

УДК 681.883.41

ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ЧАСОВОЇ ДІАГРАМИ РОБОТИ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЛАГА

© С.Т. Барась, Аль-Діламі Ахмед Алі Абдуллах, 2009

Вінницький національний технічний університет

У статті розглянуті питання адаптації періоду випромінювання сигналу і його тривалості до умов плавання та структури ехо-сигналу гідроакустичного доплерівського лага. З урахуванням консервативності періоду випромінювання для цілей адаптації основна увага зосереджена на тривалості випроміненого сигналу. В результаті дослідження отримані аналітичні залежності для оптимальної тривалості випромінювання гідроакустичного сигналу доплерівського лага. В якості критерію оптимізації прийнята мінімальна похибка вимірювання складових вектора швидкості судна. Для пошуку оптимального розв'язання враховувалися такі фактори: змінність частоти заповнення доплерівського сигналу в умовах хитами носія, тривалість формування ехо-сигналу при похилому промені, а також вплив співвідношення сигнал/завада та тривалості ехо-сигналу на точність вимірювання доплерівських зсувів.

В статье рассмотрены вопросы адаптации периода излучения сигнала и его длительности к условиям плавания и структуре эхо-сигнала гидроакустического доплеровского лага. В связи с консервативностью периода излучения для целей адаптации основное внимание уделено длительности излученного сигнала. В результате исследования получены аналитические зависимости для оптимальной длительности излучения гидроакустического сигнала доплеровского лага. В качестве критерия оптимизации принята минимальная погрешность измерения составляющих вектора скорости судна. При поиске оптимального решения учитывались такие факторы: изменчивость частоты заполнения доплеровского сигнала в условиях качки носителя, время формирования эхо-сигнала при наклонном луче, а также влияние соотношения сигнал/помеха и длительности эхо-сигнала на точность измерения доплеровских сдвигов.

The article deals with the questions of adaptation period of the radiation signal and its duration to the conditions of navigation and structure of the echo-signal of Doppler's lag. Given the conservatism of the period of radiation for the purpose of adaptation, the duration of the emitted signal is in focus. The study obtained analytical dependencies for the optimal duration of radiation of Doppler's lag sonar signal. As an optimization criterion adopted by the minimum error in measuring the velocity components of the vessel. When searching for the optimal solution the following factors have been considered: variation frequency of the Doppler signal in a rolling vehicle, time of echo formation at oblique ray, as well as the influence of the signal to noise ratio and duration of the echo-signal on the accuracy of the Doppler shifts.

ГІДРОАКУСТИЧНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ЛАГ, АДАПТАЦІЯ, ЕХО-СИГНАЛ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЧАСОВА ДІАГРАМА

Доцільність і необхідність постановки питання про адаптацію часової діаграми роботи гідроакустичного доплерівського лага до умов плавання та структури ехо-сигналу впливає з аналізу похибок вимірювання складових вектора швидкості [1]. Зазначимо, що будуть розглядатися диференційовано два параметри часової діаграми: період випромінювання сигналу та тривалість випроміненого сигналу. Перш ніж перейти до розв'язання проблеми адаптації, охарактеризуємо в загальних рисах підходи щодо вибору значень цих параметрів часової діаграми в реальних умовах роботи лага. При цьому з'ясуємо, зокрема, вплив параметрів часової діаграми роботи лага на похибки вимірювання швидкості судна.

Спочатку про період випромінювання сигналу. Справа у тому, що головним чинником, який впливає на цей параметр часової діаграми, є глибина акваторії. Саме глибина і кут нахилу променів характеристики спрямованості (ХС) антени визначають час поширення сигналу до дна і в зворотному напрямку і тому однозначно впливають на період випромінювання сигналу. Отже, цей параметр часової діаграми виявляється адаптивним до

умов плавання за визначенням, але не вважається придатним для процедури оптимізації з метою покращення вибраної цільової функції. З цієї точки зору період випромінювання можна назвати «адаптивно-консервативним», тобто таким параметром, значення якого цілком підпорядковане часу поширення сигналу, але в певних межах може змінюватися залежно від швидкодії пристроїв обробки інформації.

По-іншому належить розглядати другий параметр часової діаграми – тривалість імпульсу випромінювання. Його значення може бути оптимізованим, оскільки від тривалості імпульсу, що випромінюється, залежить тривалість інтервалу вимірювання частоти заповнення. В свою чергу, тривалість інтервалу вимірювання впливає на значення похибки вимірювання частоти. Саме тому задекларована адаптація часової діаграми передбачає одночасно з вищенаведеним зв'язком періоду випромінювання з глибиною акваторії також оптимізацію тривалості сигналу випромінювання за критерієм мінімуму похибки вимірювання частоти (швидкості об'єкту плавання). Очевидно, результати оптимізації тривалості імпульсу можуть бути такими, що не "впишуться" в період випромінювання на певних глибинах роботи лага (це стосується гранично малих глибин). Тоді пріоритет повинен віддаватися періоду, а не тривалості імпульсу, тобто тривалість імпульсу буде не оптимальною, а деякою функцією глибини акваторії. Але логічно припустити, що знайдуться і такі глибини, на яких зможе бути застосована оптимальна тривалість випромінювання. Отже, адаптованою будемо вважати таку часову діаграму роботи доплерівського лага, в якій період випромінювання визначається глибиною акваторії, а тривалість імпульсу, що випромінюється, є або оптимальною за критерієм мінімальної похибки вимірювання швидкості, або близькою до оптимальної у випадку малих робочих глибин лага. Перейдемо, власне, до розв'язання питання оптимізації тривалості імпульсу випромінювання.

Уже зазначалося, що тривалість імпульсу випромінювання (інтервалу вимірювання) є одним з основних чинників, які впливають на значення похибок вимірювання швидкості. Це впливає з попередніх досліджень [1], де показано, що на результуючу похибку вимірювання швидкості, зокрема, впливають похибки вимірювання частоти доплерівських зсувів та похибки кута хитавиці. Аналіз принципу роботи лага показує, що обидві ці складові результуючої похибки залежать від тривалості інтервалу вимірювання. Отже, фактично оптимізації повинна підлягати тривалість інтервалу вимірювання, а тривалість імпульсу випромінювання має бути узгодженою з оптимізованим інтервалом вимірювання.

Зауважимо, що в деяких джерелах [2] за критерії вибору тривалості імпульсу випромінювання приймалися ступінь пригнічення ревербераційної завади та ефективність "згладжування флуктуацій доплерівської частоти, обумовлених природою доплерівського сигналу". При цьому вважалось, що перевищення шпаруватості значення "два" в послідовності імпульсів повинно бути незначним. У першу чергу такі підходи ґрунтувалися на неможливості досягти високої точності вимірювання частоти доплерівського сигналу. Очевидно, з урахуванням результатів теоретичних і експериментальних досліджень [3,4] попередні підходи до проблеми оптимізації тривалості імпульсу слід вважати не коректними. Такий висновок базується на тому, що реально має місце висока потенційна точність вимірювання частоти доплерівського сигналу. На цьому тлі стає відчутнішим вплив інших дестабілізуючих факторів (похибки швидкості звуку, кута хитавиці) на результуючу похибку вимірювання швидкості. Таким чином, ці фактори зводять нанівець вплив ревербераційної

завади, яка проявляється лише при низькій шпаруватості імпульсної послідовності. Отже, підхід до розв'язання проблеми оптимізації повинен бути іншим.

В [2] розглядається питання формування розсіяного дном імпульсного сигналу з позиції озвучення цим сигналом певної ділянки дна. Там наводиться формула, яка визначає тривалість "заповнення" сигналом опроміненої ділянки дна в межах ширини променя ХС:

$$\tau_3 = \frac{2H \cdot \Delta\alpha}{c \sin\alpha_0 \cdot \operatorname{tg}\alpha_0}, \quad (1)$$

де H – глибина акваторії;

$\Delta\alpha$ – ширина ХС;

c – швидкість звуку в воді;

α_0 – кут нахилу променя ХС, що відраховується від вертикалі.

Як показано в [5], протягом цього проміжку часу частота доплерівського сигналу змінюється і, звичайно, не відповідає фактичній швидкості носія. Інтенсивність ехо-сигналу низька і виконувати будь-які вимірювання на цій ділянці сигналу недоцільно через велику похибку. Тому будемо вважати априорі, що тривалість сигналу, що випромінюється антеною, повинна бути завжди більшою значення, яке визначається за формулою (1). А відповідь на питання, на скільки більшою, дає оптимізація тривалості інтервалу (стробу) вимірювання за критерієм мінімальної похибки вимірювання складових швидкості. Оскільки математичні моделі похибок вимірювання горизонтальної і вертикальної складових швидкості різні, то оптимізація повинна виконуватися окремо для обох складових.

Із попереднього аналізу і фізичних уявлень виходить, що збільшення тривалості інтервалу вимірювання призводить до зменшення похибки вимірювання частоти, отже, і відповідної складової похибки вимірювання швидкості. Разом з тим збільшення тривалості імпульсу випромінювання одночасно збільшує складову результуючої похибки, що визначається зміною кута хитавиці в межах цього інтервалу. І, навпаки, зменшення тривалості імпульсу викликає зворотний вплив на результуючу похибку з боку вимірювання частоти і поправок на кут хитавиці. Таким чином, існує деяка оптимальна тривалість інтервалу вимірювання, при якій сукупний вплив обох джерел похибок дає найменшу результуючу похибку вимірювання швидкості (дисперсія швидкості звуку при цьому залишається незмінною). Це і є критерієм оптимізації тривалості інтервалу вимірювання.

Враховуючи вищесказане, перейдемо безпосередньо до виведення аналітичних залежностей. Запишемо вихідне рівняння для дисперсії змін горизонтальної складової швидкості носія V_x :

$$\sigma_{V_x}^2 = \left[\left(\frac{\partial V_x}{\partial F_{\partial 1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_x}{\partial F_{\partial 3}} \right)^2 \right] \sigma_f^2 + \left(\frac{\partial V_x}{\partial \psi} \right)^2 \sigma_\psi^2 + \left(\frac{\partial V_x}{\partial c} \right)^2 \sigma_c^2, \quad (2)$$

де $F_{\partial 1}$, $F_{\partial 3}$ – доплерівські зсуви частот у першому і третьому променях янусної ХС антени лага;

$\sigma_f^2, \sigma_\psi^2, \sigma_c^2$ – дисперсії флуктуацій частоти, кута хитавиці та швидкості звуку відповідно.

Далі необхідно здійснити процедуру пошуку екстремуму. Останній член рівняння (2) не залежить від тривалості інтервалу вимірювання і на точку екстремуму не впливає, отже, в подальшому його враховувати не будемо. Із решти членів невідомою є лише дисперсія кута хитавиці σ_ψ^2 , інші – визначені раніше [1]. Знайдемо дисперсію кута хитавиці σ_ψ^2 .

Застосуємо апроксимацію хитавиці гармонійним коливанням. Протягом тривалості інтервалу вимірювання τ_{iim} кут зміниться на величину $\Delta\psi$, отже:

$$\Delta\psi = \psi_m \left[\sin \frac{2\pi}{T_k} (t + \tau_{iim}) - \sin \frac{2\pi}{T_k} t \right] = 2\psi_m \cos \frac{2\pi}{T_k} \left(t + \frac{\tau_{iim}}{2} \right) \cdot \sin \left(\frac{\pi}{T_k} \tau_{iim} \right), \quad (3)$$

де ψ_m – амплітуда хитавиці;

T_k – період хитавиці.

Будемо вважати, що відлік кута хитавиці для вводу поправки проводиться таким чином, що значення цього відліку приходить на середину приросту кута $\Delta\psi$. Тоді:

$$\sigma_\psi = \frac{\Delta\psi}{6}. \quad (4)$$

Ділення половини кута $\Delta\psi$ на три переводить (приблизно) граничну похибку в середньоквадратичну. Підставивши (3) в (4) і звівши останню в квадрат, отримаємо вираз для дисперсії кута хитавиці:

$$\sigma_\psi^2 = \frac{\psi_m^2}{9} \cdot \cos^2 \frac{2\pi}{T_k} \left(t + \frac{\tau_{iim}}{2} \right) \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{T_k} \tau_{iim} \right). \quad (5)$$

Ще раз підкреслимо, що дисперсія кута хитавиці (5) отримана з урахуванням лише зміни кута на інтервалі вимірювання і не враховує похибки датчика хитавиці та змін кута між сеансами обміну. Такий підхід обґрунтований, по-перше, через те, що для реально досяжної частоти обміну десятки кГц і високої точності вимірювань кута ці складові похибки дають незначний вклад, а, по-друге, тільки складова (5) є залежною від інтервалу вимірювання τ_{iim} і такою, що впливає на його оптимізацію.

Як відомо [6], оптимізація в даному випадку – це знаходження коренів рівняння, яке отримують з першої похідної по τ_{iim} від правої частини виразу (2), прирівняної до нуля. Оскільки вагові коефіцієнти (похідні) виразу (2) від тривалості інтервалу вимірювання не залежать, то знайдено окремо перші похідні від дисперсій σ_f^2 та σ_ψ^2 і після цього наведемо остаточне рівняння оптимізації. Перша похідна від дисперсії частоти має такий вигляд:

$$\frac{\partial(\sigma_f^2)}{\partial \tau_{iim}} = -2f_0^2 \cdot \left(1 - \frac{\tau_{iim}}{\tau_{iim} + \sigma_t} \right) \cdot \frac{\sigma_t}{(\tau_{iim} + \sigma_t)^2} = -2f_0^2 \cdot \frac{\sigma_t^2}{(\tau_{iim} + \sigma_t)^3}, \quad (6)$$

де f_0 – робоча частота лага;

σ_t – середньоквадратична похибка вимірювання інтервалу вимірювання.

Середньоквадратична похибка σ_t залежить від величини флуктуацій частоти в межах інтервалу вимірювання, а також від інструментальної похибки вимірювача частоти. Для випадку використання методу підрахунку періодів частоти доплерівського сигналу за допомогою генератора еталонної частоти з урахуванням некорельованості фазових флуктуацій та інструментальної похибки можна отримати таку формулу для визначення σ_t :

$$\sigma_t = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{(1+a_c)^2} f^2 + T_E^2}, \quad (7)$$

де a_c – відношення сигнал/завада;

T_E – період частоти еталонного генератора;

f – частота заповнення ехо-сигналу.

Зауважимо, що в подальшому аналізі ми будемо користуватися лише робочою частотою лага, хоча в формулу (7) входить частота заповнення ехо-сигналу. Такий підхід значно спрощує остаточне рівняння оптимізації, а підставою для цього є те, що частоти $f_1 = f_0 + F_{d1}$ (для першого променя ХС) і $f_3 = f_0 + F_{d3}$ (для третього променя ХС) відрізняються від робочої частоти f_0 несуттєво.

Далі з урахуванням (5) отримаємо похідну від дисперсії кута хитавиці:

$$\frac{\partial(\sigma_\psi^2)}{\partial \tau_{imm}} = \frac{2\pi}{9T_k} \psi_m^2 \sin\left(\frac{\pi}{T_k} \tau_{imm}\right) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{T_k} \left(t + \frac{\tau_{imm}}{2}\right)\right] \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{T_k} (t + \tau_{imm})\right]. \quad (8)$$

Отже, остаточне рівняння оптимізації буде мати такий вигляд:

$$\left\{ df_0 (F_{d1} - F_{d3}) \sin \psi + \frac{cd \cos \psi [f_0 (F_{d1} + F_{d3}) + F_{d1} \cdot F_{d3}]}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} \right\}^2 \cdot \frac{\pi \psi_m^2}{9T_k} \sin\left(\frac{\pi}{T_k} \tau_{imm}\right) \times$$

$$\times \cos\left[\frac{2\pi}{T_k} \left(t + \frac{\tau_{imm}}{2}\right)\right] \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{T_k} (t + \tau_{imm})\right] - \left\{ df_0 \cos \psi - \frac{cd \sin \psi \cdot (f_0 + F_{d3})}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2f_0 \left(1 + \frac{F_{d1}}{2f_0}\right)} \left[df_0 (F_{d1} - F_{d3}) \cos \psi - \frac{cd \sin \psi [f_0 (F_{d1} + F_{d3}) + F_{d1} \cdot F_{d3}]}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} \right] \right\}^2 + \quad (9)$$

$$+ \left\{ df_0 \cos \psi + \frac{cd \sin \psi (f_0 + F_{\partial 1})}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} + \frac{1}{2f_0 \left(1 + \frac{F_{\partial 3}}{2f_0}\right)} [df_0 (F_{\partial 1} - F_{\partial 3}) \cos \psi - \right.$$

$$\left. - \frac{cd \sin \psi [f_0 (F_{\partial 1} + F_{\partial 3}) + F_{\partial 1} \cdot F_{\partial 3}]}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} \right\} \cdot \frac{f_0^2 \sigma_t^2}{(\tau_{инт} + \sigma_t)^3} = 0,$$

де d – параметр частотно-незалежної антени (відстань між рядами п’езокераміки).

Рівняння [9] є трансцендентним, тому його розв’язання виконується методом наближень (чисельним методом).

Як і при кількісному аналізі похибок вимірювання складових швидкості, можна було б задати різні значення кутів хитавиці ψ , а також інші параметри і отримати для них оптимальну тривалість інтервалу вимірювання. Однак представляє певний інтерес той факт, що хитавиця має синусоїдальний характер і природи кута при $\tau_{инт} = const$ на різних ділянках синусоїди різні. Тому доцільно визначити залежність величини оптимальної тривалості від фази хитавиці. Отже, всі розрахунки, включаючи також розрахунки точних значень доплерівських зсувів, а також відповідних їм коефіцієнтів у рівнянні оптимізації (9) будемо виконувати з урахуванням того, що:

$$\psi = \psi_m \sin \frac{2\pi}{T_k} \left(t + \frac{\tau_{инт}}{2} \right). \quad (10)$$

Слід звернути увагу на те, що згідно з (10) всі розрахунки передбачається виконувати відносно кута, який відповідає середині інтервалу вимірювання $\tau_{инт}/2$, причому при будь-якому значенні фази хитавиці. В зв’язку з цим може виникнути питання, наскільки коректною виявиться формула (4), де передбачалась не середина інтервалу вимірювання, а середина кутового інтервалу, який відповідає інтервалу вимірювання. Крім цього, залишається поки-що не доведеним твердження про незалежність коефіцієнтів рівняння оптимізації від інтервалу вимірювання $\tau_{инт}$. Адже тільки в тому випадку, коли $\tau_{инт} \ll T_k$, це твердження є обґрунтованим і, відповідно, при диференціюванні згадані коефіцієнти можуть розглядатися як константи. Забігаючи дещо наперед, відмітимо, що всі ці припущення справедливі, оскільки тривалість інтервалу вимірювання виявляється малою, тобто дійсно має місце нерівність $\tau_{инт} \ll T_k$.

Перш ніж перейти до аналізу коренів рівняння оптимізації для горизонтальної складової швидкості (9), наведемо аналогічне рівняння для вертикальної складової. Коефіцієнтами цього рівняння є квадрати відповідних похідних математичної моделі похибок, а рівняння оптимізації для вертикальної складової швидкості має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{d(F_{\partial 1} - F_{\partial 3}) \cos \psi}{\left(1 + \frac{F_{\partial 1}}{2f_0}\right) \cdot \left(1 + \frac{F_{\partial 3}}{2f_0}\right)} - \frac{cd \sin \psi}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} \left(\frac{F_{\partial 1}}{1 + \frac{F_{\partial 1}}{2f_0}} + \frac{F_{\partial 3}}{1 + \frac{F_{\partial 3}}{2f_0}} \right) \right]^2 \cdot \frac{\pi \psi^2_m}{9T_\kappa} \sin \left(\frac{\pi}{T_\kappa} \tau_{iim} \right) \times \\
 & \times \cos \left[\frac{2\pi}{T_\kappa} \left(t + \frac{\tau_{iim}}{2} \right) \right] \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{T_\kappa} \cdot (t + \tau_{iim}) \right] - \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{F_{\partial 1}}{2f_0}\right)^2} \left[\frac{cd \cos \psi}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} + d \sin \psi \right] \right\}^2 + \quad (11) \\
 & + \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{F_{\partial 3}}{2f_0}\right)^2} \cdot \left[\frac{cd \cos \psi}{\sqrt{(2df_0)^2 - c^2}} + d \sin \psi \right] \right\}^2 \cdot \frac{f_0^2 \cdot \sigma_t^2}{(\tau_{iim} + \sigma_t)^3} = 0.
 \end{aligned}$$

Це рівняння також трансцендентне. Його розв'язання через такі ж причини, як і для рівняння (9), необхідно виконувати з урахуванням функції кута хитавиці (10).

Розв'язання рівнянь оптимізації (9) і (11) виконаємо для реальних значень параметрів лага. Відмітимо ті з них, які виявилися визначальними щодо оптимальної тривалості інтервалу вимірювання. До них належать:

- відношення сигнал/завада (було прийнято $a_c=5...100$);
- амплітуда хитавиці ($\psi_m=3^\circ...10^\circ$);
- фаза хитавиці ($t=T_\kappa/4; T_\kappa/3; T_\kappa/2$);
- період хитавиці ($T_\kappa=5\text{с}, 10\text{с}$).

Решта параметрів (V_x і, відповідно, $F_{\partial 1}$ та $F_{\partial 3}$, V_z , c , d , α_0 та інші) суттєво не впливають на корені рівнянь оптимізації.

Отже, результати аналізу рівнянь оптимізації виглядають так.

Для випадку вимірювання горизонтальної складової швидкості при значеннях $a_c=5...10$, коли похибка вимірювання частоти σ_f значна, оптимальна тривалість τ_{iim} достатньо велика ($\tau_{iim}>150\text{мс}$). Це, очевидно, пояснюється тим, що вплив похибки кута хитавиці σ_ψ на величину σ_{V_x} незначний у порівнянні з впливом σ_f , тобто фактор, який "працює" на зменшення τ_{iim} проявляється не дуже помітно. Якщо відношення сигнал/завада a_c лежить в межах 30...100, то похибка σ_f зменшується і починає відчутніше впливати похибка σ_ψ . В результаті оптимальна тривалість інтервалу вимірювання становить $\tau_{iim}=50...150\text{мс}$. Принагідно зауважимо, що в разі досягнення високої точності вимірювання частоти в межах певного інтервалу τ_{iim} для певних умов експлуатації ні в якому разі не слід збільшувати примусово оптимальне значення τ_{iim} , оскільки це призведе автоматично до

збільшення похибки вимірювання швидкості за рахунок впливу складової σ_{ψ} . Що стосується вимірювання вертикальної складової швидкості, то загальні висновки аналогічні попереднім, але оптимальна тривалість інтервалу вимірювання τ_{int} для тих же умов дещо менша. Так, для $a_c=5...10$ інтервал вимірювання $\tau_{int}=50...130$ мс, а для $a_c=30...100$ інтервал вимірювання зменшується і становить $\tau_{int}<50$ мс. Це, очевидно, пояснюється тим, що прийнята в лагах просторова орієнтація ХС така, що вплив хитавиці носія на вертикальну складову суттєвіший, ніж на горизонтальну.

В цілому аналіз рівнянь оптимізації (9) і (11) дає підстави зробити такі висновки:

1. Чим точніше вимірюється частота заповнення ехо-сигналу доплерівського лага, тим меншою є оптимальна тривалість інтервалу вимірювання, яка забезпечує мінімізацію похибок вимірювання складових швидкості σ_{V_x} і σ_{V_z} .

2. Оптимальна тривалість інтервалу вимірювання у випадку вимірювання лагом горизонтальної складової швидкості за тих же умов більша, ніж вертикальної складової.

3. Чим більша амплітуда хитавиці, тим меншою є оптимальна тривалість інтервалу вимірювання τ_{int} . При зменшенні періоду хитавиці оптимальна тривалість τ_{int} також зменшується.

4. Тривалість імпульсу, що випромінюється, якщо "дозволяє" глибина акваторії, повинна бути не меншою суми τ_3 (1) і оптимальної тривалості інтервалу вимірювання τ_{int} . Із зменшенням глибини акваторії необхідно забезпечити пропорційне зменшення тривалості імпульсу, що випромінюється, і тривалості інтервалу вимірювання.

На завершення зазначимо, що формування часової діаграми робота доплерівського лага є чи не найважливішим питанням при створенні пристрою. Отримані результати свідчать саме про це. Тепер є достатньо підстав для її оптимізації як в розумінні обґрунтованого вибору тривалості імпульсу, що випромінюється, та необхідного періоду випромінювання, так і з точки зору створення адаптивних алгоритмів функціонування лага.

Література

1. Барась С.Т. Аналіз джерел похибки вимірювання складових вектора швидкості судна //Вісник ВПІ. - 2000. - №2. - С. 81-85.
2. Гидроакустические навигационные средства / В.И.Бородин, Г.Е.Смирнов, Н.А.Толстякова, Г.В.Яковлев. – Л.: Судостроение, 1983. – 262 с.
3. Барась С.Т. Формування високочастотного заповнення луно-сигналу гідроакустичного доплерівського лага //Вісник ВПІ. – 2000. - №4. – С. 89-93.
4. Барась С.Т. Спектр обвідної доплерівського сигналу, розсіяного морським дном //Вісник ВПІ. – 2000. - №5. – С. 74-76.
5. А.с.1700492 СССР. Измеритель частоты гидроакустического доплеровского лага /С.Т.Барась, В.А.Мельник, А.П.Мартынюк, А.П.Кушнир //Бюл. изобр. – 1991. - №47.
6. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – М.: Сов. Радио, 1975. – 367 с.