

УДК 681.883.482

© С.Т. Барась, к.т.н., доцент, декан факультету
медико-біологічного та електронного приладобудування;
О.В. Онищук, к.т.н., старший викладач

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця (Україна)

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕНЬ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЛАГА

Запропонована процедура обчислень для визначення значень складових вектора швидкості судна з одночасним введенням поправок на кути відхилень системи променів характеристик спрямованості. Особливість полягає у тому, що кути визначаються власне доплерівським лагом з використанням отриманих доплерівських зсувів у кожному циклі випромінювання-прийому. У статті наведені розрахункові залежності та обґрунтування доцільності таких обчислювальних процедур.

ЕХО-СИГНАЛ, ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ЛАГ, ХАРАКТЕРИСТИКА СПРЯМОВАНOSTІ,
ГІДРОАКУСТИЧНА АНТЕНА, ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ЗСУВ, ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ

Сфера застосування гідроакустичних доплерівських лагів – широкий клас надводних та підводних суден, а також різноманітних за призначенням глибоководних апаратів. У загальному випадку умови їх плавання охоплюють широкий спектр зовнішніх факторів, які тією чи іншою мірою впливають на функціонування доплерівського лага, а саме – на точність вимірювання складових вектора швидкості та пройденої дистанцію.

Відокремимо з усього спектру зовнішніх факторів ті з них, які впливають на просторову орієнтацію променів характеристики спрямованості (ХС) антен. Найбільш очевидними можна назвати такі:

- хитавиця носія, яка відноситься до динамічних впливів на просторову орієнтацію променів;
- статичні крен та диферент судна, які на відміну від хитавиці необхідно розглядати як повільно-змінні функції часу (сюди віднесемо також зміну кутів нахилу носія, яка викликається дією вітру певного напрямку);
- негоризонтальність площини випромінювання гідроакустичної антени доплерівського лага, що є результатом похибки її встановлення.

Видно, що спільним для цих дестабілізуючих факторів є вплив на положення променів ХС. Чисельно цей вплив будемо визначати як кут між вертикаллю і нормаллю до робочої площини гідроакустичної антени, ψ . Зрозуміло, що доплерівський лаг виконує точні вимірювання складових вектора швидкості лише за умови ідеальної правильної орієнтації ХС, тобто за умови $\psi = 0$. В іншому випадку з'являються помилки. Якщо мати на увазі, що янусна ХС є строго симетрична відносно нормалі до площини випромінювання антени, то буде очевидним твердження про те, що всі відхилення від ідеальної просторової орієнтації променів ХС будуть відображатися на доплерівських зсувах частоти в окремих сигналах по цих променях. Мова йде про те, що для ідеальної орієнтації ХС доплерівські зсуви у сигналах протилежних променів мають бути однакові за значенням, але протилежні за знаком. Якщо цю ідеальність порушити, то в сигналі по одному променю виявиться більше по модулю значення доплерівського зсуву, в іншому – менше. Іншими словами, інформація про просторове відхилення променів фактично міститься в доплерівських зсувах. Саме тому існує можливість в реальному часі визначити кут відхилення нормалі ψ і оперативно внести

поправку в формулу для визначення складової вектора швидкості, забезпечивши тим самим збільшення точності вимірювань основного параметра.

Перш ніж перейти до розрахункових співвідношень, прийемо розташування променів «янусної» ХС діаметрально-траверзним і принагідно зазначимо, що розгляд будемо вести для однієї складової швидкості. Для спрощення будемо також вважати, що переважаючий вплив має відхилення нормалі у площині розташування променів ХС, тобто для поздовжньої складової – диферент, а для поперечної – крен.

Формула для визначення i -го значення складової вектора швидкості за результатом i -го циклу випромінювання-прийому [1]:

$$V_i = \frac{cF_{\partial i}}{4f_0 \cos \alpha_0 \cos \psi_i}, \quad (1)$$

де c – швидкість звуку у воді,

f_0 - робоча частота доплерівського лага,

α_0 - кут нахилу променів ХС від горизонту,

ψ_i - кут відхилення нормалі робочої площини антени в середині тривалості i -го циклу випромінювання-прийому,

$F_{\partial i}$ - сумарний доплерівський зсув в i -му циклі випромінювання-прийому, який визначається за таким алгоритмом (для поздовжньої складової):

$$F_{\partial i} = |F_{1\partial i}| + |F_{3\partial i}|;$$

$$F_{1\partial i} = f_{1\text{нпi}} - f_0;$$

$$F_{3\partial i} = f_{3\text{нпi}} - f_0,$$

де $f_{1\text{нпi}}$ і $f_{3\text{нпi}}$ - частоти заповнення ехо-сигналів доплерівського лага, прийнятих відповідно першим і третім променями ХС антени в i -му циклі випромінювання-прийому.

Як видно, в наявності всі дані для визначення i -го значення складової вектора швидкості, окрім кута ψ_i . Зрозуміло, що без введення поправки на цей кут, тобто за умови прийняття $\psi_i = 0$, обчислення за формулою (1) дасть занижений результат.

В [2] зазначається, що лаг може реалізувати додаткові функціональні можливості, зокрема, забезпечити визначення статичних значень крену (диференту) судна. Початкова інформація для цього міститься в співвідношенні між доплерівськими зсувами в ехо-сигналах протилежних променів ХС антени. Для цього, зрозуміло, повинен використовуватися значний інтервал усереднення інформації. Скористаємося наведеними в [2] формулами, застосувавши їх для обчислень у кожному i -му циклі випромінювання-прийому.

Отже, після визначення доплерівських зсувів $F_{1\partial i}$ та $F_{3\partial i}$ обчислюється їх відношення і визначається додатковий коефіцієнт:

$$a_i = \frac{|F_{1\partial i}|}{|F_{3\partial i}|}. \quad (2)$$

Зазначимо, що наведене відношення доплерівських зсувів є інтегральним показником. Цей коефіцієнт інтегрально містить у собі сукупну дію всіх факторів, які впливають на відхилення нормалі до поверхні антени від вертикалі, тобто які формують кут ψ_i . З точки зору введення поправки на швидкість такий стан речей слід визнати цілком сприятливим.

Використовуючи отримане відношення (2), можна знайти у кожному циклі значення кута ψ_i :

$$\psi_i = \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg} \alpha_0 \frac{1 - a_i}{1 + a_i} \right]. \quad (3)$$

Таким чином, остаточні розрахунки за формулою (1) у кожному i -му циклі випромінювання-прийому слід виконувати з урахуванням формули (3).

Наведемо деякі міркування стосовно викладеного алгоритму.

По-перше, зазначимо, що очевидне ускладнення розрахунків не є критичним з урахуванням можливостей сучасної елементної бази. Важливим параметром цифрового обчислювального пристрою у цьому контексті слід визнати його швидкодію, оскільки необхідно забезпечити мінімальний вплив обчислювальних процедур на часову діаграму роботи лага.

По-друге, вимірювання доплерівських зсувів в ехо-сигналах обох променів не дає абсолютно точних результатів. Це означає, що існує похибка у визначенні кутів ψ_i . Зрозуміло також, що застосовувати процедуру усереднення до кута ψ_i неможливо, оскільки цей кут містить, як правило, динамічну складову. Очевидно, усереднюватися будуть лише сукупні значення складової вектора швидкості і опосередковано – кути ψ_i . Виникає питання, як зміниться дисперсія розрахункових значень складової вектора швидкості, якщо має місце спільна дія однакових за значенням і знаком флуктуацій частоти в ехо-сигналах на сумарний доплерівський зсув і одночасно – на кут відхилення нормалі ψ_i . Розглянемо це питання детальніше.

Розрахунки у кожному циклі випромінювання-прийому виконуються з використанням отриманих значень доплерівських зсувів. Одні і ті ж їх значення визначають як сумарний доплерівський зсув F_{oi} , так і кут відхилення ψ_i . Саме тому доцільно проаналізувати сукупний вплив на значення складової V_i корельованих одночасних змін доплерівського зсуву F_{oi} і кута відхилення ψ_i без складного імовірнісного підходу. Наведемо можливі варіанти.

1. Має місце похибка вимірювання доплерівського зсуву частоти, причому ця похибка збільшує лише одне із значень: $F_{1\text{oi}}$ або $F_{3\text{oi}}$. У цьому випадку збільшується сумарний доплерівський зсув F_{oi} , збільшується розрахункове значення кута ψ_i , отже, збільшується у порівнянні з випадком без урахування цього кута відхилення (дисперсія) кінцевого параметру – значення швидкості V_i . Можна говорити, що для такого випадку створюється асиметрія дисперсії в бік збільшення швидкості.

2. Відбувається одночасна зміна доплерівських зсувів $F_{1\text{oi}}$ та $F_{3\text{oi}}$ (по модулю) в бік збільшення або зменшення по відношенню до їх ідеальних значень. У цьому випадку відношення (2) практично залишиться без змін, тому і значення кута ψ_i виявляється без

впливу цих похибок, тобто визначається практично точно. У підсумку це означає, що на похибку вимірювання швидкості V_i мають вплив безпосередньо значення доплерівських зсувів, а поправка на кут відхилення ψ_i вводиться правильно.

3. За рахунок похибки зменшується лише одне із значень доплерівських зсувів: F_{1oi} або F_{3oi} . Тоді зменшується сумарний доплерівський зсув F_{oi} і з цієї причини зменшується розрахункове значення складової вектора швидкості V_i , як це видно з формули (1). У той же час, як показують формули (2, 3), розрахункове значення кута ψ_i може збільшуватися і завдяки наявності поправки на нього однозначно збільшується значення V_i . Можна стверджувати, що поправка на кут ψ_i компенсує похибку у потрібному напрямку, покращуючи точність вимірювань основного параметра.

4. Якщо результатом впливу різноманітних дестабілізуючих факторів є зменшення доплерівського зсуву в ехо-сигналі одного променя і одночасне збільшення в ехо-сигналі іншого, але сумарний доплерівський зсув, який використовується у розрахунках (1), залишився без змін, то введення поправки на кут ψ_i збільшить розрахункове значення складової вектора швидкості, але за умови наявності кута відхилення ψ_i ця поправка покращує підсумкову точність вимірювання основного параметра.

Наведений на якісному рівні аналіз дає можливість стверджувати, що введення поправки на кут відхилення нормалі до робочої поверхні антени від вертикалі з використанням отриманих при роботі лага даних про доплерівські зсуви дає у цілому позитивні результати по покращенню точності вимірювання складових вектора швидкості гідроакустичним доплерівським лагом.

Література

1. Гидроакустические навигационные средства [Бородин В.И., Смирнов Г.Е., Толстяков Н.А., Яковлев Г.В.]. – Л.: Судостроение, 1983. – 262 с.
2. Барась С.Т. Прикладні аспекти побудови гідроакустичних доплерівських лагів / Барась С.Т.-Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2008. - 241 с.

Стаття надійшла до редакції 11 грудня 2012 р. українською мовою

© С.Т. Барась, О.В. Онищук
**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ
ВЫЧИСЛЕНИЙ ДОПЛЕРОВСКОГО ЛАГА**

Предложена процедура вычислений для определения значений составляющих вектора скорости судна с одновременным введением поправок на углы отклонений системы лучей характеристик направленности. Особенность состоит в том, что углы определяются собственно доплеровским лагом с использованием полученных доплеровских сдвигов в каждом цикле излучения-приема. В статье приведены расчетные зависимости и обоснование целесообразности таких вычислительных процедур.

© Svyatoslav T. Baras, Oleg V. Onysheuk
IMPROVED ALGORITHMS COMPUTING THE DOPPLER LAG

The proposed procedure of calculations to determine the values of the components of the velocity vector of the ship while the introduction of amendments to the angle deviations of the rays directional characteristics. The peculiarity lies in the fact that the angles determined actual Doppler lag obtained using Doppler shifts in each cycle emission-reception. This article presents the calculated dependence and rationale of such computational procedures.