

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ

На правах рукопису

КАЛЮЖНИЙ ОЛЕКСАНДР ЯКОВИЧ

МЕТОДИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ ГІДРОЛОКАЦІЙНИХ
СИГНАЛІВ У СКЛАДНИХ СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВИХ УМОВАХ ПРИ
НАЯВНОСТІ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ.

01.04.06 - Акустика

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ 1996

АВ 34.067

Робота виконана в Інституті гідромеханіки НАН України

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00740015 (H)

Навчальний консультант - доктор технічних наук,
професор КРАСНИЙ Л.Г.

Наукові опоненти: - член Нью-Йоркської Академії Наук,
доктор фізико-математичних наук,
професор БОВК І.В.

академік АТН України,
доктор технічних наук,
професор ПАВЛОВСЬКИЙ М.А.

доктор технічних наук,
професор АЛЕШЕНКО О.М.

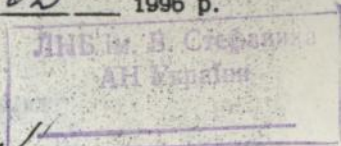
Провідна установа: - Науково-виробниче об'єднання
"Квант"

Захист відбудеться "21" 03 1996 р. о "14"
на засіданні спеціалізованої ради Д 01.04.01
в Інституті гідромеханіки НАН України за адресою:
252057, Київ, вул. Желязова, 8/4.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці
Інституту гідромеханіки НАН України

Автореферат разісланий "8" 02 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук



С. І. Криль - С. І. Криль

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність теми. Досягнення теоретичної акустики у вивченні процесів випромінювання, поширення та прийому акустичних хвильових полів, а, також, прогрес у галузі електроніки і обчислювальної техніки відкривають принципово нові можливості у вирішенні задач просторово-часової обробки гідроакустичної інформації. Серед таких задач найбільш актуальною є створення систем просторово-часової обробки (СПЧО) гідроакустичної інформації, угоджених із структурою середовища поширення гідроакустичних сигналів та завад, тобто морських і океанічних хвильоводів. У широкому розумінні терміном "угодження із середовищем" визначають низку заходів, спрямованих на максимально повне використання при виконанні просторово-часової обробки гідроакустичних сигналів сучасних фізичних уявлень про механізми їх генерації та поширення. При цьому спрощені та неповні моделі сигнально-завадової обстановки, на яких будувалися СПЧО попередніх поколінь, замінюються на моделі більш складні, максимально наближені до реальних умов та рівня розвитку теоретичної акустики.

Теоретичні основи угодженої із середовищем обробки акустичних хвильових полів сформувалися у середині 80-х років в роботах Красного Л.Г., Вородіна В.В., Баронкіна В.М., Сазаптова А.Т., Фарфель В.А., Ваггероєв А.В., Куретман В.А., Букер Н.В., Нініч М.І. та інших вітчизняних і закордонних вчених. Але реальне втілення ідей угодженої із середовищем обробки гальмується невирішеністю або ж недостатньою проробкою ряду теоретичних та прикладних задач. Головною із них є проблема забезпечення стійкості угодженої обробки до дестабілізуючих факторів, тобто абереження стабільно високих показників її ефективності при відхиленні у певних межах характеристик реальних сигналів та завад від гіпотетичних моделей. Причин для таких відхилень існує досить багато. Перш за все, це нестационарність та неоднорідність самого середовища поширення сигналів і завад, зумовлена процесами мезомасштабної циркуляції океанічних водних мас, припливними і внутрішніми хвилями, океанічною турбулентністю та інше.

Інша група дестабілізуючих факторів пов'язана із впливом середовища на умови функціонування гідроакустичних антен. Так, більшість гідролокаційних станцій (ГЛС) розміщується на рухомих носіях (судна та кораблі різного класу і призначення, вертоліти, підводні апарати

та інші рухливі платформи). Рух носіїв у взаємодії з рухом водних мас викликає складні коливальні рухи антен таких ГЛС. Найбільш характерний у цьому відношенні приклад - суднові гідроакустичні антени в умовах ходу і качки носія. Зазнають розхитувань під впливом вітрового хвилювання морської поверхні, припливів та морських течій антени й інших гідроакустичних засобів (вертолітних, автономних і т.д.). Всі ці складні та часто непорядковані рухи гідроакустичних антен можуть породжувати додаткові флюктуації полів сигналів і завад на їхній приймальній апертурі, в тому числі й негауссові. Крім того, поступальний рух носіїв у неоднорідному середовищі призводить до досить швидких змін й загальної обстановки.

Третя група дестабілізуючих факторів зумовлена похибками або неідеальністю роботи реальних технічних пристроїв. Наприклад, положення та орієнтація антен у просторі визначається з деякою помилкою, яка зумовлена похибками навігаційних та гіроскопічних систем носія. Приймальні елементи антен та підсилювачів мають певний розкид амплитудно-частотних і фазових характеристик. Обчислювальні прилади СПЧО мають кінцеву розрядність і т.д.

Ігнорування або ж неналежне врахування цих факторів може суттєво погіршити той позитивний ефект, який досягається за рахунок угодження алгоритмів обробки із середовищем. Однак, робіт, присвячених дослідженню впливу дестабілізуючих факторів на ефективність угодженої обробки та заходам по усуненню або пом'якшенню їх негативної дії, відомо відносно небагато. Крім того, ці роботи носять розрізнений характер, комплексне дослідження проблеми у літературі відсутнє.

Метою роботи є створення теоретичних основ і розробка прикладних методів просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів у складних сигнально-завадових умовах при наявності сукупності дестабілізуючих факторів, зокрема:

- розробку вихідних моделей полів гідролокаційних сигналів і завад з урахуванням складного поступально-коливального руху приймально-випромінюючих антен та неоднорідності середовища поширення звуку;
- синтез на основі вказаних моделей оптимальних та квазіоптимальних алгоритмів просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів;
- аналіз ефективності оптимальних та квазіоптимальних алгоритмів

мів виявлення гідролокаційних сигналів у складних сигнально-завадових умовах при наявності сукупності дестабілізуючих факторів;

- розробка адаптивних процедур просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів, які забезпечують пристосування СПЧО до амін умов функціонування, та аналіз їхньої ефективності;

- розробка непараметричних процедур просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів, які забезпечують нечутливість СПЧО до змін умов функціонування, та аналіз їхньої ефективності.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

1. Вирішена задача про поле акустичного сигналу, збудженого рухомим джерелом на рухомому приймачі. На відміну від раніш відомих робіт одержане рішення справедливе для більш широкого кола умов: рух кореспондуючих об'єктів є багатокomпонентним та включає крім поступального й коливальні складові, врахована неоднорідність середовища поширення, а випромінюваний сигнал може бути довільної форми.

2. Досліджено вплив руху антен на просторову кореляцію акустичних завад, які діють на приймальну апертуру. Знайдено умови, за яких поле завад на рухомій апертурі є квазістаціонарним та квазіоднорідним.

3. Синтезовано оптимальні та квазіоптимальні алгоритми просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів при наявності дестабілізуючих факторів, зокрема, поступально-коливального руху приймально-випромінюючих антен.

4. Розроблено загальну методику аналізу ефективності оптимальних та квазіоптимальних алгоритмів виявлення гідролокаційних сигналів, яка, на відміну від раніш відомих, може застосовуватися при довільних, в тому числі й негауссівських, флюктуаціях полів сигналу і завад.

5. Досліджено вплив сукупності дестабілізуючих факторів на ефективність оптимальних, квазіоптимальних та неоптимальних алгоритмів обробки гідролокаційних сигналів, зокрема флюктуацій комплексних амплітуд променевих складових сигналу, лінійного руху та розхитування антен, паразитної модуляції параметрів сигналу, негауссовості полів сигналу і завад, та запропоновані заходи по усуненню або пом'якшенню їх негативної дії.

6. Розроблено алгоритми адаптивної просторової обробки гідролокаційних сигналів, які, на відміну від раніш відомих, побудовані

в урахуванням дестабілізуючого впливу розхитування антен.

7. Вперше зроблено аналіз можливості адаптивного подавлення локальних завад у приймальних трактах в нелінійно непараметричній обробці.

Обґрунтованість результатів та висновків роботи. Обґрунтованість основних теоретичних результатів забезпечується строгістю постановки задач та математичних методів їх розв'язання, перевіркою абігу у спеціальних окремих випадках одержаних рішень в відомих результатами.

Обґрунтованість одержаних у роботі рішень прикладних задач та зроблених на їх основі висновків забезпечується контролем точності обчислень, а також, шляхом математичного моделювання.

Практична цінність. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач створює теоретичні основи для побудови СПЧО гідроакустичної інформації для нових поколінь ГЛС, які реалізуються на новітній елементній базі, та дозволяє суттєво підвищити ефективність виявлення гідролокаційних цілей. Зокрема, одержані в дисертації результати забезпечують вирішення таких прикладних задач:

- вибір та обґрунтування алгоритмів просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів для ГЛС, які встановлені на рухомих носіях;

- вибір та обґрунтування типу і параметрів зондуючих сигналів в урахуванням ефектів багатопроміневого поширення, розсіяння у середовищі, флюктуацій характеристик цілі, спотворення сигналу внаслідок розхитування антен та інших дестабілізуючих факторів;

- вибір методики аналізу ефективності СПЧО для широкого кола моделей сигналів та завад;

- вибір та обґрунтування схем адаптивної та неадаптивної просторово-часової обробки, які забезпечують як пристосування СПЧО до змін умов функціонування ГЛС, так і нечутливість до ряду дестабілізуючих чинників.

Апробація роботи. Основні результати дисертації були представлені у різні періоди часу на семінарах VII науково-дослідного відділення НВО "Славутич" (Київ, 1981 - 1982 рр.), IV-ій (Київ, 1983 р.), VII-ій (Бельці, 1989 р.) та VIII-ій (Таганрог, 1990 р.) міжгалузевих науково-технічних конференціях по методам і засобам цифрової обробки гідроакустичної інформації, міжгалузевій науково-технічній конференції по методам та засобам цифрової обробки радіо-

локаційної інформації (Київ, 1990 р.), доповідались на 10-ой та 11-ой Бесесованих акустичних конференціях (Москва, 1983, 1991 рр.), на V-ій Далекосхідній акустичній конференції (Владивосток, 1989).

У закінченому вигляді дисертаційна робота доповідалася і обговорювалася на Республіканському семінарі по гідромеханіці у 1995 р. (керівник семінару - академік НАН України В.Т. Грінченко).

Публікації. По темі дисертації опубліковано більше 40 статей у наукових журналах та науково-технічних збірниках, дві монографії, одержано 4 авторських свідоцтва. Матеріали дисертації відображені у 20 науково-технічних звітах по НДР і ДКР, виповнених за участю автора за період 1981-1994 рр. у НВО "Славутич". В кінці автореферату наведено список з 21 основних робіт.

В монографії [1] автором самостійно і на основі власних наукових матеріалів написані глави 7 та 8, в монографії [21] - глави 2 та 3.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, висновків та списку літератури. Загальний обсяг роботи становить 348 сторінок машинописного тексту (основний зміст - 268 стор.) і включає 61 сторінок ілюстрацій та 4 таблиці. Бібліографія містить 138 найменувань.

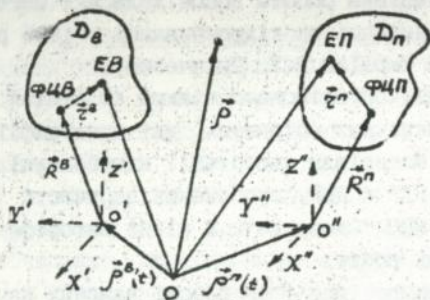
Автор висловлює глибоку вдячність своєму науковому консультанту провідному науковому співробітнику Інститута гідромеханіки НАН України, доктору технічних наук, професору Красному Леоніду Григоровичу за постійну увагу до роботи та цінні поради при її написанні.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі сформульована мета дисертаційної роботи, обґрунтована її актуальність, наукова новизна та практичне значення. Коротко викладено зміст роботи по главам.

Перша глава присвячена розробці моделей гідролокаційних сигналів і завад в умовах складного поступально-коливального руху приймально-випромінюючих антенних систем. Вирішена задача про поле акустичного сигналу, збудженого рухаючимся джерелом на рухомому приймачі. Подібна задача вже розглядалася в роботах Ножкев К.Е. (1979), Лейкін Д.Е. и Мальцев Н.Е. (1982), Богушевич А.Я. і Красенко Н.П. (1988), Осташев В.Е. (1988) та інші, де одержано рішення для ситуацій, коли сигнал є гармонійним, а рух джерела і приймача - лінійним і відбувається паралельно межах хвильовода. У цій роботі роз-

глядається більш складна модель руху кореспондуючих об'єктів, яка виключає крім поступального й складні коливальні рухи антен, а випромінюваний сигнал може бути звільної форми.



мал.1. Геометрія задачі.

Розглянемо геометрію задачі, показано на мал.1. Випромінююча антена, яка займає область простору D_B , вважається звукопроворою і складається з незалежних елементарних точечних випромінювачів (ЕВ). Положення у просторі кожного ЕВ задано відносно фазового центру випромінюючої антени (ФЦВ) радіус-вектором $\vec{z}^B \in D_B$. Антена зв'язана з деякою системою координат

K' , в якій положення ФЦВ визначається радіус-вектором \vec{R}^B . В свою чергу, система K' переміщується відносно нерухомого середовища, причому, її рух складається з двох компонент:

- лінійних переміщень початку координат O' по траєкторії, яка описується в абсолютній, тобто пов'язаній із середовищем, системі координат K вектором $\vec{r}^B(t)$;
- розхитувань системи відносно точки O' , які можуть бути описані деякою матрицею поворотів $\Pi^B(t)$.

Поточні координати ЕВ в абсолютній системі координат утворюють вектор

$$\vec{r}^B(t, \vec{z}^B) = \vec{r}^B(t) + \Pi^B(t)(\vec{R}^B + \vec{z}^B) \quad (1)$$

Відносно приймальної антени приймаються аналогічні припущення, з урахуванням яких координати елементарного приймача (ЕП) можуть бути записані у вигляді:

$$\vec{r}^n(t, \vec{z}^n) = \vec{r}^n(t) + \Pi^n(t)(\vec{R}^n + \vec{z}^n), \quad (2)$$

де всі величини аналогічні за змістом введеним вище, але відносяться до області прийому.

Якщо $S_2(t/\vec{z}^B)$ - сигнал, збуджуючий ЕВ, то поле, створюване цим ЕВ у деякій точці \vec{r} нерухомого середовища, підлягає хвильовому рівнянню

$$\Delta u(t, \vec{r} / \vec{z}^e) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} u(t, \vec{r} / \vec{z}^e) = -4\pi S_1(t / \vec{z}^e) \delta(\vec{r}^e(t, \vec{z}^e) - \vec{r}) \quad (3)$$

і сукупності крайових умов, відповідних заданому типу хвильовода.

Рішення задачі (3) може бути представлено у вигляді:

$$u(t, \vec{r} / \vec{z}^e) = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} S_1(t - \tau / \vec{z}^e) \times \Psi(\omega, \vec{r} / \vec{r}^e(t - \tau, \vec{z}^e)) e^{j\omega\tau} d\omega d\tau, \quad (4)$$

де $\Psi(\omega, \vec{r} / \vec{r}^e)$ - функція Гріна крайової задачі, відповідна на нерухомому джерелу.

Сигнал, який діє на ЕП, розташований у точці в координатах

$\vec{z}^e \in D_n$ відносно фазового центру приймальної антени (ФЦП), може бути знайдений в співвідношення

$$S_2(t, \vec{z}^n / \vec{z}^e) = u(t, \vec{r}^n(t, \vec{z}^n) / \vec{z}^e),$$

в урахуванням якого із виразу (4) виходить:

$$S_2(t, \vec{z}^n / \vec{z}^e) = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} S_1(t - \tau / \vec{z}^e) \times \Psi(\omega, \vec{r}^n(t, \vec{z}^n) / \vec{r}^e(t - \tau, \vec{z}^e)) e^{j\omega\tau} d\omega d\tau. \quad (5)$$

Вираз (5) вірний для будь якого типу хвильовода і довільних сигналів. Далі вважається, що спектр випромінюваного сигналу обмежено за смугою діапазоном частот, в якому можна скористуватися променевим наближенням для функції Гріна:

$$\Psi(\omega, \vec{r} / \vec{r}^e) = \sum_{l=1}^L A_l(\vec{r}^e, \vec{r}) \exp(-j \frac{\omega}{c} t_l(\vec{r}^e, \vec{r})), \quad (6)$$

де $L = L(\vec{r}^e, \vec{r})$ - загальна кількість енергетично значущих променевих траєкторій, які пов'язують точки \vec{r}^e і \vec{r} , $A_l(\vec{r}^e, \vec{r})$, $t_l(\vec{r}^e, \vec{r})$ - відповідно амплітуда і час поширення сигналу по l -ій променевій траєкторії. Тоді після підстановки (6) в (5) і виконання інтегрування приходимо до виразу

$$S_2(t, \vec{z}''/\vec{z}^0) = \sum_{\ell=1}^L \frac{A_\ell(\vec{\rho}^0(t-\tau_\ell^*, \vec{z}^0), \vec{\rho}''(t, \vec{z}'')) S_1(t-\tau_\ell^*/\vec{z}^0)}{\left| 1 - \frac{d}{d\tau} t_\ell(\vec{\rho}^0(t-\tau, \vec{z}^0), \vec{\rho}''(t, \vec{z}'')) \right|_{\tau=\tau_\ell^*}} \quad (7)$$

де τ_ℓ^* - рішення рівняння

$$\tau_\ell^* = t_\ell(\vec{\rho}^0(t-\tau_\ell^*, \vec{z}^0), \vec{\rho}''(t, \vec{z}'')) \quad (8)$$

відносно часу затримки ℓ -го променя.

Строге рішення рівняння (8) у загальному випадку одержати не вдається. У зв'язку з цим в роботі приймаються такі спрощуючі припущення:

- а) приймач знаходиться у далекому полі джерела;
- б) поступально-коливальний рух джерела і приймача на обмежених часових інтервалах замінюється поступально-обертовим.

Тоді, вирішую рівняння (8) та підставляючи одержане рішення у співвідношення (7), приходимо до наступного зображення поля сигналу, збуджуваного рухомим джерелом на рухомому приймачі:

$$S_2(t, \vec{z}''/\vec{z}^0) \cong \sum_{\ell=1}^L d_\ell^0 A_\ell(\vec{\rho}_0^0 + \vec{R}^0, \vec{\rho}_0'' + \vec{R}'')^* \times S_1\left(\gamma_\ell\left(t - \tilde{\tau}_\ell - \frac{\vec{r}_\ell'' \cdot \vec{z}''}{c_n - \vec{r}_\ell'' \cdot \vec{V}_\Sigma''}\right) + \frac{\vec{r}_\ell^0 \cdot \vec{z}^0}{c_0 - \vec{r}_\ell^0 \cdot \vec{V}_\Sigma^0}\right), \quad (9)$$

де $d_\ell^0 = \left| 1 - \frac{1}{c_0} \vec{r}_\ell^0 \cdot \vec{V}_\Sigma^0 \right|^{-1}$ - амплітудний коефіцієнт, який враховує додаткову спрямованість джерела внаслідок руху, $\vec{\rho}_0^0$, $\vec{\rho}_0''$ - положення центрів координатних систем K' і K'' на моменти початку випромінення та початку прийому відповідно, $\tilde{\tau}_\ell = t_\ell(\vec{\rho}_0^0 + \vec{R}^0, \vec{\rho}_0'' + \vec{R}'')$, \vec{V}_Σ^0 , \vec{V}_Σ'' - результуючі швидкості джерела і приймача з урахуванням усіх компонент руху на моменти початку випромінення і початку прийому відповідно, \vec{r}_ℓ^0 , \vec{r}_ℓ'' -

орти напрямку виходу ℓ -го променя в точці випромінення та його входу в точці прийому, \vec{z}_Σ^B , \vec{z}_Σ^N - вектора, які визначають положення EB і EP відносно деякої умовної точки, в якій знаходилися би відповідно ФДВ і ФПП на моменти початку випромінення та прийому за умови відсутності розхитування антен, c_B , c_N - швидкість звука на горизонтах випромінення та прийому,

$$\gamma_\ell = \left(1 - \frac{1}{c_N} \vec{r}_\ell^N \vec{V}_\Sigma^N \right) / \left(1 - \frac{1}{c_B} \vec{r}_\ell^B \vec{V}_\Sigma^B \right) \quad (10)$$

- коефіцієнт зміни часового масштабу ℓ -го променя.

Далі на основі рішення задачі про поле прямого сигналу розглядається задача з трьома кореспондуючими об'єктами: "випромінююча антена - ціль - приймальна антена". Для цього співвідношення (9) використовується у два етапи: на першому, розглядаючи рухаючийся по тій же траєкторії, що і ціль, неспрямований приймач, знаходимо падаючу на ціль хвилю, на другому - розглядаючи ціль як джерело вторинного випромінення, яке може бути описане своєю індикатрисою розсіювання, одержуємо відбиту від цілі хвилю. Загальний ефект із урахуванням дії повної випромінюючої апертури знаходиться шляхом інтегрування по змінній $\vec{z}^B \in D_B$. В результаті одержана така модель поля сигналу на приймальній апертурі:

$$S(t, \vec{z}^N) = P_S \operatorname{Re} \left\{ \sum_{\ell=1}^{L_B} \sum_{k=1}^{L_N} \eta_{\ell k}^* \dot{S}_{\ell k}(t, \vec{z}^N) \right\}, \quad (11)$$

де P_S - тис: на осі випромінювача, L_B , L_N - кількість променевих траєкторій на трасах прямого та зворотнього поширення сигналу відповідно,

$$\dot{S}_{\ell k}(t, \vec{z}^N) = \dot{A}_{\ell k} \dot{S}_0 \left(\gamma_{\ell k} \left(t - \tau_{\ell k} - \frac{1}{c_N} \vec{d}_k^N \vec{z}^N \right) \right) \quad (12)$$

- елементарний сигнал, який поширюється по (ℓk) -ій променевій траєкторії, $\dot{S}_0(t) = S_0(t) + j \hat{S}_0(t)$ - комплексне аналітичне зображення зондуючого сигналу $S_0(t)$, $\hat{S}_0(t)$ - перетворення Гільберта сигналу $S_0(t)$,

$$\dot{A}_{\ell k} = d_\ell^B d_k^N A_\ell^B A_k^N R_B(d_\ell^B) \quad (13)$$

- результуюча комплексна амплітуда,

$$\tau_{ек} = \tilde{\tau}_к^n + \tilde{\tau}_к^B + \tilde{\tau}_e^B / \gamma_к^n - \tilde{\tau}_e^B / \gamma_{ек} \quad (14)$$

- сумарна затримка,

$$\gamma_{ек} = \gamma_e^B \gamma_к^n \quad (15)$$

- загальний коефіцієнт часового масштабу елементарного сигналу (12),

$$\dot{d}_e^B = \frac{(\Pi_0^B)^T \vec{R}_e^B}{1 - \frac{1}{c_B} \vec{R}_e^B \vec{V}_\Sigma^B}, \quad \dot{d}_к^n = \frac{(\Pi_0^n)^T \vec{R}_к^n}{1 - \frac{1}{c_n} \vec{R}_к^n \vec{V}_\Sigma^n} \quad (16)$$

- результуючі вектори напрямків виходу і входу променів сигналу при випромінненні та прийомі відповідно.

В співвідношеннях (12) - (16) c_4 - швидкість звуку на горизонті розташування цілі, $d_e^B, d_к^n$ - коефіцієнти зміни амплитуди внаслідок руху випромінювача та цілі, $A_e^B, \tilde{\tau}_e^B, \vec{R}_e^B$ - амплитуди, затримки та напрямки виходу променів на трасі прямого поширення, $A_к^n, \tilde{\tau}_к^n, \vec{R}_к^n$ - аналогічні параметри, які відповідають зворотньому поширенню $\vec{R}_B(\vec{\alpha})$ - нормована діаграма спрямованості (ДС) випромінювача,

$$\begin{cases} \gamma_e^B = (1 - \frac{1}{c_4} \vec{R}_e^B \vec{V}_\Sigma^B) / (1 - \frac{1}{c_B} \vec{R}_e^B \vec{V}_\Sigma^B) \\ \gamma_к^n = (1 - \frac{1}{c_n} \vec{R}_к^n \vec{V}_\Sigma^n) / (1 - \frac{1}{c_4} \vec{R}_к^n \vec{V}_\Sigma^n) \end{cases} \quad (17)$$

- коефіцієнти зміни часового масштабу прямого і відбитого сигналів відповідно, де $\vec{R}_e^B, \vec{R}_к^n$ - орти напрямків входу-виходу променів у точці знаходження цілі,

$$\tilde{\tau}_e^B = \frac{\vec{R}_e^B (\Pi_0^B - E) \vec{R}_e^B}{c_B - \vec{R}_e^B \vec{V}_\Sigma^B}, \quad \tilde{\tau}_к^n = \frac{\vec{R}_к^n (\Pi_0^n - E) \vec{R}_к^n}{c_n - \vec{R}_к^n \vec{V}_\Sigma^n} \quad (18)$$

- флюктуаційні складові затримки, породжені розхитуванням антен, Π_0^B, Π_0^n - матриці повороту випромінюючої та приймальної антен на моменти початку випроміннення та прийому відповідно, E - одинична матриця.

Елементарні сигнали (12) входять до складу повного поля сигналу (11) з деякими комплексними амплітудами η_{ek} , які вважаються випадковими і введені до моделі з метою урахування випадковості індикатриси розсіювання цілі, розсіюючих властивостей середовища, похибок технічних пристроїв та інших факторів. Таким чином, запропонована модель поля сигналу дозволяє охопити основні умови гідролокаційного спостереження. При цьому, на відміну від раніш відомих моделей для стаціонарної ситуації, всі параметри моделі (11) обчислюються з урахуванням параметрів руху кореспондуючих об'єктів.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач крім моделі поля сигналу розроблена модель поля завади, характеристики якої також залежать від руху антен. Вважається, що завада на апертурі приймальної антени складається з власних шумів ГЛС, які некогерельовані поміж ЕП, та зовнішніх акустичних завад (шуми вітрового хвилювання поверхні, ревербераційна і локальні завади). Показано, що поле завад на рухомій приймальній антені є у загальному випадку нестационарним та неоднорідним навіть при стаціонарності та однорідності поля завад у зовнішньому середовищі. Однак, при тих же припущеннях, які були зроблені при розробці моделі поля сигналу, поле завад на обмежених у просторі і часі апертурах є квазістаціонарним та квазіоднорідним навіть при складному русі антен. В роботі одержано вираз для функції просторової кореляції поля завад, діючих на рухому приймальну антену:

$$G_N(\omega; \vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{S_1} g_N \left(\frac{\omega}{1 + \frac{1}{c_n} \vec{r} \vec{V}_\Sigma^n}, \vec{r} \right) \times \exp \left\{ j\omega \frac{\vec{r} \pi_o^n (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{c_n + \vec{r} \vec{V}_\Sigma^n} \right\} \frac{d\vec{r}}{1 + \frac{1}{c_n} \vec{r} \vec{V}_\Sigma^n}, \quad (19)$$

де $g_N(\omega, \vec{r})$ - частотно-угловий енергетичний спектр поля завад у нерухомому середовищі, \vec{r} - орт напрямку в стандартній сферичній системі координат, S_1 - поверхня сфери одиничного радіуса.

На основі виразу (19) зроблено аналіз впливу різних компонент руху на просторову кореляцію поля завад. Показано, що для реально-го діапазону швидкостей руху антен ГЛС лінійна складова руху відчутна лише при наступних умовах: частотно-угловий спектр поля завад є дискретним, джерела сигналу та завад розташовані уздовж напрямку

руху, розміри приймальної апертури максимальні по напрямку руху. В інших випадках (для завад з глудким частотно-угловим спектром, для антен, розміри яких уадовж напрямку руху малі і т.д.) внесок лінійної складової руху антени у зміни кореляційних характеристик завади незначні. В той же час, розхитування приймальної антени у полі вертикально-анізотропних завад, утворених сукупністю шумів моря та реверберації, веде до значних варіацій просторової кореляції завад на приймальній апертурі, що має суттєвий вплив на ефективність просторової обробки гідролокаційних сигналів.

Подальша конкретизація моделі та аналіз умов її застосування проведено на прикладі гідроакустичних антен суднових ГЛС в умовах ходу і качки носія. Розроблено модель руху антен, яка включає поступовий рух, бортову, кильову, вертикальну качку та рискання судна. Проаналізовано похибку за рахунок заміни поступально-коливального руху антен рівномірним поступально-обертотвим. Показано, що така заміна можлива, якщо результуюча відстань, пройдена кореспондуючими об'єктами за час дії сигналу T , не перевищує 1 - 2 довжин хвиль.

Зокрема, для типових умов функціонування ГЛС припустиме значення T лежить у діапазоні (0,1 - 0,5) сек. В межах вказаних часових інтервалів сигнал, який приймається по кожній із променевих траєкторій, зберігає основні модуляційні ознаки зондувального сигналу. Якщо ж тривалість сигналу T перевищує вказані границі, то необхідно враховувати паразитну модуляцію його параметрів - коефіцієнта часового масштабу та затримки.

В роботі досліджені характеристики паразитної модуляції в залежності від динаміки судна, напрямку орієнтації ДС антен, окремих компонент руху. Показано, що найбільш суттєве в умовах качки спотворення характеристик сигналів відбувається в траверсних напрямках прийому. При цьому основний внесок у паразитну модуляцію сигналу для поодовжніх напрямків прийому припадає на кильову качку, а для траверсних - на бортову качку та рискання носія.

У главі 2 для моделей сигналів і завад, розроблених у главі 1, синтезовано загальну структуру функціонала відношення правдоподібності, на основі якої одержано оптимальний алгоритм виявлення гідролокаційних сигналів у складних сигнально-завадових умовах при наявності дестабілізуючих факторів, зокрема, поступально-коливального руху антен. Оскільки внаслідок впливу дестабілізуючих факторів частина параметрів сигналу є випадковими величинами, то синтез про-

всидився у два етапи. Спочатку записувалось умовне відношення правдоподібності $\Lambda(u/\vec{S})$, обчислене за умови, що сумарний вектор параметрів сигналу \vec{S} точно відомий:

$$\ln \Lambda(u/\vec{S}) = \operatorname{Re}\{\vec{\eta}^T \vec{F}\} - \vec{\eta}^T \mathbf{Q} \vec{\eta}, \quad (20)$$

де $\vec{\eta}$ - вектор, складений за певним правилом з комплексних амплітуд променів $\dot{\eta}_{ex}$,

$$\vec{F} = \frac{P_s}{g_n + g_N} \int_{t_n}^{t_k} \int_{D_n} u(t, \vec{z}) \vec{B}(t, \vec{z}) dt d\vec{z} \quad (21)$$

- вектор вихідних напруг парціальних каналів обробки променевих складових сигналу, (t_n, t_k) - інтервал обробки, g_n, g_N - спектральні щільності потужності власних шумів ГЛС та зовнішніх завад відповідно, $\vec{B}(t, \vec{z})$ - векторне поле опорних функцій лінійної частини обробки, які задовольняють системі інтегральних рівнянь

$$g_n \vec{B}(t, \vec{z}) + \int_{t_n}^{t_k} \int_{D_n} K_N(t, t'; \vec{z}, \vec{z}') \times \\ \times \vec{B}(t', \vec{z}') dt' d\vec{z}' = (g_n + g_N) \vec{S}(t, \vec{z}), \quad (22)$$

$K_N(\cdot)$ - просторово-часова кореляційна функція зовнішніх завад, $\vec{S}(t, \vec{z})$ - векторне поле, складене з елементарних сигналів (12), \vec{F}^T - вектор, спряжений вектору (21),

$$\mathbf{Q} = \frac{M_s}{2T} \int_{t_n}^{t_k} \int_{D_n} \vec{S}(t, \vec{z}) \vec{B}^T(t, \vec{z}) dt d\vec{z} \quad (23)$$

- ермітова матриця, яка збігається з точністю до постійного множника з кореляційною матрицею компонент вектора (21) у ситуації відсутності сигналу, M_s - відношення енергії сигналу в точці випромінювання до інтенсивності завад на приймальній антені (так зване відношення сигнал/завада на випромінювачі.)

Далі враховувалась випадковість ряду параметрів поля сигналу, для чого використовувались два методи. Перший метод полягав в усередненні умовного відношення правдоподібності (20) по випадковим параметрам сигналу, до числа яких були віднесені вектор комплексних амплітуд променів $\vec{\eta}$ та початкова фаза генератора зондуючих сигналів ψ_0 . Для комплексних випадкових величин $\vec{\eta}$ приймався бага-

томірний гауссівський закон розподілу імовірностей, а для фази ψ_0 - рівномірний на інтервалі $(0, 2\pi)$. В результаті одержано наступний вираз для функціоналу оптимальної обробки поля сигналу:

$$F_1 = \frac{1}{4} \vec{F}^* (Q + W^{-1}) \vec{F} + \ln I_0 \left(|\vec{m}^* (E - Q(Q + W^{-1})^{-1}) \vec{F}| \right), \quad (24)$$

де \vec{m} - вектор математичних сподівань, а W - кореляційна матриця комплексних амплітуд променів $\vec{\eta}$. $I_0(z)$ - модифікована функція Бесселя.

Другий метод синтезу базується на використанні оцінок максимальної правдоподібності невідомих параметрів поля сигналу. Підстановка таких оцінок в умовне відношення правдоподібності (20) приводить до функціоналу обробки

$$F_2 = \vec{F}^* Q^{-1} \vec{F}, \quad (25)$$

який має, як показано у роботі, асимптотично оптимальні для сильних сигналів властивості при довільних негауссівських флюктуаціях вектору комплексних амплітуд променів $\vec{\eta}$.

Таким чином, незалежно від методу синтезу оптимальна обробка включає в себе спільне ядро - лінійну обробку за алгоритмом (21). Зміст цієї процедури полягає у формуванні парціальних каналів, які узгоджені з відповідними променевими складовими (12), формуючими поле сигналу (11). Далі виходи парціальних каналів повинні нагромаджуватися за алгоритмом (24) або (25). Однак, при сильних сигналах, які типові для гідролокаційних систем, достатньо обмежитися розглядом асимптотично оптимального алгоритму (25).

Показано, що за припущенням широкосмуговості завади функціонал лінійної обробки (21) може бути представлено у вигляді послідовності двох функціоналів. Структура першого із них

$$u_{\kappa}(t) = \int_{D_n} \int_{-\infty}^{\infty} u(t' + \frac{1}{c_n} \vec{\alpha}_{\kappa}^T \vec{z}, \vec{z}) \times h_{\kappa}(t' - t, \vec{z}) dt' d\vec{z}, \quad \kappa = 1, \dots, L_n \quad (26)$$

не залежить від типу та параметрів зондуючого сигналу. Тому функці-

онал (25) може бути названо алгоритмом просторової обробки. Специфіка ж випромінюваного сигналу враховується на заключному етапі часової обробки, яка описується функціоналом

$$\dot{F}_{ек} = \frac{P_s}{g_n + g_N} \int_{-T/2\tau_{ек} + \tau_{ек}}^{T/2\tau_{ек} + \tau_{ек}} U_k(t) \dot{S}_0(\tau_{ек}(t - \tau_{ек})) dt. \quad (27)$$

Згідно з алгоритмом (26) просторова частина оптимальної обробки включає до себе затримку реалізацій поля, які спостерігаються у кожній точці прийому, на час

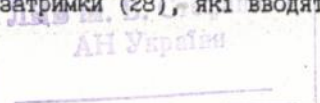
$$\tau(\vec{z}) = \frac{1}{c_n} \vec{a}_k^n \vec{z} = \frac{(\vec{r}_k^n)^T \vec{J}_0^n \vec{z}}{c_n - \vec{r}_k^n \vec{V}_z^n} \quad (28)$$

Затримані реалізації поля піддаються далі фільтрації і після підсумування по всій приймальній апертурі формують вихідну напругу відповідної ДС, кількість яких визначається числом променевих траєкторій L_n на трасі зворотнього поширення ехосигналу. При цьому імпульсні перехідні характеристики фільтрів задовольняють системі інтегральних рівнянь

$$g_n h_k(\tau, \vec{z}) + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{D_n} h_k(\tau', \vec{z}') \times \\ \times K_N(\tau' - \tau + \frac{1}{c_n} \vec{a}_k^n (\vec{z}' - \vec{z}), \vec{z}' - \vec{z}) dt d\vec{z}' = \\ = (g_n + g_N) \delta(\tau). \quad (29)$$

Часова частина обробки (27) зводиться до узгодженої фільтрації напруг (26) з копіями зондуючого сигналу, часові масштаби яких приведено у відповідність з параметрами променевих складових з урахуванням як прямого, так і зворотнього поширення.

При зовнішній схожості функціоналів (26), (27) з відомими раніш для стаціонарної ситуації ці алгоритми містять ряд параметрів і функцій, які залежать від параметрів руху антенних систем. Так, на відміну від стаціонарної ситуації, затримки (28), які вводяться для



компенсації антени на заданий напрямок прийому, обчислюються, по-перше, з урахуванням поточної матриці повороту приймальної антени Π_0^n , по-друге, не по швидкості поширення звуку у середовищі

C_n , а по швидкості поширення світла по відношенню до рухомої антени $C_n - \vec{v}_z^n \vec{v}_z^n$. Аналогічні зміни параметрів торкаються і системи рівнянь (29), де, крім того, інакше, ніж у стаціонарній ситуації, повинні обчислюватися й кореляційні характеристики зовнішніх завад. В алгоритмі часової обробки (27) параметри копії вондуючого сигналу залежать від параметрів руху усіх кореспондуючих об'єктів, а матриці вагових коефіцієнтів в алгоритмах (24) і (25) обчислюються з урахуванням руху антен та характеристик флюктуацій поля сигналу.

Розроблено методику аналізу ефективності оптимальних та квазі-оптимальних алгоритмів виявлення гідролокаційних сигналів у складній сигнально-завадовій обстановці, яка базується на використанні наближеної формули

$$P\{F \geq \Pi / \alpha\} \cong 1 - \frac{\gamma(m_\alpha, \frac{m_\alpha}{\Omega_\alpha} \Pi)}{\Gamma(m_\alpha)}, \quad (30)$$

де F - аналізуемий функціонал обробки, Π - поріг виявлення α - формальний параметр ситуації, який дорівнює 0 при відсутності сигналу і дорівнює 1 при його наявності, $\gamma(\alpha, x)$, $\Gamma(\alpha)$ - неповна та повна гамма-функція відповідно,

$$\Omega_\alpha = \langle F / \alpha \rangle, \quad m_\alpha = \frac{\Omega_\alpha^2}{\langle F^2 / \alpha \rangle - \Omega_\alpha^2} \quad (31)$$

- параметри, пов'язані з першими двома моментами досліджуваної статистики при гіпотезі α .

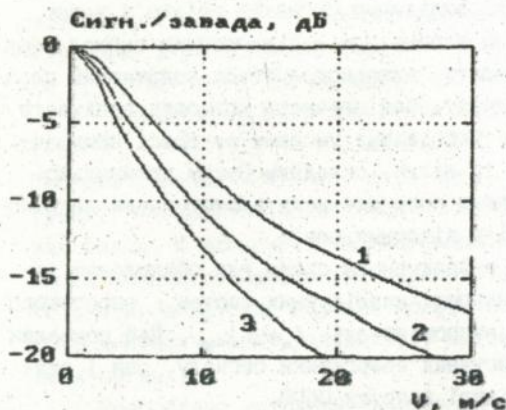
Показано, що із задовільною для прикладних потреб точністю формула (30) може бути використана при обчисленні імовірностей фальшивих тривог ($\alpha = 0$) та правильного виявлення сигналу ($\alpha = 1$) широкого класу анекододажних функціоналів обробки при високих порогах виявлення та сильних сигналах. При цьому одержано добрий збіг з відомими у літературі результатами для ряду спеціальних окремих випадків.

При аналізі ефективності виявлення сигналів згідно з даною методикою поряд з традиційним параметром - відношенням сигнал/завада на виході приймального тракту, використовується додатковий параметр - індекс мерехтіння сигналу. Цей параметр дозволяє врахувати характер флюктуацій сигналу, породжених умовами на трасі поширення, взаємодією поля сигналу із ціллю, складним рухом приймально-випромінюючих антен, що суттєво розширює межі застосування запропонованого методу у порівнянні з відомими раніш.

Запропонована загальна розрахункова схема для обчислення інтегрального показника ефективності аналізованих систем - порогового відношення сигнал/завада на випромінювачі $(\mu_s)_{пор}$. Цей показник дозволяє врахувати як використання енергетики сигналу, так і статистичні характеристики вихідної напруги СПЧО.

Проаналізована ефективність алгоритмів оптимальної просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів для ряду моделей флюктуацій комплексних амплітуд променів при використанні простих та складних сигналів. Показано, що для однорідних незалежних гауссівських флюктуацій променів складні сигнали забезпечують на (1 - 4) дБ більш високу завадостійкість, ніж прості сигнали, і пояснюється фактором кращого розрізнення променів за величиною затримки. При гауссівських "дружних" флюктуаціях ефективність виявлення сигналів на фоні власних шумів ГЛС від типу сигналу не залежить і гірше у порівнянні із випадком незалежних флюктуацій на (4 - 7) дБ. Розглянуто також модель негауссових флюктуацій комплексних амплітуд променів, яка враховує явища расіювання сигналів у середовищі та характеристики цілі. При цьому ефективність виявлення сигналів у порівнянні з гауссовим випадком додатково погіршується на (1,5 - 3) дБ.

Виконано аналіз ефективності просторової обробки сигналу в умовах лінійного руху антен. Згідно виразу (28) фазування антени у цьому випадку повинно здійснюватись не по швидкості поширення звуку у середовищі C_n , а по швидкості поширення хвилі по відношенню до рухомої антени $C_n - \vec{r}_k^n \cdot \vec{V}_s^n$. В існуючих ГЛС ця обставина досі не враховувалась, що, взагалі кажучи, призводить до розфазування антени та пов'язаним із цим втратам ефективності виявлення сигналів. Аналіз, виконаний у дисертації, показав, що такі зтрати відчутні, коли, по-перше, напрям приходу сигналів або завад близький до напрямку руху, по-друге, розміри приймальної апертури максимальні задовж напрямку руху.



Мал. 2. 1 - Хвильовий розмір = 10, 2 - 20, 3 - 30

Ефекти, зумовлені лінійним рухом приймальної антени, проілюстровані для практично важливого випадку горизонтальної лінійної антени, яка переміщується вдовж осьового напрямку, коли джерела сигналів і завад розташовані по ходу руху антени. На мал.2 показані втрати у пороговому відношенні сигнал/завада на випромінювачі, зумовлені ігноруванням фактора лінійного руху при виконанні фазування антени.

Графіки мал.2 одержані для випадку виявлення сигналу, який приходить під кутом 3° відносно осі антени, на фоні локальної завади, джерело якої розташовано по ходу руху антени. Із мал.2 видно, що навіть при помірних швидкостях руху (3 - 5) м/с втрати, в залежності від хвильового розміру антени, досягають від 2 до 7 дБ.

Проаналізовані також додаткові можливості для покращання розрізнення променевих складових сигналу у системах часової обробки, які з'являються внаслідок лінійного руху приймально-випромінюючих антен. Показано, що при асиметрії напрямків приходу променів відносно напрямку руху антени розрізнення променевих складових сигналу можливо за осяжкою їх часового масштабу. Зокрема, сприятливі у цьому відношенні можливості з'являються в гідрологоакустичних умовах з каналним поширенням звуку. Покращання розрізнення променів тим значніше, чим більше кут між напрямком руху та напрямком приходу сигналу.

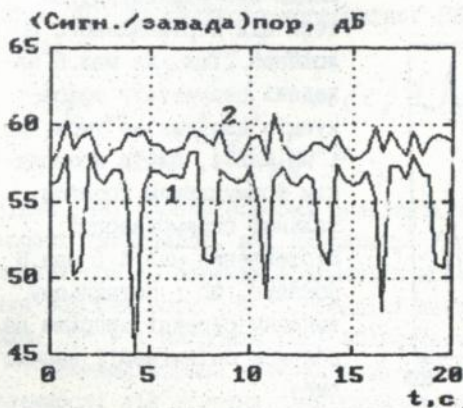
Проілюстрована залежність ефективності виявлення сигналів в умовах руху від типу та параметрів випромінюваного сигналу. Один з прикладів наведено на мал.3, де показана залежність від швидкості руху горизонтальної лінійної антени для сигналів чотирьох типів: тонального (крива 1) та складного з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) і коефіцієнтами складності 300, 600, 1000 (криві 2, 3, 4 відповідно). Розрахунок виконано для типових морських гідрологоакустич-



Мал. 3

них умов в мілководним каналом поширення звуку. Із зростанням V ефективність виявлення сигналів зростає (тобто, порогове відношення сигнал/завада падає) внаслідок кращого розрівнення променів сигнала з умовах руху. Досліджено ефективність оптимізації просторової обробки гідролокаційних сигналів на фоні вертикальноанізотропних завад (шумів моря та реверберації) в умовах розхитування антен. Показано, що розхитування приймальної антени породжує значні флюктуації у часі кореляційних характеристик зовнішніх завад на її апертурі, що, в свою чергу, приводить до залежності ефективності виявлення сигналів від співвідношення між моментом приходу сигнала та фазами коливальних рухів. Вказана обставина приводить у ряді гідрологоакустичних умов до значного падіння ефективності оптимізації просторової обробки у порівнянні з відомими в літературі оцінками, які було одержано для

стаціонарної ситуації.



Мал. 4

Так, на мал.4 наведена залежність від часу для вертикальної лінійки ЕП, встановленої вздовж твірної суднової циліндричної антени в умовах качки судна. Розрахунок виконано для типових морських гідрологоакустичних умов в приповерхневим поширенням звуку, поміж завад переважала ревербераційна.

Крива 1 мал.4 відповідає оптимальній просторовій

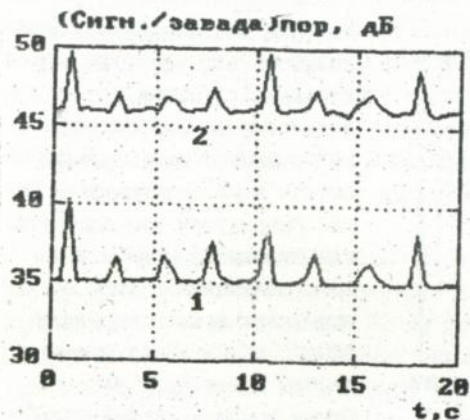
обробці (26), яка враховує вертикальну анізотропію завад, крива 2 - традиційній діаграмоформуючій просторовій обробці, яка виконується без врахування анізотропії завад.

Із мал.4 видно, що у ті моменти часу, коли антена переходить через вертикальне положення, виграш за рахунок оптимізації просторової обробки досягає 12 - 14 дБ. Проте, для більшості моментів часу положення антен відризняється від вертикального, що призводить до зниження просторової кореляції завад і відповідному падінню ефективності оптимізації.

Однак, становище може бути виправлене при використанні не одиначних лінійок ЕП, а поверхневих антен. У цьому випадку формування спрямованості доцільно розбити на два етапи. На першому етапі по кожному горизонтальному ряду ЕП формується віяло горизонтальних ДС. На другому етапі виходить одноіменних ДС усіх горизонтальних рядів об'єднуються, утворюючи результуючу ДС. При цьому внаслідок ізотропності розподілених завад у горизонтальній площині на першому етапі можна користуватися традиційними методами просторової обробки. Врахування вертикальної анізотропії розподілених завад доцільно проводити лише на другому, заключному етапі формування вертикальної спрямованості. Такий розподіл просторової обробки крім економії обчислювальних затрат значно покращує і можливості для оптимізації в умовах розхитування антен, оскільки горизонтальна спрямованість дозволяє подавити ті компоненти завади, які викликають її декореляцію при відхиленні антени від вертикального по-

ложення. Так, на мал.5 наведені результати розрахунків для тих же умов, що і на мал.4, але з попереднім формуванням горизонтальної спрямованості. Зіставлення мал.4 і мал.5 показує, що і останньому випадку середні виграши за рахунок оптимізації значно вище.

Зроблено аналіз ефективності часової обробки



Мал. 5

гідролокаційних сигналів з урахуванням паразитної модуляції їх параметрів, яка виникає внаслідок розхитування антен. Проілюстровано ефекти "розмиття" функції невизначеності простих і складних сигналів, втрати рівня вихідного сигналу, похибки у визначенні параметрів сигналу, які виникають внаслідок паразитної модуляції. Досліджена залежність втрат завадостійкості, зумовлена повним або частковим ігноруванням фактору паразитної модуляції, від тривалості сигналу. Показано, що вказані втрати не перевищують 1 дБ, якщо в межах тривалості сигналу відстань, пройдена кореспондуючими об'єктами, не перевищує 1 - 2 довжини хвилі. Крім того, величина втрат у цьому діапазоні тривалостей від типу випромінюваного сигналу майже не залежить. При зростанні тривалості сигналу вище вказаних меж спостерігається різке зростання втрат у ефективності виявлення сигналів, які особливо значні для складних сигналів.

Одержані результати свідчать про необхідність урахування при виконанні когерентної часової обробки як простих, так і складних сигналів великої тривалості паразитної модуляції їх параметрів - затримки та коефіцієнту часового масштабу. Показано, що часткове урахування тільки паразитної модуляції затримки сигналу радикального поліпшення ситуації не дає.

Досліджено можливість стабілізації характеристик приймального тракту при спотвореннях сигналу, які виникають внаслідок їх паразитної модуляції, за рахунок переходу від когерентної часової обробки (КО) до частково-когерентної (ЧКО), яка виконується за алгоритмом

$$F = \sum_{z=1}^Q \left| \int_{(z-1)\frac{T}{Q} + \tau}^{z\frac{T}{Q} + \tau} u(t) \dot{s}_0(r(t-\tau)) dt \right|^2 \quad (32)$$

Згідно (32) часова обробка складається з двох етапів: спочатку на часових інтервалах, які складають $1/Q$ частину тривалості сигналу, виконується КО окремих фрагментів ("секцій") сигналу, далі результати обробки усіх Q "секцій" некогерентно накопичуються. У випадку $Q = 1$ алгоритм (32) збігається, очевидно, з алгоритмом КО.

Проаналізована ефективність ЧКО простих і складних сигналів в залежності від ступіня секціонування сигналу. Покаано, що зростання ступіня секціонування сигналу, спотвореного паразитною модуляцією, призводить до зниження індекса мерехтіння сигналу та зростання

ню відношення сигнал/завада на виході приймального тракту. В результаті по інтегральному показнику ефективності - пороговому відношенню сигнал/завада на випромінювачі, ЧКО забезпечує значні (6 - 8 дБ) вигоди у завадостійкості по відношенню до КО. Крім того, ЧКО має переваги перед КО і по об'єму обчислювальних витрат, які потрібні для їх реалізації.

В главі 3 розглянуто шляхи подолання інформаційних та технічних обмежень, з якими стикається реалізація методів оптимальної просторової та часової обробки, у напрямку спрощення або виключення окремих її елементів в тих межах, які припускають вимоги по ефективності, а, також, за рахунок використання процедур адаптації.

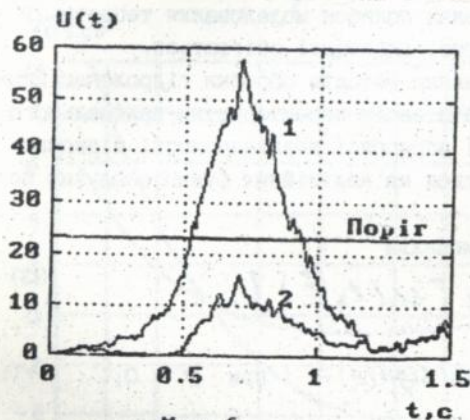
Проведено порівнювальний аналіз ефективності ряду схем квазі-оптимальної обробки багатопроменевих сигналів. Показано, що для тональних сигналів та сигналів помірної складності доцільно використовувати одноканальний тракт з когерентною часовою обробкою та скануванням по інформативним параметрам сигналу (напрямок приходу, затримка, коефіцієнт зміни часового масштабу) з наступним відбором максимальних значень. Для сигналів великої складності ефективність цього тракту незадовільна. Тому для таких сигналів пропонується використовувати замість когерентної часової обробки алгоритм ЧКО (32), який забезпечує краще використання енергії багатопроменевого сигналу і який більш стійкий до похибок гідрологоакустичного прогнозу.

Розглянуто теоретичні і прикладні питання побудови методів: квазіоптимальної та адаптивної просторової обробки, узгодженої із розподіленими компонентами завади. Зокрема, з урахуванням вузькосмуговості приймальних трактів гідролокаційних сигналів проаналізована можливість виключення процедури фільтрації вхідних сигналів при виконанні просторової обробки та її заміни множенням на комплексні вагові коефіцієнти. Зроблено порівнювальний аналіз ефективності оптимальних і квазіоптимальних методів просторової обробки та встановлені обмежувальні умови, за яких припустиме виключення процедури фільтрації. Показано зв'язок цих обмежень із спектрально-кореляційними характеристиками завад та розмірами приймальних ґтертур.

Розглянуто специфічну для адаптивних процедур обробки проблему, пов'язану із "засміченням" навчальних виборок сигналом. У цьому зв'язку для типових умов проаналізована в усталеному режимі ефективність алгоритму Кейпона обчислення адаптивного амплітудно-фазового розподілу чутливості приймальної апертури. Показано, що

при відсутності обмежень на розрядність обчислень алгоритм Кейпона в усталеному режимі практично не поступається по ефективності виявлення сигналів оптимальній просторовій обробці навіть при "засміченні" навчальної виборки сигналом. Проте, обмеження розрядності операндів та арифметичних операцій призводить у випадку "засмічення" навчальних виборок до значного зниження ефективності алгоритму Кейпона. У цьому зв'язку запропоновані заходи для зниження небезпеки "засмічування" навчальних виборок сигналом, які можуть бути застосовані для поверхневих антен в попереднім формуванням по кожному ярусу ЕП віяла горизонтальних ДС. Наявність попередньо сформованого віяла горизонтальних ДС дозволяє при оцінюванні характеристик завади відстроюватись від напрямку приходу сигналу. Крім того, введення додаткової координати, тобто напрямку ДС по пеленгу, створює можливості для кращого усереднення оцінок характеристик завади і, отже, сприяє підвищенню ефективності адаптації.

Розроблено методику та програми для моделювання на ПЕОМ просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів, які забезпечують вирішення задач формування спектрально-кореляційних характеристик завади та гідрологакустичних параметрів сигналу, теоретичний прогноз ефективності адаптивних процедур просторової обробки в усталеному режимі, імітацію полів сигналу і завади та їх адаптивну просторову обробку, когерентну і частково-когерентну часову обробку простих і складних сигналів, оцінку показників ефективності дослід-

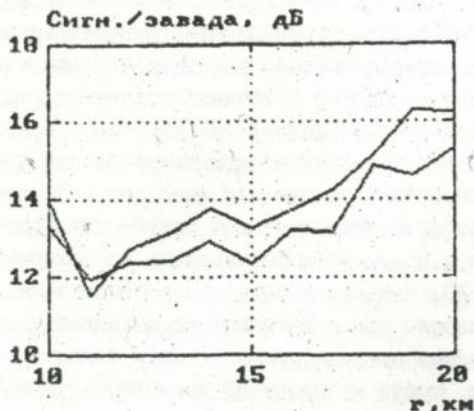


Мал. 6

жуваних алгоритмів, відображення і документування результатів моделювання.

Проведено статистичне моделювання задач адаптивної просторової обробки гідролокаційних сигналів у полі розподілених завад (шумів моря та реверберації). Визначені вимоги на об'єм навчальної статистики, при якому ефективність адаптивних процедур близька до усталених значень.

Підтверджені шляхом моделювання прогнозні оцінки ефективності адап-



Мал. 7.

на рівні окремих реалізацій видно значний вигреш у ефективності, який забезпечує адаптація просторової обробки до кореляційних характеристик розподілених компонент завади. Статистичні оцінки таких вигрешів, одержані у серії із 100 дослідів, показані на мал.7 (пунктир). Розрахунок виконано для тієї ж сигнально-завадової ситуації, що і мал.4,5, але для набору дистанцій до об'єкту локації в діапазоні від 10 до 18 км. Суцільна крива на мал.7 відповідає теоретичному прогнозу, виконаному для усталеного режиму, тобто при відсутності статистичних похибок оцінювання кореляційних характеристик завади. Із мал.7 видно, що в межах похибок моделювання теоретичні та статистичні оцінки ефективності адаптації збігаються.

Глава 4 присвячена дослідженню методів обробки гідролокаційних сигналів, які забезпечують стабілізацію характеристик приймального тракту в умовах непараметричної априорної невизначеності відносно властивостей завади, які базуються на нелінійних функціональних перетвореннях двох типів:

- "жорсткому" обмеженні сигналів

$$\tilde{u}(t, \vec{z}) = \text{sign}[u(t, \vec{z})], \quad (33)$$

де $\text{sign}(z)$ - 1 при $z > 0$ та $\text{sign}(z)$ - -1 при $z < 0$;
 - ранжуванні сигналів

$$\tilde{u}(t_e, \vec{z}_i) = \sum_{m=0}^{n-1} \sum_{p=1}^N a_{me} b_{pi} \text{sign}[u(t_e, \vec{z}_i) - u(t_m, \vec{z}_p)], \quad (34)$$

такій процедур просторової обробки для типових умов функціонування ГЛС в урахування скінченності часу навчання та обмеженої розрядності обчислень. Деякі результати моделювання представлені на мал.6,7. На мал.6 показана одна з реалізацій вихідної напруги приймального тракту з адаптивною (крива 1) і традиційною (крива 2) просторовою обробкою. Вже

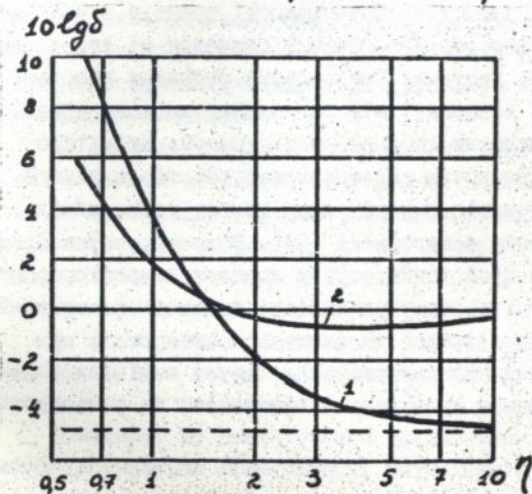
де $\text{sgn}(z) = 1$ при $z > 0$ та $\text{sgn}(z) = 0$ при $z < 0$, A_{me} , b_{pi} - "висікаючі" коефіцієнти, які дорівнюють 0 або 1 у залежності від приналежності відліку до ранжованої виборки.

Перетворення (33) переводить поточну реалізацію акустичного поля у послідовність знаків на виході обмежувача, а ранжування (34) - у послідовність номерів відліків поля у варіаційному ряду, укладеному в порядкових статистик реалізації поля.

Показано, що ранжування (34) еквівалентно у статистичному розумінні нелінійному перетворенню типу $y = P(x)$, де $P(x)$ - інтегральний закон розподілу завади. Завдяки редукції значень поля до знаків або рангів забезпечується підвищення стійкості характеристик приймальних трактів до варіацій властивостей завади на їхньому вході.

Досліджено вплив негауссовості розподілу завади на ефективність непараметричної обробки та показані її переваги перед традиційною лінійною у ситуаціях, коли існує небезпека появи рівких викидів у прийнятій реалізації поля, наприклад, при наявності імпульсних завад. Так, на мал.8 показана ефективність непараметричних процедур обробки з "жорстким" обмеженням (крива 1) та ранжуванням (крива 2) по відношенню до традиційної лінійної в залежності від параметра γ сімейства розподілів

$$p(x) = A \exp(-B|x|^\gamma), \quad (35)$$



Мал.8

де A , B - деякі нормуючі константи. При $\gamma = 1$ розподіл (35) збігається з розподілом Лапласа, при $\gamma = 2$ - з гаусівським розподілом, а при $\gamma \gg 1$ переходить у рівномірний розподіл. Із мал.8 виходить, що у цих умовах непараметричні методи забезпечують у порів'язанні з традиційною лінійною обробкою вигоди завадостійкості

ті, які досягають при $\eta \leq 1$ (2 - 8)дБ. Якщо ж відліки поля достатньо однорідні, то жорстке обмеження призводить до втрат завадостійкості на 5 дБ, у той час, як рангові методи зберігають свою ефективність практично на тому ж рівні, що і лінійні системи.

Слабким місцем непараметричних методів обробки є те, що відповідна теорія розвинута, головним чином, для простих ситуацій, коли завада стаціонарна, а її відліки некорельовані у просторі та часі. У зв'язку з цим в дисертації значну увагу приділено ревізії відомих результатів по аналізу ефективності непараметричних алгоритмів у напрямку наближення вихідних моделей до реальності. Зокрема, досліджено вплив корельованості поля завад на ефективність трактів з непараметричною обробкою. Проаналізовано завадостійкість тракту з жорстким обмеженням при виявленні сигналу на фоні вузько-смугових локальних завад. Показано, що нелінійна взаємодія між компонентами завади призводить до появи на виході жорсткого обмежувача перехрестних складових, які викликають додаткові втрати завадостійкості у порівнянні з ситуацією відсутності кореляції завад. Проте, в роботі проілюстрована можливість подавлення локальних завад у тракту з жорстким обмеженням на (10 - 20) дБ. Однак, ефективність подавлення завад у тракту з непараметричною обробкою виявляється на (5 - 10) дБ гірше, ніж у традиційних лінійних системах, що пояснюється впливом перехрестних компонент завади.

Виконано аналіз характеристик спрямованості трактів з непараметричною обробкою. Показано, що при слабких сигналах ці тракту ведуть себе так, як і лінійні системи. При сильних сигналах спостерігаються ефекти нелінійної взаємодії між сигналами, що може призвести до спотворення характеристик спрямованості тракту. Крім того, показана залежність характеристик спрямованості трактів з непараметричною ранговою обробкою від способу ранжування, тобто конфігурації області підсумовування в алгоритмі (34). Зокрема, встановлено, що найбільш бажаним з цієї точки зору є часове та просторово-часове ранжування. При просторовому ранжуванні можливі ефекти подавлення сигналу для антен лінійної та плоскої конфігурації при прийомі сигналу із фронтального напрямку. Для антен нелінійної геометрії просторове ранжування настільки ж ефективне, як і часове.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

I. В дисертаційній роботі розроблені теоретичні основи просторово-часової обробки гідролокаційних сигналів у складних сигнально-завадових умовах з урахуванням сукупності дестабілізуючих факторів, які включають:

1. Моделі гідролокаційних сигналів і завад з урахуванням специфічного для гідролокаційних систем фактору - власного руху приймально-випромінюючих антен. Ці моделі, на відміну від раніш відомих, враховують складний поступально-коливальний характер руху антен в умовах шаруватої неоднорідності середовища поширення звуку.

2. Оптимальні, квазіоптимальні та адаптивні алгоритми виявлення гідролокаційних сигналів при наявності поступально-коливального руху приймально-випромінюючих антенних систем та з урахуванням багатокomпонентності зовнішніх завад, їх анізотропії, багатопроменевості поля сигналу, а також, флюктуацій його променевих характеристик.

3. Загальну методичку аналізу ефективності оптимальних та квазіоптимальних алгоритмів виявлення гідролокаційних сигналів у складній сигнально-завадовій обстановці при наявності дестабілізуючих факторів.

II. Одержано такі основні наукові результати:

1. Проаналізовано залежність ефективності алгоритмів оптимальної обробки гідролокаційних сигналів від статистичних характеристик флюктуацій комплексних амплітуд променів при використанні простих та складних сигналів.

2. Проведено аналіз ефективності обробки гідролокаційних сигналів в умовах лінійного руху антен. Показано, що лінійну компоненту руху приймальної антени слід враховувати при виконанні просторової обробки в ситуаціях, коли, по-перше, джерела сигналів та завад розташовані по ходу руху антен, по-друге, розміри приймальної апертури максимальні вдовж напрямку руху.

3. Досліджено ефективність оптимізації просторової обробки гідролокаційних сигналів на фоні вертикально-анізотропних завад (шумів моря та реверберації) в умовах розхитування антен.

Показано, що розхитування приймальних антен призводить до значного зниження ефективності оптимізації просторової обробки у порівнянні з відомими у літературі оцінками, одержаними для стаці-

онарної ситуації. Ці втрати можуть бути зменшені за рахунок попереднього формування горизонтальної спрямованості по кожному ярусу антени.

4. Проаналізовано ефективність когерентної та частково-когерентної часової обробки гідролокаційних сигналів з урахуванням паразитної модуляції їх параметрів в умовах розкитування приймально-випромінюючих антен. Досліджено втрати рівня сигналу на виході тракту, зумовлені повним або частковим ігноруванням фактора паразитної модуляції, та встановлено обмеження на тривалість інтервалів когерентної обробки, для яких вказані втрати не перевищують допустимих меж.

5. Проведено статистичне моделювання задач адаптивної просторової обробки гідролокаційних сигналів у полі розподілених завад (шумів моря та реверберації). Підтверджено шляхом моделювання прогнози оцінки ефективності адаптивних процедур обробки для типових умов гідролокаційного спостереження з урахуванням скінченності часу навчання та обмеженої розрядності обчислень.

6. Досліджено можливості застосування непараметричних методів обробки гідролокаційних сигналів, які забезпечують стабілізацію характеристик приймального тракту для більш широкого кола умов, ніж оптимальні та квазіоптимальні алгоритми. Досліджено вплив негауссовості розподілу завади на ефективність непараметричної обробки та показані її переваги перед традиційною лінійною обробкою в ситуаціях, коли існує загроза появи імпульсних завад.

7. Виповнено аналіз впливу корельованості поля завад на ефективність трактів з непараметричною обробкою. Зокрема, досліджено завадостійкість тракту з жорстким обмеженням при виявленні сигналу на фоні вузькосмугових локальних завад та показана можливість їх подавлення на (10 - 20) дБ.

8. Досліджено характеристики спрямованості трактів з непараметричною обробкою і встановлена їх залежність від типу нелінійного перетворення.

III. Бирішено такі прикладні задачі:

1. Знайдено умови застосування розроблених моделей полів сигналів і завад у суднових ГЛС при наявності ходу та качки носія. Ці результати дозволяють, по-перше, оцінити припустимість використан-

ня вказаних моделей у залежності від тривалості інтервалу обробки, розмірів приймальної апертури та динамічних характеристик косія, по-друге характеристики паразитної модуляції сигналів.

2. Запропоновано загальну структуру оптимальних та квазіоптимальних алгоритмів виявлення гідролокаційних сигналів типової ГЛС, розміщеної на рухомому носії. Ця схема порад в традиційними блоками має ряд елементів, які забезпечують урахування параметрів руху антен та характеристики зовнішнього середовища.

3. Розроблено пропозиції по використанню замість когерентної часової обробки частково-когерентної (ЧКО). Застосування ЧКО дозволяє підвищити стійкість характеристик приймального тракту до спотворень сигналу, які виникають внаслідок їх паразитної модуляції, а також похибок гідролокаційного прогнозу.

4. Проведено порівнювальний аналіз завадостійкості ряду схем квазіоптимальної обробки багатопроменевих гідролокаційних сигналів та рекомендовано для практичного використання одноканальний тракт з когерентною або частково-когерентною часовою обробкою та налаштуванням на параметри сигналу, які забезпечують максимальне відношення сигнал/завада на виході тракту.

5. Запропоновані загальносистемні рішення для побудови адаптивних процедур просторової обробки гідролокаційних сигналів у полі розподілених завад. Зокрема, з урахуванням вузькосмуговості приймальних трактів ГЛС проаналізовано можливість заміни процедури адаптивної фільтрації вхідних напруг множенням на комплексні адаптивні вагові коефіцієнти. Встановлено обмеження на смугу тракту, при яких припустима така заміна, та показано зв'язок цих обмежень із спектрально-кореляційними характеристиками завад і розмірами приймальних апертур.

Розглянуто специфічну для адаптивних процедур обробки проблему, пов'язану із "засмічуванням" навчальних виборок сигналом та запропоновані заходи по зниженню виникаючих при цьому втрат.

6. Розроблено методику і програми моделювання оптимальної, квазіоптимальної та адаптивної обробки гідролокаційних сигналів.

Основні результати дисертації викладені в роботах:

1. Ильичев В.И., Калужный А.Я., Красный Л.Г., Лапин В.Ю. Статистическая теория обнаружения гидроакустических сигналов. - М.: Наука, 1992. - 415 с.

2. Каложный А.Я. Оптимизация пространственно-временной обработки эхолокационных сигналов в условиях сложного движения приемно-излучающих антенных систем // Акуст. журн. 1996. т.42. N 1. С.1 - 6.

3. Каложный А.Я. Лучевое представление поля эхолокационных сигналов в слоисто-неоднородной среде при сложном движении приемно-излучающих антенных систем // Акуст. журн. 1994. т.40. N 4. С.599 - 605.

4. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Помехоустойчивость трактов обнаружения сигналов, распространяющихся в статистически-неоднородной среде // Труды 11-ой Всесоюз. акуст. конф. Секция Т. - М., 1991. С.101-104.

5. Каложный А.Я. Помехоустойчивость и направленные свойства антенных решеток с цифровым формированием направленности // Радиотехн. и электр. 1990. т.35. N 4. С.758-767.

6. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Компенсация анизотропных акустических помех // Акуст. журн. 1990. т.36. N 1, С.25-30.

7. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Хавило В.И. Помехоустойчивость и разрешающая способность обнаружителей с ранжированием на выходах элементов антенны // Радиотехн. и электр. 1987. т.32. N 9. С.1877-1887.

8. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Крижановский В.В., Хавило В.И. Устройство для обнаружения низкочастотных гидроакустических сигналов. Авт. свид. СССР N 219579 от 24.05.85.

9. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Хавило В.И. Способ пространственной обработки сигналов. Авт. свид. СССР N 215284 от 01.02.85.

10. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Крижановский В.В. Пространственная обработка акустических сигналов в плоско-параллельном волноводе // Акуст. журн. 1984. т.30. N 4. С.495-501.

11. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Хавило В.И. Разрешающая способность ранговых обнаружителей // Радиотехн. и электр. 1984. т.29. N 2. С.256-264.

12. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Крижановский В.В. Алгоритмы пространственной обработки сигналов в плоскопараллельном волноводе // Труды 10-ой Всесоюз. акустич. конф. Секция Т. - М., 1983. С.37-40.

13. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Устойчивость ранговых обнаружителей // Радиотехн. и электр. 1982. т.27. N 1. С.84-91.

14. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Непараметрические обнаружители с ранжированием по общей опорной выборке // Радиотехн. и электр. 1981. т.26. N 1. С.80-86.
15. Каложный А.Я., Красный Л.Г., Хавило В.И. Ранговый обнаружитель. Авт. свид. СССР N 809016 от 03.11.80.
16. Каложный А.Я. Непараметрические свойства ранговых обнаружителей сигналов по методу "контраста" при нестационарности помехи // Радиотехн. и электр. 1979. т.24. N 1. С.59-65.
17. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Формирователь рангов. Авт. свид. СССР N 701274 ст 06.08.79.
18. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Помехоустойчивость оптимальных и квазиоптимальных ранговых обнаружителей сигналов методом "контраста" // Радиотехн. и электр. 1977. т.22. N 1. С.191 - 195.
19. Каложный А.Я. Влияние нестационарности помехи на стабилизирующие свойства ранговых обнаружителей сигналов по методу "контраста" // Вестн. КПИ. Сер. электроак. и звукотехн. - Киев, 1977, N 1. С.31-32.
20. Каложный А.Я., Красный Л.Г. Моделирование случайных полей // Акуст. и ультразв. техн. - Киев: Техника, 1975, вип.10. С.
21. Лапий Р.Ю., Каложный А.Я., Красный Л.Г. Устройства ранговой обработки информации. - Киев. Техника, 1986. - 120 с.

АННОТАЦИЯ

Каложный А.Я. Методы пространственно-временной обработки гидролокационных сигналов в сложных сигнально-помеховых условиях при воздействии дестабилизирующих факторов (рукопись).
Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.06 - акустика, Ин-т гидромеханики НАН Украины, Киев, 1995.
Разработаны теоретические основы пространственно-временной обработки гидролокационных сигналов в сложных сигнально-помеховых условиях при воздействии дестабилизирующих факторов, которые включают соответствующие модели полей сигналов и помех, оптимальные, квазиоптимальные, адаптивные и непараметрические алгоритмы обработки, методику анализа эффективности. При синтезе и анализе алгоритмов обработки учтены совместно следующие факторы: сложное движение приемно-

излучающих антенных систем, многокомпонентный состав поля помех и их анизотропию, многолучевое распространение сигналов, флуктуации параметров лучей, погрешности технических устройств и др. Выполнен анализ эффективности обнаружения для судовых гидролокационных систем в условиях хода и качки носителя. Численно проиллюстрированы потери в эффективности, обусловленные воздействием дестабилизирующих факторов. Даны рекомендации по практическому использованию в гидролокационных системах квазиоптимальных, адаптивных и непараметрических алгоритмов обработки.

ABSTRACT

Kalyuzhnyi A. Ya. Space-time processing methods for sonar signals in difficult signal-noise conditions under destabilized factors influence (manuscript).

Thesis for Doctor of Physical and Mathematical Sciences degree, speciality 01.04.06 - acoustics, Inst. of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kiev, 1995.

The theoretical principles for space-time processing of sonar signals in difficult signal-noise conditions under destabilized factors influence are proposed. This principles are included proper sonar signal and noise models, optimal, quasi-optimal, adaptive and nonparametric processing algorithms, efficiency analysis methodology. Under processing algorithms synthesis and analysis following factors are considered jointly: complicated motion of receiver-transmitter antenna systems, multicomponent noise fields structure and their anisotropy, signal multipathing propagation, ray parameters fluctuation, technical devices errors and others.

Detection efficiency analysis is done for sonar system aboard a moving and rocking vessel. Loss in efficiency on account of destabilized factors influence are numerically illustrated. Recommendations about practical using quasi-optimal, adaptive and nonparametric processing technique in sonars are given.

Ключові слова: коливання антен, спотворення сигналів, багатопроменевість, узгоджена обробка, адаптація, непараметрична обробка

А. Я. Калужний

Підписано до друку 24.01.1996, формат 60x84/16

Папір офсетний. Умовн.-друк. аркуш. 2,0.

Об.-вид.аркуш 2,0. Тираж 100. . Замовл. 44 .

Поліграф. дільн. Інституту електродинаміки АН України,
252680, Київ-57, проспект Перемоги, 56

442689

АВЗУСТ
АВ 34.067

использования антенных систем, многолучевых излучателей, многолучевых распространения сигналов, флуктуации параметров лучей, неустойчивости технических устройств и др.
Выявлены каналы эффективности обнаружения для типовых гидроакустических систем в условиях хода и качки носителя. Численно проанализированы потери в эффективности, обусловленные воздействием дестабилизирующих факторов. Даны рекомендации по практическому использованию в гидроакустических системах оптимальных, адаптивных и нелинейных методов алгоритмов обработки.

ABSTRACT

Kalyuzhnyi A.Ya. Space-time processing methods for sonar signals in difficult signal-noise conditions under destabilized factors influence (manuscript).

Thesis for Doctor of Physical and Mathematical Sciences degree, speciality 01.04.05 - Acoustics, Inst. of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kiev, 1995.

The theoretical principles for space-time processing of sonar signals in difficult signal-noise conditions under destabilized factors influence are proposed. These principles are included proper sonar signal and noise models, optimal, quasi-optimal, adaptive and nonparametric processing algorithms, efficiency analysis methodology. Under processing algorithms synthesis and analysis following factors are considered jointly: complicated notion of receiver-transmitter antenna systems, multicomponent noise fields structure and their anisotropy, signal multipathing propagation, ray parameters fluctuation, technical devices errors and others.

Detection efficiency analysis is done for sonar system aboard a moving and rocking vessel. Loss in efficiency on account of destabilized factors influence are numerically illustrated. Recommendations about practical using of optimal, adaptive and nonparametric processing technique in sonar systems are given.

Калюжний А.Я. Методы пространственно-временной обработки сигналов в сложных условиях обнаружения при влиянии дестабилизирующих факторов. Рукопись.

8820000
off