

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІДРОАКУСТИЧНОГО ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЛАГА В УМОВАХ ШВАРТУВАННЯ СУДНА

Вступ

Надзвичайно важливим і відповідальним етапом плавання є швартування судна. Під час виконання швартовних операцій крупнотонажними суднами лагу надається чи не найважливіша роль, оскільки тільки з його допомогою можна отримати об'єктивну інформацію про швидкість судна і, відповідно, про швидкість його зближення з пірсом. Хоча сам термін «швартування» стосується безпосередньо судна, але прийнято режим лага, який працює в таких умовах, також називати цим терміном — режим швартування. В ширшому розумінні — це режим функціонування лага в умовах мілини з насиченістю водяного середовища повітряними бульбашками, неоднорідностями, підняттями мулу, тощо. Незвичайність функціонування лага в таких умовах обумовлена високим рівнем об'ємної реверберації (значним коефіцієнтом зворотного об'ємного розсіювання, що досягає мінус 10—20 дБ) [1] та додатковим згасанням сигналу під час його поширення до дна і в зворотному напрямку.

Постановка задачі

Експериментально [2] в умовах роботи лага під час швартування судна встановлено, що через особливості водяного середовища при випроміненому імпульсному сигналі вхідний луно-сигнал лага може мати вигляд одного з таких різновидів процесів:

- неперервний процес, який не має ні часового, ні амплітудного розділення між сигналом об'ємної реверберації та донним луно-сигналом;
- неперервний процес з дещо вираженим амплітудним розділенням сигналу об'ємної реверберації і донним луно-сигналом, але без часового інтервалу між ними;
- процес, в якому чітко відмежовані певним часовим інтервалом сигнал об'ємної реверберації і донний луно-сигнал.

Для перших двох різновидів процесів виділити корисний луно-сигнал звичайними методами, якими користуються під час роботи лага в умовах глибокого моря, неможливо. А оскільки переважна більшість реалізацій в умовах швартування виявляються саме такими, то для забезпечення надійного функціонування лага в цьому випадку потрібний спеціальний алгоритм роботи. Основне завдання при створенні такого алгоритму — забезпечення виконання вимірювальних процедур апаратурою лага тільки протягом тієї частини суцільного ревербераційного процесу, яка відноситься до донного луно-сигналу. Іншими словами необхідно знайти критерії, за якими можна було б відокремити донний луно-сигнал від сигналу об'ємної реверберації.

Зменшення тривалості й інтенсивності сигналу об'ємної реверберації і, відповідно, створення часового інтервалу між ним та донним луно-сигналом можна досягти за рахунок зменшення тривалості імпульсів, що випромінюються антеною лага. Однак такий шлях не може бути застосований в гідроакустичних доплерівських лагах як мінімум з двох причин, причому обидві вони ведуть до погіршення точності вимірювання параметрів руху носія. По-перше, у разі надто коротких імпульсів виявляється великою похибка вимірювання доплерівських зсувів вимірювальною схемою лага, по-друге, — погіршуються умови формування луно-сигналу озвученою ділянкою дна в межах характеристики спрямованості антени [3].

Існує точка зору, згідно з якою, навпаки, в умовах мілини доцільно застосовувати не імпульсний, а неперервний режим роботи лага [4]. При цьому вважається, що зменшення робочої глибини, яке потребує також і зменшення необхідної потужності випромінювання, дає суттєве зменшення прямого проходження сигналу з передавального тракту лага в приймальний. Це, на думку

авторів, підвищить у важких умовах швартування точність вимірювання доплерівських зсувів частоти. Але практика експлуатації таких лагів в реальних умовах показала, що «небезпека» захована в іншому. Справа в тому, що таке технічне рішення не дозволяє отримати достовірну інформацію про абсолютну швидкість руху, хоча і забезпечує практично неперервне приймання та обробку сигналу. В першу чергу це пов'язане з високим рівнем об'ємної реверберації, яка перевищує на значних часових інтервалах інтенсивність донного луно-сигналу. Крім цього, якщо мова йде про швартування судна, то реверсивна робота гвинтів спонукає значні швидкості руху об'ємних розсіювачів, які і формують сигнал об'ємної реверберації. Отже, відносно них і вимірюється швидкість судна, тобто результати вимірювань не є об'єктивними. Таким чином, з неперервним режимом роботи лага має місце спотворення сигналу абсолютної швидкості судна.

Отже, якісний аналіз функціонування доплерівського лага в умовах мілини і, зокрема, під час швартування судна показує, що визначальним моментом тут слід вважати забезпечення можливості стійкої прив'язки до донного луно-сигналу або, іншими словами, виділення апаратурою лага з неперервного вхідного процесу тієї його частини, яка обумовлена розсіюванням сигналу поверхнею дна. Очевидно, що в таких умовах роботи це не повністю виключає вплив об'ємної реверберації на точнісні характеристики лага, якщо її рівень сумірний з рівнем донного луно-сигналу. Тобто для вимірювання абсолютної швидкості носія забезпечення часової селекції скоріше можна розглядати як умову необхідну, але не достатню. Але саме такий підхід є цілком обґрунтованим і найочевиднішим. Тепер розглянемо це питання докладніше.

Теоретичне обґрунтування

Викладення теоретичного підґрунтя для розробки ефективного алгоритму роботи лага в режимі швартування почнемо з аналізу механізму формування вхідного сигналу.

Інтенсивність об'ємної реверберації в точці приймання описується таким аналітичним виразом [5]:

$$I_{\text{рев}} = \int_V \frac{\alpha_p W_{\text{ак}} K_a R_1^2(\alpha, \theta) R_2^2(\alpha, \theta) e^{-4\beta r}}{16\pi^2 r^4} dV, \quad (1)$$

де α_p — коефіцієнт об'ємної реверберації; $W_{\text{ак}}$ — акустична потужність сигналу, що випромінюється; K_a — коефіцієнт концентрації передавальної антени; $R_1(\alpha, \theta)$, $R_2(\alpha, \theta)$ — характеристики спрямованості передавальної та приймальної антен; β — коефіцієнт згасання звуку; r — відстань від джерела звуку.

Обчислення інтегралу (1) для випадку об'ємної реверберації в обмеженому об'ємі доцільно виконати таким чином:

$$I_{\text{рев}} = I_1 - I_2, \quad (2)$$

$$\text{де } I_1 = \int_{r_0}^{r_0 + \frac{c\tau}{2}} \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\alpha_p W_{\text{ак}} K_a R_1^2(\alpha, \theta) R_2^2(\alpha, \theta) e^{-4\beta r}}{16\pi^2 r^2} dr d\alpha \cos\theta d\theta; \quad (3)$$

$$I_2 = \int_H^{r_0 + \frac{c\tau}{2}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\arccos \frac{H}{r}} \frac{\alpha_p W_{\text{ак}} K_a R_1^2(\alpha, \theta) R_2^2(\alpha, \theta) e^{-4\beta r}}{16\pi^2 r^2} dr d\alpha \cos\theta d\theta, \quad (4)$$

H — глибина акваторії; c — швидкість звуку у воді; τ — тривалість імпульсу випромінювання.

Згідно з [4] вирази (3) і (4) мають такі розв'язки:

$$I_1 = \frac{\alpha_p W_{\text{ак}} \eta_0}{4\pi} \int_{r_0}^{r_0 + \frac{c\tau}{2}} \frac{e^{-4\beta r}}{r^2} dr = \frac{\alpha_p W_{\text{ак}} \eta_0}{4\pi} \left[-\frac{e^{-4\beta r}}{r} - 4\beta E_i(-4\beta r) \right] \Bigg|_{r_0}^{r_0 + \frac{c\tau}{2}}; \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{\alpha_p W_{ак} K_a R_1^2(\alpha, \theta) R_2^2(\alpha, \theta)}{8\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_0 + \frac{c\tau}{2}} \right)^2} \left[-\frac{e^{-4\beta r}}{r} - 4\beta E_i(-4\beta r) \right] \Bigg|_H^{r_0 + \frac{c\tau}{2}}, \quad (6)$$

де η_0 — коефіцієнт, що враховує спрямовуючі властивості приймально-передавальної антенної системи; E_i — інтегральна степенева функція; $c\tau = H/\cos\theta_0$ — просторова довжина імпульсу; θ_0 — кут нахилу променя характеристики спрямованості, відрахований від вертикалі.

Для подальших міркувань звернемося до результатів експерименту, який показав, що за умови правильно вибраної тривалості імпульсу τ (меншої часу поширення сигналу до дна) середнє значення амплітуди донного луно-сигналу, як правило, не нижче амплітуди сигналу об'ємної реверберації у зоні переднього фронту луно-сигналу. Отже, зменшуючись відповідно до (1) протягом тривалості донного луно-сигналу, рівень об'ємної реверберації виявляється нижчим за амплітуду корисного сигналу. Таким чином, виникають передумови для отримання точного значення абсолютної швидкості судна.

В загальному випадку в реальних умовах роботи співвідношення (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації) у зоні переднього фронту луно-сигналу величина не стала. Тому важливо оцінити динаміку цього співвідношення в різних точках луно-сигналу протягом його існування, тобто на інтервалі $[0, \tau]$. Припустивши для спрощення, що амплітуда луно-сигналу в певному циклі випромінювання-приймання незмінна, і прийнявши для визначеності величину співвідношення (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації) для переднього фронту луно-сигналу рівною одиниці, визначимо вказане співвідношення для таких точок луно-сигналу: $0,25\tau$; $0,5\tau$; $0,75\tau$; τ . Результати розрахунків показані у таблиці.

Результати розрахунків співвідношення (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації) в різних точках луно-сигналу

Н, м	0	$0,25\tau$	$0,5\tau$	$0,75\tau$	τ
5	$\frac{0,1285}{1,0}$	$\frac{0,0647}{1,98}$	$\frac{0,0347}{3,7}$	$\frac{0,0181}{7,1}$	$\frac{0,0073}{17,8}$
10	$\frac{0,068}{1,0}$	$\frac{0,0341}{2,0}$	$\frac{0,0182}{3,7}$	$\frac{0,0094}{7,2}$	$\frac{0,0037}{18,5}$
20	$\frac{0,0356}{1,0}$	$\frac{0,0177}{2,0}$	$\frac{0,0091}{3,9}$	$\frac{0,0044}{8,1}$	$\frac{0,0015}{23,8}$
30	$\frac{0,0239}{1,0}$	$\frac{0,0113}{2,1}$	$\frac{0,0058}{4,1}$	$\frac{0,0025}{9,6}$	$\frac{0,0003}{83,3}$

В таблиці наведені значення рівня об'ємної реверберації (чисельник) у вказаних точках луно-сигналу та відношення інтенсивностей (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації) в цих же точках (знаменник). Розрахунки виконувалися за формулами (2), (5) і (6) для $\theta_0 = 30^\circ$, $\beta = 0,006$ неп/м і чотирьох значень глибини. Величина коефіцієнта згасання звуку β відповідає експериментальним даним для мілини та діапазону частот, який використовується в лагах під час їх роботи в режимі швартування [1].

Практичне використання

Аналіз виконаних розрахунків показує, що зі збільшенням глибини і з наближенням до заднього фронту луно-сигналу співвідношення (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації) збільшується. Отже, вимірювальний строб повинен бути розташований якомога ближче саме до заднього фронту луно-сигналу. Враховуючи при цьому також і механізм формування луно-сигналу внаслідок явища розсіювання дном у межах променя характеристики спрямованості [4], слід, очевидно, віддати перевагу процедурі вимірювання доплерівського зсуву в межах від середини луно-сигналу до його заднього фронту. Перевищення корисного сигналу над об'ємною реверберацією у першій половині імпульсу виявляється, згідно з розрахунками (див. таблицю 1), незначним, але флуктуаційний характер корисного сигналу і реверберації, а також несталість умов поширення сигналу дають підстави стверджувати, що у багатьох випадках це перевищення буде більшим. Про це, зокрема, говорять і

результати спостережень за роботою лага в умовах сильного насичення водяного середовища бульбашками повітря [6].

Таким чином, алгоритм функціонування доплерівського лага в умовах міліни і швартування судна повинен забезпечити на практиці часову селекцію донного луно-сигналу навіть в разі суцільного ревербераційного процесу. Такий алгоритм розроблений [2], а його суть полягає в наступному.

У циклі роботи лага, який передує даному, вимірюється часовий інтервал між задніми фронтами випроміненого імпульсу та донного луно-сигналу. При цьому виходимо з тієї об'єктивної реальності, що задній фронт донного сигналу завжди існує (на відміну від переднього, який маскується сигналом об'ємної реверберації) і апаратурою лага його можна зафіксувати. З використанням отриманого таким чином часового інтервалу у даному циклі роботи формується вимірювальний строб, часова орієнтація якого відповідає вищенаведеним результатам теоретичних досліджень, тобто він розташовується в межах другої половини донного сигналу. Тривалість вимірювального стробу приблизно у два рази менша від тривалості імпульсу, що випромінюється. Це забезпечує виключення з обробки «неякісних» ділянок луно-сигналу і дає можливість ефективно функціонувати лагу з нахилами дна до 25° .

Висновки

Проведені теоретичні дослідження показують, що існує реальна можливість забезпечення точного вимірювання параметрів руху судна в умовах міліни і навіть у тих випадках (при незначних глибинах), коли середовище поширення ультразвукових хвиль є надзвичайно несприятливим для формування донного луно-сигналу. В таких умовах перешкоджаючим фактором є сигнал об'ємної реверберації. Вирішення проблеми нормального функціонування доплерівського лага полягає в першу чергу у використанні імпульсного режиму, який дозволяє оптимізувати часову діаграму його роботи таким чином, що процедура вимірювання доплерівських зсувів відбувається в межах тієї частини донного луно-сигналу, для якої має місце найбільше співвідношення (донний сигнал)/(сигнал об'ємної реверберації). Існує практична реалізація такого підходу [2], причому надійність функціонування лага в умовах міліни і швартування судна підтверджена експериментально.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковлев А. Н., Каблов Г. П. Гидролокаторы ближнего действия. — Л.: Судостроение, 1983. — 200 с.
2. А. с. 256961 СССР. Измеритель абсолютной скорости / С. Т. Барась, А. П. Мартынюк и др. Оpubл. 1987.
3. Барась С. Т., Костюк О. А., Лободзінська Р. Ф. Оптимізація часової діаграми роботи гідроакустичного доплерівського лага // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах — 2002. — № 2. — С. 87—91.
4. Гидроакустические навигационные средства / В. И. Бородин, Г. Е. Смирнов, Н. А. Толстякова, Г. В. Яковлев. — Л.: Судостроение, 1983. — 262 с.
5. Шашкевич А. П. Акустика моря. — Л.: Судостроение, 1966. — 322 с.
6. Виноградов К. А., Сковородников А. В. Современное состояние и перспективы развития отечественных и зарубежных измерителей скорости и глубины под килем. Аналитический обзор сост. — СПб.: Гос. НИИГИ МО РФ, 1998. — 34 с.

Рекомендована кафедрою проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Надійшла до редакції 2.03.04
Рекомендована до друку 6.04.04

Барась Святослав Тадіонович — доцент кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Вінницький національний технічний університет