом месте, определяют проекции на оси подвижного объекта в условиях изменения как минимум двух из трех углов подвижного объекта (курса, крена, дифферента) суммарного вектора индукции магнитного поля Земли и подвижного объекта и отдельно проекции вектора индукции магнитного поля Земли, сравнивают определенные проекции на оси подвижного объекта суммарного вектора индукции магнитного поля Земли и подвижного объекта с определенными проекциями вектора индукции магнитного поля Земли, по рассчитанным разностям

проекций вычисляют оценки 12 магнитных параметров Пуассона, причем углы подвижного объекта определяют по показаниям гирогоризонткомпаса, а проекции на оси подвижного объекта суммарного вектора индукции магнитного поля Земли и подвижного объекта измеряют посредством трехосного магнитометра, отличающийся тем, что проекции вектора индукции магнитного поля Земли на оси подвижного объекта определяют по информации о векторе индукции магнитного поля Земли из магнитных карт или калькуляторов для расчета вектора индукции магнитного поля Земли на основе координат местонахождения подвижного объекта, полученных с помощью спутниковой навигационной системы.