

КОРРЕКЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ МОРСКИХ ПРИБОРОВ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

С.Ю. Алексеев

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

В статье рассмотрен метод измерения угла наклона морских приборов с помощью дифференциальных датчиков давления, и его применение для коррекции измерения собственных движений.

Введение. Контроль собственных движений гидрофизических приборов необходим для определения неискаженной картины наблюдаемых гидрофизических процессов. При постановке гидрофизических приборов на буях и платформах измерения их собственных движений можно осуществить, используя

инерциальную навигационную систему [1]. Как правило, такие постановки делятся от нескольких суток до года. В этих условиях гироскопы, ошибка которых растет от времени, не удовлетворяют требованиям точности. Целью данной работы является разработка метода измерения угла наклона морских приборов, в котором будет отсутствовать рост ошибки от времени.

Специфика морских измерительных приборов накладывает свои ограничения на выбор инерциальной навигационной системы. Предпочтительны малые габариты, т.к. многие морские приборы сами малогабаритны и чувствительны к изменению конструкции. Так же важна невысокая стоимость инерциальной навигационной системы, т.к. она должна быть существенно меньше стоимости самого прибора. Всем вышеперечисленным требованиям удовлетворяют бесплатформенные инерциальные навигационные системы основанные на микромеханических датчиках [2], например выпускаемых фирмами Analog Devices [3] и STMicroelectronics [4].



Р и с. 1. Структурная схема инерциальной навигационной системы

Известно, что в состав бесплатформенной инерциальной навигационной системы, структурная схема которой представлена на рис. 1, входят трехосевой акселерометр, трехосевой гироскоп и магнитный компас [5]. Компоненты могут добавляться или изменяться, в зависимости от типа и назначения системы, но их основная функция остается постоянной.

Акселерометр измеряет ускорение по трем ортогональным осям X, Y, Z. Гиро-

скоп измеряет угловую скорость крена, тангажа и рыскания. Магнитный компас определяет азимут навигационной системы. Путем интегрирования угловых скоростей гироскопа по двум осям, совпадающими с осями акселерометра X и Y, вычисляются углы наклона прибора относительно плоскости, перпендикулярной вектору свободного падения, назовем ее горизонтальной плоскостью, и угол поворота вокруг оси z – углы λ , δ и χ соответственно.

Из показаний акселерометра необходимо определить собственные ускорения навигационной системы. Для этого следует исключить влияние вектора ускоре-

ния свободного падения g на показания акселерометра. Значение g вычисляется по следующей формуле [6]

$$g = 9,780327 \left(1 + 0,0053024 \sin^2(\varphi) - 0,0000058 \sin^2(2\varphi) \right) - 3,086 \cdot 10^{-6} h , \quad (1)$$

где φ – широта рассматриваемого места; h – высота над уровнем моря.

По углам λ и δ определяются проекции g на оси X, Y и Z. Зная проекции результирующего вектора ускорения и g , вычисляются проекции вектора собственного ускорения навигационной системы. Путем интегрирования ускорения навигационной системы a , вычисляется ее собственная скорость V

$$V = \int a(t) dt , \quad (2)$$

где $a(t)$ – ускорение инерциальной навигационной системы в момент времени t .

Пройденный путь рассчитывается интегрированием скорости V

$$S = \int V(t) dt . \quad (3)$$

Период интегрирования выбирается исходя из характерных периодов собственных движений прибора.

Как было отмечено выше, одной из основных ошибок инерциальной навигационной системы является растущий от времени уход нуля гироскопа, обусловленный трением его движущихся частей. Уход нуля современных микромеханических гироскопов в среднем составляет порядка 1°/час. Даже дорогостоящие высокоточные гироскопы, уход нуля которых на порядок меньше, при продолжительной работе вносят существенную ошибку в определение угла наклона инерциальной навигационной системы. Таким образом, встает задача разработки метода измерения угла наклона морских приборов. Погрешность данного метода должна составлять не более 1°, и не должна расти от времени.

Для решения поставленной задачи был предложен метод, основанный на измерении дифференциального давления. Схема работы измерителя, основанного на предложенном методе представлена на рис. 2

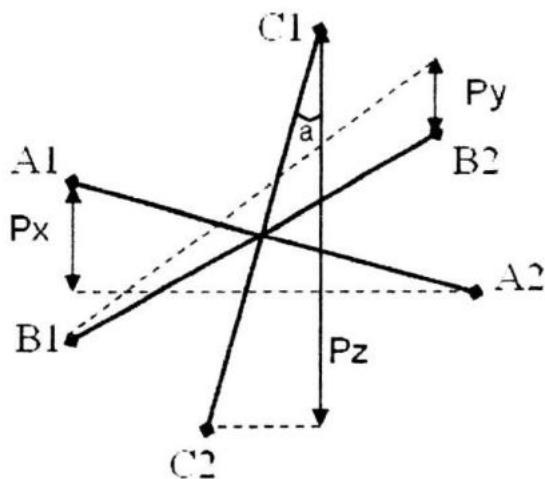


Рис. 2. Схема работы измерителя

Предложенный измеритель состоит из трех дифференциальных датчиков давления A, B, C, выходы которых (A_1-A_2 , B_1-B_2 , C_1-C_2), располагаются на

концах трех баз. Базы равны по длине и располагаются ортогонально. ΔP_x , ΔP_y , ΔP_z – дифференциальное давление изме-

ряемое датчиками А, В, С соответственно.

При вертикальном расположении датчика С, когда прямая С1-С2 перпендикулярна горизонтальной плоскости, дифференциальное давление ΔP_z (между точками С1-С2) является искомым, а ΔP_x , ΔP_y равны нулю. В случае наклона измерителя ΔP_z уменьшается, т.к. уменьшается вертикальное расстояние между точками С1-С2, а ΔP_x , ΔP_y соответственно увеличиваются. Искомое дифференциальное давление по вертикали ΔP вычисляется по формуле

$$\Delta P = \sqrt{\Delta P_x^2 + \Delta P_y^2 + \Delta P_z^2}. \quad (4)$$

Зная ΔP и его составляющие по всем осям, всегда можно вычислить угол наклона измерителя α относительно вертикали

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\Delta P_z}{\Delta P}\right). \quad (5)$$

Аналогично можно вычислить углы наклона β и γ по осям х и у, которые однозначно задают положение плоскости А1-А2, В1-В2 к горизонтальной плоскости. Угол β по оси х, и угол γ по оси у вычисляются по формулам

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\Delta P_x}{\Delta P}\right), \quad (6)$$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{\Delta P_y}{\Delta P}\right). \quad (7)$$

Предложенный метод позволяет находить углы наклона инерциальной навигационной системы относительно горизонтальной плоскости, которые необходимы для устранения влияния вектора ускорения свободного падения на измерение ускорения навигационной системы. Этот метод можно применять при использовании двухосевого магнитного компаса, в котором возникает ошибка измерения азимута, связанная с наклоном корпуса компаса. Для коррекции этой ошибки так же необходимо знать углы наклона корпуса компаса к горизонтальной плоскости.

Погрешность от влияния течений на измерение дифференциального давления предполагается устранять, используя термоанемометрические датчики скорости течения [7]. Это является следующим объектом исследования.

Заключение. Таким образом, измеритель, основанный на предложенном методе, может быть использован в комплексе с любыми морскими приборами и навигационными системами для измерения или корректировки измерения их углов наклона. Наибольшую ценность он представляет для продолжительных измерений, где рост ошибки от времени наиболее критичен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин О.Н., Емельянцев Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов // Под общей редакцией В.Г. Пешехонова. – СПб.: Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 1999. – 356 с.
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие / Распопов В.Я. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
3. Официальный сайт фирмы Analog Devices // <http://www.analog.com/en/mems-sensors/products/index.html>
4. Официальный сайт фирмы STMicroelectronics // <http://www.st.com/internet/analog/class/1575.jsp>
5. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплatformенных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука, 1992. – 270 с.
6. Енохович А.С. Краткий справочник по физике. – М.: «Высшая школа», 1976. – 288 с.
7. Гайский В.А., Гайский П.В., Клименко А.В., Бондаренко А.С., Урожай А.Ф. Термоанемометрический измеритель скорости течения ИСТ-2 // Измерительные приборы и системы / Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 33 – 44.