

The developed on-board control-signal system provides the control of accelerations, primarily vertical, as they have greater effect on the vibrations, causing the increase of the dynamic loads on the elements of drive systems, and ultimately the increase of pressure of propellers on a supporting surface. To check the action of the created on-board control-signal system we have carried out road tests on the wheeled towing vehicle, resulting in obtaining of the experimental data of the change of longitudinal, lateral and vertical accelerations; and the values varied over a wide range and reached 4 m/s^2 (vertical accelerations). This work can provide a reduction of dynamic loads in the drive system of the wheeled towing vehicles, improve the ride and reduce the pressure of propellers on the deformable supporting surface (soil)

Keywords: towing vehicle, on-board control-signal system, vertical accelerations

В роботі виконано аналіз похибки вимірювання глибини за допомогою однопроменевого ехолота в умовах хитавиці та проведено порівняння методик зменшення впливу хитавиці на точність вимірювань глибини. Автором запропоновано на малих гідрографічних суднах застосовувати гідростабілізацію вимірювальної головки, наведено конструктивне рішення встановлення її на судні та рекомендовано методику синтезу гіростабілізатора

Ключові слова: ехолот, точність вимірювання глибини, хитавиця, гіростабілізація

В работе выполнен анализ погрешности измерения глубины с помощью однолучевого эхолота в условиях качки и проведено сравнение методик уменьшения влияния качки на точность измерений глубины. Автором предложено на малых гидрографических судах использовать гиростабилизацию измерительной головки, приведено конструктивное решение ее установки на судне и рекомендована методика синтеза гиростабилизатора

Ключевые слова: эхолот, точность измерения глубины, качка, гиростабилизация

УДК 681.2.088+681.833

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ОДНОПРОМЕНЕВИМ ЕХОЛОТОМ В УМОВАХ ХИТАВИЦІ

П. Б. Олійник

Кандидат технічних наук, науковий співробітник
Науково-дослідний інститут
телекомунікаційних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
Контактний тел.: (044) 454-94-48
E-mail: poleinik@ukr.net

1. Вступ

При проведенні вимірювань глибини для побудови морських навігаційних карт важливим є питання точності вимірювань. В більшості випадків на практиці вимірювання глибини виконується за допомогою однопроменевого ехолота.

Основними причинами виникнення похибок при ехолокації, зокрема й за допомогою однопроменевих ехолотів, є [1]:

- нестала швидкість розповсюдження звуку у воді;
- рефракція звукових променів;
- реверберація;
- шуми об'єкта, на якому встановлено гідроакустичний пристрій;
- власні шуми гідроакустичного пристрою.

Методики боротьби з цими похибками добре відомі, і описані, наприклад, в [2]. Але до останнього часу

вплив хитавиці на точність вимірювання глибини залишався поза увагою дослідників.

Вплив хитавиці на точність вимірювання глибини за допомогою багатопроменевого ехолота досліджено в роботі [3]. Автор [3] Н.Ф. Голодов, спираючись на класичні роботи та існуючі нормативні документи з проведення гідрографічної зйомки, вивчив вплив хитавиці за креном, рискання та швидкості судна точність вимірювання глибини багатопроменевим ехолотом.

Серед іншого Голодов запропонував формули поправок за хитавицю та за рискання, які можна розрахувати для будь-яких конкретних умов. Суттєвим недоліком роботи [3] є те, що внесення таких поправок після проведення вимірювань в акваторії є практично неможливим внаслідок того, що поправка повинна вноситись відповідно до фази коливань судна при хитавиці. Тому для зменшення похибок вимірювання не-

обхідно застосувати спеціальну методику підвищення точності вимірювань.

2. Мета дослідження

Метою даної роботи є визначення методики підвищення точності вимірювання глибини однопроменевим ехолотом при хитавиці.

3. Аналіз похибки вимірювання глибини ехолотом від хитавиці

Розглянемо судно, що рухається сталим курсом, і проводить вимірювання глибини однопроменевим ехолотом з вузьконаправленою передаючою та широкосмуговою приймальною антенами.

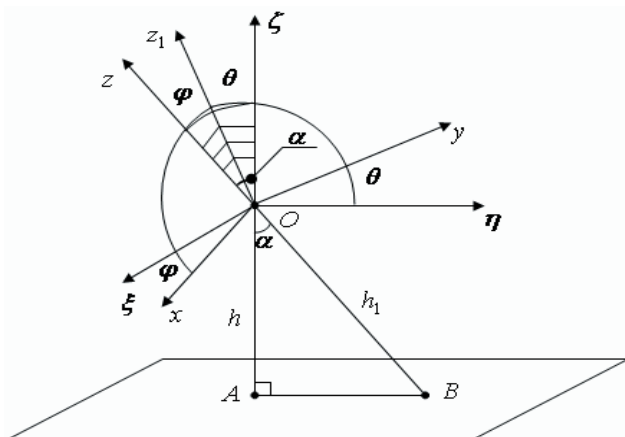


Рис. 1. Розрахункова схема визначення похибки вимірювання глибини

Дно вважаємо плоским; положення інерціальної системи координат $O\xi\eta\zeta$ та зв'язаної з судном системи координат $Oxyz$ показано на рис. 1. Крен судна позначено ϕ , диферент – θ . Курс судна для простоти вважаємо рівним 0° .

Якщо глибина під вимірювальною головкою ехолота h , то з трикутника AOB виміряна ехолотом глибина рівна $h_1 = \frac{h}{\cos\alpha}$, де α – плоский кут сферичного трикутника, рівний за теоремою про протилежні кути куту AOB .

З теореми косинусів для сферичного трикутника, утвореного осями ζ, z і z_1 , $\cos\alpha = \cos\phi\cos\theta$ (двогранний кут, протилежний плоскому куту α , прямиї), і, отже, виміряне значення глибини визначається формулою:

$$h_1 = \frac{h}{\cos\phi\cos\theta} \quad (1)$$

Відносна похибка вимірювання глибини в такому випадку визначається формулою

$$\epsilon_h = \frac{h-h_1}{h} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1}{\cos\phi\cos\theta}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Для крену 10° і диференту 10° похибка визначення глибини на рівному дні складає 3,1%. Зрозуміло, похибка визначення при складному профілю дна може досягнути значно більших значень, причому результатом може бути як завищення, так і заниження значення глибини. Більше того, у вузькостях та районах з навігаційними перешкодами, внаслідок хитавиці замість вимірювання глибини під кілем однопроменевої ехолот може вимірювати відстань до згаданих перешкод або, наприклад, стінок каналу. Тому слід вживати заходів для зменшення похибки ехолоту від хитавиці.

4. Шляхи зменшення похибки від хитавиці

Найпростішим шляхом зменшення похибки від хитавиці є проведення вимірювань в штиль або за низької бальності моря. Вимірювання в тиху погоду мінімізує крен і диферент судна і, відповідно, відносну похибку вимірювання глибини, що обчислюється за формулою (2).

Якщо ж проведення вимірювань в тиху погоду з тих чи інших причин неможливе, необхідно застосування описаних нижче заходів.

Заспокоювачі хитавиці. Для зменшення амплітуди хитавиці судна традиційно застосовують заспокоювачі хитавиці. За даними [4 та ін.], в суднобудуванні застосовують такі пристрої:

1. Бортові та носові горизонтальні кілі для зменшення відповідно бортової та кільової, а також вертикальної хитавиці;
2. Бортові стерна різної конструкції для зменшення бортової хитавиці;
3. Носові нерухомі крила для зменшення кільової хитавиці;
4. Заспокоювальні цистерни різних конструкцій (активні та пасивні) для зменшення бортової хитавиці;
5. Гіростабілізатори.

На невеликих гідрографічних суднах (а особливо на катерах) застосовувати складні за конструкцією гіростабілізатори хитавиці, як правило, недоцільно, внаслідок їх високої вартості.

Дія активних та пасивних цистерн заснована на переміщенні значних мас води всередині корпусу судна. Навіть якщо цистерни пасивні, тобто переміщення води відбувається спонтанно, а не за рахунок роботи насоса або турбоповітрорудки, перетікання води всередині корпусу та гідродинамічні удари створюють шуми, які для ехолота є завадами, причому ці шуми через корпус судна передаються у всі точки його поверхні. Якщо ж цистерна активна, то на шуми гідродинамічного характеру накладається ще й шум від роботи насоса або турбоповітрорудки. Таким чином, робота цистерн значно погіршує умови роботи гідрографічного ехолота.

Пасивні гідродинамічні заспокоювачі хитавиці – горизонтальні та вертикальні кілі та нерухомі крила – самі по собі не є джерелом шуму, оскільки є нерухомими. Однак, внаслідок обтікання цих гідродинамічних поверхонь водою, а особливо в області їх стикування з корпусом, виникають додаткові гідродинамічні шуми, які значно погіршують умови роботи ехолота, та ускладнюють вибір місця розташування його антен.

Більш того, такі гідродинамічні шуми присутні як за наявності хитавиці, так і за її відсутності, що теж суттєво погіршує умови роботи ехолота.

У випадку використання бортових стерен, до гідродинамічних шумів від обтікання додаються ще шуми від роботи приводів стерен. Крім того, при переключенні бортового стерна під час хитавиці характер його обтікання може стати турбулентним, що спричинить виникнення додаткових шумів та значне погіршення умов роботи ехолота.

Але, крім наявності додаткових шумів, існує ще одна проблема. Типові заспокоювачі хитавиці за даними [4] можуть забезпечити на малих та середніх судах амплітуду залишкової бортової хитавиці 8° – 10° , а залишкової кильової – 3° – 5° . Цього для забезпечення високоточних вимірювань глибини недостатньо, бо відносна похибка вимірювання глибини при такій хитавиці на рівному дні складає до 2%, і може бути значно більшою при складному профілю дна. Для отримання прийнятної величини похибки (порядку 0,1% на рівному дні) за розрахунками автора необхідне зниження остаточної амплітуди хитавиці принаймні до 1° – 2° , на що вказує і Голодов у [3].

Таким чином, використання всіх відомих видів заспокоювачів хитавиці судна є недоцільним – через те, що вони по-перше, створюють додаткові шуми і ускладнюють роботу ехолота, а по-друге, не забезпечують необхідну якість стабілізації.

Гіростабілізація вимірювальної головки ехолота. Беручи до уваги, що зменшити амплітуду хитавиці судна за допомогою заспокоювачів хитавиці та при цьому не погіршити умови роботи ехолота неможливо, видається доцільним забезпечити стабілізацію не всього судна, а лише променя антени вимірювальної головки ехолота. Для цього найпростішим способом є застосування двоступеневого гіростабілізатора (ГС).

Перевагою такого способу стабілізації променя антени ехолота є те, що можна забезпечити високу стабільність його вертикального положення (до частин градуса). Головним же недоліком є те, що ускладнюється конструкція ехолота, та зростає його вартість.

Запропоновану автором схему встановлення такого ехолота з гіростабілізованою вимірювальною головою на борту судна показано на рис. 2.

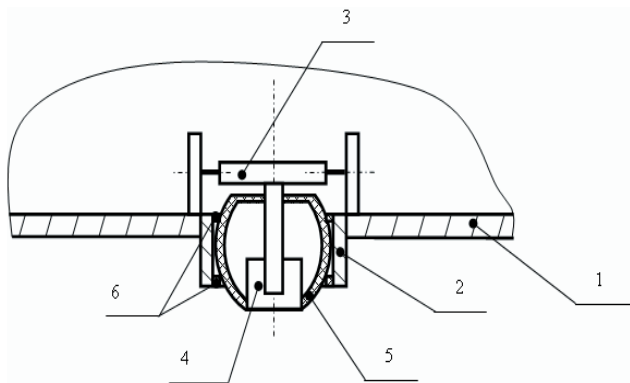


Рис. 2. Схема встановлення ехолота з гіростабілізованою вимірювальною головою на борту судна:

- 1 – корпус судна, 2 – обтічник, 3 – гіростабілізатор,
4 – вимірювальна головка ехолота, 5 – сфера,
6 – ущільнювач

В корпусі судна 1 роблять отвір, через який виводиться стабілізована за допомогою гіростабілізатора 3 вимірювальна головка ехолота 4. Вимірювальну головку змонтовано в сфері 5, поміщеній у герметизованому за допомогою ущільнювачів 6 обтічнику 2. Таким чином, при дії хитавиці та русі судна по-перше, зменшується вплив швидкісного напору на головку ехолота (обтічна форма сфери та обтічника), що дозволяє зменшити вимоги до двигунів ГС, а по-друге, за рахунок герметизації виключено вплив води на механізми ГС та електроніку ехолота.

З точки зору зменшення вартості ехолота, для стабілізації головки доцільно використати двохосний силовий ГС. Такий спосіб стабілізації має ряд переваг [5]:

1. Краща якість стабілізації на низькочастотних збуреннях (яким, по суті, і є хитавиця судна);
2. Відсутність жорстких вимог до контуру стабілізації (часто немає потреби використовувати коригуючий пристрій).

Як недоліки такого гіростабілізатора слід відзначити його неефективність при великих моментах інерції платформи, а також те, що для нього небезпечні збурення, близькі до нутаційної частоти.

При використанні вимірювальної головки ехолота масою $m_g = 0,8$ кг, достатньо застосування гіростабілізатора з двигунами середньої потужності, що здатен створити момент порядку 2–3 Н·м.

Точність стабілізації вимірювальної головки повинна бути не гірше, ніж 1° – 2° (бажано від $0,5^{\circ}$ до 1° , що забезпечить при рівному дні похибку від хитавиці не більше 0,03%). З точки зору забезпечення мінімальної похибки важливо гарантувати, щоб похибка стабілізації при хитавиці складала не більше $0,5^{\circ}$.

Розрахунок ГС за стандартною методикою з [5] гарантує забезпечення максимального значення похибки стабілізації не вище заданої лише в стаціонарному режимі його роботи, динамічну ж похибку зазвичай при проектуванні та випробуваннях пристрою просто не враховують. Для того, щоб гарантувати, що і статична, і динамічна похибка ГС не перевищать задану величину, автором рекомендовано для синтезу контурів гіростабілізатора використати методику синтезу астатичних систем стабілізації, запропоновану в [6]. Суть методики полягає у приведенні характеристик системи до виду, що відповідає динаміці певної еталонної системи. Синтезована за описаною в [6] методикою система керування має при дії заданої величини збурюючого моменту динамічну похибку не більше заданої при розрахунках, чого достатньо для системи стабілізації вимірювальної головки, задача якої – відпрацювання кутів повороту платформи відносно інерційного простору в нуль.

Використання вимірювальної головки з електронною стабілізацією променя. Найбільш ефективним з точки зору точності видається використання вимірювальної головки з електронною стабілізацією променя. Такого роду головка має високу точність стабілізації променя та високу швидкодію, що дозволяє ефективно відпрацювати будь-яку хитавицю та інші несприятливі впливи.

Вказані переваги головки з електронною стабілізацією досягаються за рахунок по-перше, використання складної багатокомпонентної конструкції випромінювача, і, по-друге, достатньо дорогої електроніки стабілізації променя. Тому недоліком такої головки є перш за все її висока вартість. Крім того, для стабіліза-

ції променя необхідно подавати на ехолот інформацію про кутове положення судна від зовнішніх джерел (наприклад, з курсовертикалі).

Ще одним шляхом підвищення точності є використання системи бокового огляду або багатопроменевого ехолота з внесенням під час вимірювання поправок, розрахованих, наприклад, за формулами, запропонованими Голодовим, або ж за формулою

$$h = h_1 + \Delta h = h_1 + h_1(\cos\phi\cos\theta - 1), \quad (3)$$

яку легко отримати з (1) та (2), і в якій $\Delta h = h_1(\cos\phi\cos\theta - 1)$ – оцінка абсолютної похибки вимірювання глибини на рівному дні.

Недоліком такої методики є те, що обчислення та компенсацію похибки повинен в реальному часі проводити або сам ехолот, або пристрій, що реєструє сигнал, причому для проведення корекції необхідно мати поточні дані про кути крену та диференту на момент вимірювання. Це не лише ускладнює конструкцію ехолота та програмне забезпечення, а й, знов-таки, вимагає встановлення на судні курсовертикалі. Внаслідок цього застосування на малих гідрографічних судах подібних методик є просто недоцільним з економічної точки зору: встановлення курсовертикалі та ехолота з електронною стабілізацією є достатньо дорогим, і більш доцільним видається використання гіростабілізації вимірювальної головки.

5. Висновки

В роботі проаналізовано вплив хитавиці на точність вимірювань даних глибини за допомогою однопроменевого ехолота. З наведених даних видно, що похибка вимірювання глибини від хитавиці в залежності від кутів крену та диференту може скласти на рівному дні до 3,1% (при реальному профілю дна ця похибка зростає); для забезпечення прийнятної для точних вимірювань похибки (не більше 0,1%) допустима амплітуда хитавиці повинна скласти не більше 2°.

В роботі також розглянуто три основних методи зменшення впливу хитавиці: використання заспокоювачів хитавиці, гіростабілізованої вимірювальної головки ехолота та електронної стабілізації променя ехолота. На снові проведеного аналізу з точки зору зменшення акустичних завад та забезпечення економічної ефективності найбільш доцільним видається використання на малих гідрографічних судах гіростабілізації вимірювальної головки ехолота. Автором запропоновано схему встановлення гіростабілізованої головки на судні, а також вибрано та рекомендовано методику синтезу гіростабілізатора.

Напрямок подальших досліджень може стати реалізація рекомендованої методики в реальному приладі та його випробування при проведенні вимірювань в умовах експлуатації.

Література

1. Корякін, А. Деякі питання створення навігаційного комплексу для промірних робіт і площинних зйомок [Текст] / А. Корякін, С.Іванов // Вісник Держгідрографії. – 2003. – № 3. – с. 2 – 3.
2. Створення новітніх засобів забезпечення навігаційної безпеки рухомих об'єктів [Текст]: звіт про НДР (заклучний) / КДАВТ ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного; керівник В.І. Воробей; викон.: С.В. Іванов [та ін.] – К., 2011. – 128 с. – Бібліогр.: с. 106-108. – № ДР 0211U013458 – Інв. № 0211U013458
3. Голодов, Н. Ф. Влияние качки, рыскания и скорости судна на точность измерения глубин [Текст] / Н.Ф. Голодов // Судовождение, 2007. – вып. 13 – с. 79-87.
4. Успокоители качки судов [Текст] / [А.Н. Шмырев, В. А. Мореншильдт, С. Г. Ильина [и др.] – Л.: Судостроение, 1980. – 478 с.
5. Бороздин, В.Н. Гирскопические приборы и устройства систем управления. [Текст] / В.Н. Бороздин – М.: «Машиностроение», 1990. – 272 с.
6. Рыжков, Л.М. О синтезе астатических систем стабилизации [Текст] / Л.М. Рыжков, С.В. Иванов // Механика гироскопических систем. – 1997 – №14 – с. 140-147.

Abstract

In order to ensure accuracy of depth measurements on small hydrographic ships in the paper an analysis of errors in depth measurements, taken with a one-beam echosounder under ship rolling and pitching is made, along with the comparison of methods used to decrease the impact of pitching and rolling on the accuracy of those measurements. Data obtained as a result of the analysis made indicate that depth measurement error induced by ship pitching and rolling depending on pitch and roll angles can take on a value up to 3,1% on a flat bottom; in order to ensure that error value is acceptable for precise measurements, the magnitude of pitching and rolling angles should be less than 2°. On a basis of the comparison of three basic methods used to decrease impact of pitching and rolling on depth measurements (i.e. using of ship stabilizers, gyrostabilization of echo sounder measurement head and electronic stabilization of an acoustic beam) it's evident, that in the view of cost-effectiveness and acoustic noise reduction, use of a gyrostabilized echo sounder measurement head is optimal for small hydrographic ships. In the paper author proposes the scheme of mounting of such a head on the ship, and also recommends the method for gyrostabilizer synthesis

Keywords: echosounder, depth measurement accuracy, rolling, pitching, gyrostabilization