

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

на правах рукопису

ОВЧАРОВ КрИМ Вікторович

ДИСТАНЦІЙНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ СЕРЕДОВИЩ  
ЗА ФАЗАМИ КОЕФІЦІЄНТІВ ВІДБИТТЯ

05.11.13 - Прилади і методи контролю природного  
середовища, речовин, матеріалів і виробів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 1993



00802352 (K)

AB 28.655  
Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Черкаському інженерно-технологічному інституті на кафедрі "Приладобудування" та у Київському політехнічному інституті.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
Бакаєв Олександр Іванович

Науковий консультант: кандидат технічних наук, доцент  
Бабак Віталій Павлович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Кадук Б. Г.  
кандидат фізико-математичних наук,  
доцент Сучков О. О.

Провідна установа: Черкаський приладобудівний завод

Захист відбудеться 24 I 1994 р.  
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 068.14.08 при Київському політехнічному інституті (252056,  
Київ-56, проспект Перемоги, 37).

З дисе. ацією можна ознайомитись в бібліотеці  
Київського політехнічного інституту.

Автореферат розісланий 14 XII 1993 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради.

Бабак В. П.

Актуальність роботи. Ультразвуковий контроль середовищ базується на явищах взаємодії пружних коливань з середовищем, що досліджується. В залежності від акустичних властивостей середовища, при відбитті, сигнали зазнають зміни. Характер цих змін визначається умовами відбиття, поглинання, розповсюдження.

Методи контролю використовують залежність пружних властивостей середовищ від їх фізико-хімічного складу. При цьому найбільш інформативним параметром є акустичний імпеданс середовища.

Акустичний імпеданс, в загальному випадку, має комплексне значення, яке залежить від механічних витрат на розповсюдженні ультразвукових хвиль в середовищі. Відомо, що акустичні імпеданси межуючих середовищ визначають коефіцієнт відбиття, який також може бути комплексним. На підставі цього є можливість визначити комплексний імпеданс середовища, що досліджується, через імпеданс межуючого середовища та комплексний коефіцієнт відбиття.

Впроваджені в практику засоби дистанційного контролю оцінюють пружні властивості середовищ за амплітудами відбитих сигналів. Але це не завжди вирішує проблему визначення властивостей середовища, бо амплітуди відбитих сигналів залежать від модуля співвідношення між акустичними імпедансами межуючих середовищ і не несуть інформації про фазу коефіцієнта відбиття. Крім того, на амплітуди сигналів мають вплив розміри відбиваючої поверхні, її орієнтація в діаграмі антени, відстань, поглинання хвиль у середовищі розповсюдження. Усе це робить амплітудні оцінки акустичних властивостей середовищ приблизними, маючими порівняльний характер.

Тому уявляється перспективним створення засобів, які поряд з

амплітудними вимірюваннями, виконували б дистанційне визначення фаз коефіцієнтів відбиття.

Мета роботи. Розробка методів та засобів дистанційного контролю середовищ за фазами коефіцієнтів відбиття.

Наукова новизна.

1. Розроблені методи дистанційного контролю середовищ за фазами коефіцієнтів відбиття.
2. Запропонований спосіб усунення неоднозначного визначення фаз коефіцієнтів відбиття.
3. Створений пристрій дистанційного контролю середовищ за фазами коефіцієнтів відбиття.

Практична цінність роботи. На основі розроблених методів дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття створений технічний пристрій дистанційного контролю середовищ. Застосування цього пристрою в умовах гідроакустичного басейну дозволило підвищити інформативність дистанційного контролю середовищ і разом з існуючими амплітудними методами акустичного контролю перейти до контролю середовищ за комплексними коефіцієнтами відбиття.

На захист виносяться наступні наукові положення.

1. Методи дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття.
2. Технічний пристрій дистанційного контролю середовищ за фазами коефіцієнтів відбиття.
3. Результати експериментальних досліджень ефективності використання розробленого пристрою дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття.

Реалізація роботи. Результати дисертаційної роботи впроваджені у науково-дослідному інституті проблем механіки (м. Київ) в гідроакустичних засобах селекції сигналів перевідбитих від водної поверхні, та використовуються в учбовому процесі на кафедрі прила-

добудування Черкаського інженерно-технологічного інституту.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних симпозиумах з акустики OSA-90, SHA-92, SHA-93 (Польща, Гданськ-Гдиня, 1990, 1992, 1993 р.р.) та наукових семінарах кафедр фізики і приладобудування Черкаського інженерно-технологічного інституту в 1990-93 роках.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 7 роботах, в тому числі 3 позитивних рішення про видання авторських свідоцтв.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, основних результатів роботи, списку літератури, додатку. Робота викладена на 148 сторінках.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета роботи, відображені основні результати роботи.

В першій главі проведено огляд основних методів імпедансного контролю середовищ за комплексними коефіцієнтами відбиття. Методи класифіковані за принципом вимірювання параметрів акустичного поля на методи стоячих і методи бігучих хвиль.

Серед першої групи коротко проаналізовані методи пересувного зонда, змінної довжини, змінної частоти, визначення тиску в декількох точках, порівняння.

Методи другої групи розглянуті як методи, що враховують відстань до відбиваючої межі розподілу середовищ і як методи дистанційного контролю.

Визначено, що застосування методів стоячих хвиль дозволяє контролювати середовище за його комплексним імпедансом шляхом ви-

вимірювання модуля і фази коефіцієнта відбиття. Але існуючі методи не можуть належати до дистанційних вимірювань, бо базуються на аналізі акустичного поля безпосередньо поблизу межі розподілу середовищ.

Це ж саме стосується і методів бігучих хвиль, які використовують параметри падаючої та відбитої хвиль поблизу середовища, що досліджується.

При дистанційному контролі визначення імпеданса повинно забезпечуватись на довільній відстані. В цьому випадку окремо проводять вимірювання амплітуд і фаз відбитих сигналів. Амплітудні методи контролю відомі.

Методи дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття використовують сигнали на різних частотах. Це забезпечує підвищення точності результатів і пояснюється тим, що при такому зондуванні середовища сигнали проходять однакові відстані в одному напрямку і одночасно. Такі обставини дають підстави розглядати розвиток багаточастотних методів як основний напрям дистанційного контролю середовищ за фазами коефіцієнтів відбиття.

Друга глава присвячена теоретичному розгляду методів дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття. В залежності від способів отримання інформації розглянуті методи з використанням вимірювань зсувів фаз відбитих сигналів відносно опорних і методи з використанням фазових вимірювань між відбитими сигналами. В кожній з цих груп проаналізовані методи, що використовують амплітудно-модульовані сигнали, сигнали у формі біття та двочастотні (багаточастотні) сигнали.

Різниця між указаними методами полягає в тому, що в перших двох випадках для визначення фази коефіцієнта відбиття використовується обвідна сигналу, а в останньому випадку - спектральні

складові сигналу.

Рішення задачі дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття, з аналізом впливаючих факторів, більш повно розглянуто для двочастотного методу і поширено на інші методи.

Дwochастотний метод полягає в зондуванні середовища складним сигналом  $u(t)$ , що включає в спектр частоти  $f_1$  та  $f_2$ :

$$u(t) = U_{r1} \cos(2\pi f_1 t) + U_{r2} \cos(2\pi f_2 t) = u_1(t) + u_2(t), \quad (1)$$

де  $U_{r1}$ ,  $U_{r2}$  - амплітуди сигналів на частотах  $f_1$  та  $f_2$ , відповідно. Початкові фази сигналів  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$  прийняті рівними нулю.

Відбитий сигнал в точці прийому

$$u_m(t) = U_{r1} \cos(2\pi f_1 (t - 2R/C) - \varphi) + U_{r2} \cos(2\pi f_2 (t - 2R/C) - \varphi), \quad (2)$$

де  $R$  - відстань до межі розподілу середовищ;

$C$  - швидкість розповсюдження сигналів;

$\varphi$  - фаза коефіцієнта відбиття.

Виконавши порівняння фаз відбитих коливань відносно відповідних опорних, отримуємо:

- для частоти  $f_1$

$$\psi_1 = 2\pi f_1 (2R/C) + \varphi - 2\pi n_1; \quad (3)$$

- для частоти  $f_2$

$$\psi_2 = 2\pi f_2 (2R/C) + \varphi - 2\pi n_2; \quad (4)$$

де  $n_1$ ,  $n_2$  - цілі числа, що дорівнюють кількості періодів коливань з частотами  $f_1$  та  $f_2$ , відповідно, що укладаються на часовому інтервалі розповсюдження сигналів.

В аналітичному вигляді числа  $n_1$  та  $n_2$  визначаються так:

$$n_1 = [ f_1 (2R/C) + \varphi / (2\pi) ]; \quad (5)$$

$$n_2 = [ f_2 (2R/C) + \varphi / (2\pi) ]; \quad (6)$$

де  $[ ]$  - квадратними дужками позначена ціла частина від виразу.

Конкретні чисельні значення  $n_1$  та  $n_2$  можуть бути отримані тільки з урахуванням відстані  $R$ , швидкості  $C$  і фази  $\varphi$ , які

є невідомими.

Визначивши відстань  $R$  з виразу (3) та підставивши в вираз (4) подано значення  $\varphi$  формулюю:

$$\varphi = \psi_1 f_2 / (f_2 - f_1) - \psi_2 f_1 / (f_2 - f_1) - 2\pi(p_m f_1 - p_n f_2) / (f_2 - f_1). \quad (7)$$

При невідомих значеннях  $p_1$  та  $p_m$  вираз (7) jednoznacznego розв'язку не має.

Аналогічний підхід використовується і у методах з амплітудно-модульованими сигналами та сигналами у формі биття. Різниця полягає тому, що порівняння фаз відбитих коливань відносно опорних виконується на несучій частоті та на частоті обвідної сигналів. Для метода з сигналами у формі биття показані особливості визначення фаз коефіцієнтів відбиття в точках переходу обвідної через нуль.

Далі розглядаються способи усунення неоднозначного визначення фаз коефіцієнтів відбиття. Для цього у виразі (7) припускають наступні випадки:

- 1) коли  $p_1 = 0$  та  $p_m = 0$ ;
- 2) коли  $p_1 = 0$ , а  $p_m \neq 0$ ;
- 3) коли  $(p_m f_1 - p_1 f_2) / (f_2 - f_1) =$  ціле число;
- 4) коли  $p_m f_1 / (f_2 - f_1) =$  ціле число та  $p_1 f_2 / (f_2 - f_1) =$  ціле число.

В першому випадку показано, що вимога  $p_1 = 0$  та  $p_m = 0$ , визначається періодом  $T_m$  більш високої частоти  $f_2$  і полягає в обмеженні відстані до середовища, що досліджується:

$$R/C < T_m (1 - \varphi / (2\pi)). \quad (8)$$

Приймаючи можливими зміни фази  $\varphi$  в інтервалі  $(0 - 2\pi)$  маємо, що відстань наближається до нуля і спосіб не працює.

Не має практичного значення для двочастотного метода і другий випадок. Але для методів з амплітудно-модульованими сигналами і сигналами у формі биття цей випадок може використовуватись з обме-

женням по відстані:

- для амплітудно-модульованих сигналів

$$2R/C < 1/F; \quad (9)$$

- для сигналів у формі биття

$$2R/C < 1/(f_2 - f_1), \quad (10)$$

де  $F$  - частота модулюючого сигнала.

Фаза коефіцієнта відбиття при цьому буде визначатися так:

- для амплітудно-модульованих сигналів

$$\varphi = \varphi - \gamma f/F + 2\pi[\gamma f/(2PF)]; \quad (11)$$

- для сигналів у формі биття

$$\varphi = \varphi_0 - \gamma_0 (f_2 + f_1)/(f_2 - f_1) + 2\pi[\gamma_0 (f_2 + f_1)/(2P(f_2 - f_1))], \quad (12)$$

де  $\varphi$ ,  $\varphi_0$  - зсуви фаз відбитих сигналів несучої частоти відносно опорних для АМ-сигналів і сигналів у формі биття, відповідно;

$\gamma$ ,  $\gamma_0$  - зсуви фаз обвідних відбитих сигналів відносно обвідних опорних сигналів для АМ-сигналів і сигналів у формі биття, відповідно.

Вимога третього випадку може бути виконана, коли частоти  $f_1$  та  $f_2$  кратні:  $f_2 = m f_1$ , де  $m$  - ціле число. В такому разі фаза коефіцієнта відбиття для амплітудно-модульованих сигналів і сигналів у формі биття визначається виразами (11) і (12), відповідно, але з умовами що:

- для амплітудно-модульованих сигналів  $f/F = m =$  ціле число;

- для сигналів у формі биття  $(f_2 + f_1)/(f_2 - f_1) = m =$  ціле число.

Для двочастотного метода фаза  $\varphi$  буде визначатися наступним виразом:

$$\varphi = \varphi_1 f_2/(f_2 - f_1) - \varphi_2 f_1/(f_2 - f_1) - 2\pi[(\varphi_1 f_2 - \varphi_2 f_1)/(2P(f_2 - f_1))]. \quad (13)$$

В четвертому випадку неоднозначність може бути усунена коли частоти  $f_1$  та  $f_2$  задовільняють умовам:

$$f_1/(f_2 - f_1) = m_1 \quad \text{і} \quad f_2/(f_2 - f_1) = m_2, \quad (14)$$

де  $m_1, m_2$  - цілі числа.

Такі умови дозволяють визначати фази коефіцієнтів відбиття на близьких частотах, коли вплив частотної залежності коефіцієнта відбиття відсутній. Вираз для визначення фази  $\varphi$  в цьому випадку має вигляд:

$$\varphi = \psi_1 m_2 - \psi_2 m_1 - 2\pi([\psi_1 m_2 / (2\pi)] - [\psi_2 m_1 / (2\pi)]). \quad (15)$$

Двочастотний метод з близькими частотами може бути поширений на  $n$ -часті:  $f_1; f_2; \dots; f_n$ . При цьому фаза коефіцієнта відбиття буде визначатися по вимірванням на двох частотах:  $f_1$  і  $f_2$ ;  $f_2$  і  $f_3$ ;  $\dots$ ;  $f_{n-1}$  і  $f_n$ . Використання ряду частотних складових дозволяє оцінити частотну залежність фази коефіцієнта відбиття.

Серед особливостей дистанційного визначення фази коефіцієнта відбиття це питання розглянуто детальніше і розроблено метод визначення лінійності фазочастотної характеристики коефіцієнта відбиття. Використовуються частоти  $f_1, f_2, f_3$ , підібрані із умов:

$$f_1 / (f_3 - f_1) = m_2; \quad f_2 / (f_3 - f_1) = m_4; \quad f_3 / (f_3 - f_1) = m_3; \\ (f_3 - f_1) = 2(f_2 - f_1). \quad (16)$$

де  $m_2, m_4, m_3$  - цілі числа.

Вимірюються різниці фаз відбитих сигналів відносно опорних:

$$\psi_1 = 2\pi f_1 (2R/C) + \varphi - 2\pi n_1$$

$$\psi_2 = 2\pi f_2 (2R/C) + \varphi + \Delta\psi_2 - 2\pi n_2$$

$$\psi_3 = 2\pi f_3 (2R/C) + \varphi + \Delta\psi_2 + \Delta\psi_3 - 2\pi n_3,$$

де  $\Delta\psi_2$  - приріст фази коефіцієнта відбиття на частоті  $f_2$ , відносно значення  $\varphi$  на частоті  $f_1$  (рис.1):

$\Delta\psi_3$  - приріст фази коефіцієнта відбиття на частоті  $f_3$ , відносно значення  $(\varphi, \Delta\psi_2)$  на частоті  $f_2$  (рис.1):

Визначаються розрахункові значення:

$$\varphi_{p1} = \psi_1 m_2 - \psi_3 m_2 - 2\pi([\psi_1 m_2 / (2\pi)] - [\psi_3 m_2 / (2\pi)]);$$

$$\varphi_{p2} = \psi_1 m_4 - \psi_2 m_3 - 2\pi([\psi_1 m_4 / (2\pi)] - [\psi_2 m_3 / (2\pi)]).$$

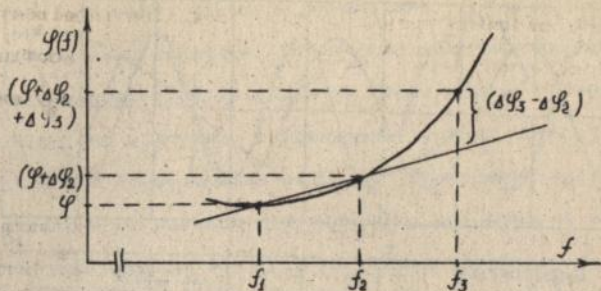


Рис. 1. Визначення частотної залежності фази коефіцієнта відбиття

Різниця між значеннями  $\varphi_{p2}$  і  $\varphi_{p1}$  буде дорівнювати:

$$\varphi_{p2} - \varphi_{p1} = (\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_3) \text{ т.д.} \quad (17)$$

Якщо зміна фази  $\varphi$  в залежності від частоти має лінійний характер на ділянці від  $f_1$  до  $f_2$ , то  $\Delta\varphi_2 = \Delta\varphi_3$  і вираз (17) дорівнює нулю. При інших значеннях ( $\varphi_{p2} - \varphi_{p1}$ ) залежність фази коефіцієнта відбиття для середовища, що досліджується, носить нелінійний характер.

В методах, що використовують тільки відбиті сигнали, задача визначення  $\varphi$  вирішується за допомогою перетворення частот сигналів. Розглянуто ряд рішень, які дозволяють визначити фазу коефіцієнта відбиття, серед яких виділений метод, що дає змогу обійтись без переносу спектру сигналів.

Для кратних частот фаза коефіцієнта відбиття визначається:

$$\varphi = 2\pi \Delta t f_1 f_2 / (f_2 - f_1), \quad (18)$$

де  $\Delta t$  - часовий відрізок між переходами через нуль відбитих сигналів.

При використанні близьких частот запропонований інший метод визначення  $\varphi$ , який пояснюється рис. 2. За допомогою перетворення

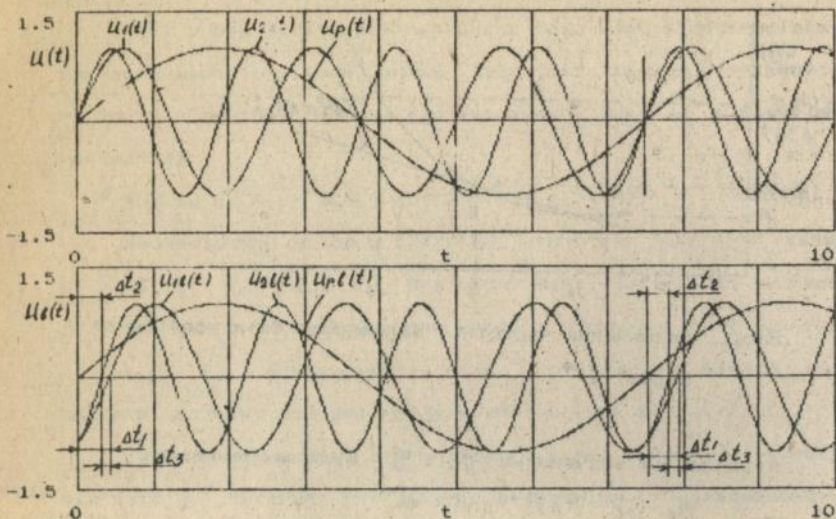


Рис. 2 Визначення фази коефіцієнта відбиття близькими частотами

відбитих сигналів в сигнал різницевої частоти  $u_{\Sigma}(t)$  і вимірювань часових інтервалів між точками переходів через нуль сигнала  $u_{\Sigma}(t)$  та відбитих сигналів на частотах  $f_1$  або  $f_{\Sigma}$ , визначається фаза коефіцієнта відбиття:

- для частоти  $f_1$

$$\varphi = 2\pi \Delta t_1 f_1; \quad (19)$$

- для частоти  $f_{\Sigma}$

$$\varphi = 2\pi \Delta t_{\Sigma} f_{\Sigma}. \quad (20)$$

• Крім того, фаза  $\varphi$  може визначатись через часовий інтервал  $\Delta t_{\Sigma}$ :

$$\varphi = 2\pi \Delta t_{\Sigma} f_1 f_{\Sigma} / (f_{\Sigma} - f_1). \quad (21)$$

але такі вимірювання повинні виконуватись лише поблизу переходів через нуль сигнала  $u_{\Sigma}(t)$ .

Далі в роботі розглядається вплив на результат визначення фаз коефіцієнтів відбиття таких факторів як: частотна залежність ко-

ефіцієнта відбиття, ефект Допплера, короткочасова нестабільність частоти, похибки фазових вимірювань, неоднорідність середовища розповсюдження сигналів. Серед особливостей дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття розглянуті питання розізнюючої здатності по відстані, порівняльної оцінки точності методів вимірювання фаз коефіцієнтів відбиття. Проведений аналіз показав, що не зважаючи на різницю між методами, всі вони не змінюють характер впливу розглянутих факторів на результат. Разом з тим, окремо виділений метод з використанням близьких частот, що дозволяє уникнути впливу частотної залежності коефіцієнтів відбиття.

Третя глава присвячена розробці технічного пристрою дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття. Виконано чисельний аналіз комплексних коефіцієнтів відбиття для пласта з оргскла у воді. Встановлені теоретичні залежності коефіцієнтів відбиття на окремих частотах та результати двочастотного визначення фаз. Показано, що результат двочастотного визначення фази  $\varphi$  залежить як від комплексних акустичних імпедансів межуючих середовищ так і від розмірів відбиваючого пласта.

Виконано аналіз взаємного впливу частотних складових зоряючого сигнал. Встановлено, що існують точки мінімальним впливом частотних складових на результат. На підставі цього зроблено висновок про доцільність використання двочастотного метода з перетворенням до різницевої частоти.

Розроблено пристрій, що реалізує двочастотний метод з перетворенням до різницевої частоти. Розглянута його структурна схема. Обгрунтовано вибір методу вимірювання різниці фаз з перетворенням в інтервал часу.

Визначені похибки вимірювання обумовлені наступними причинами:

- взаємний вплив частотних складових сигналу;
- вплив акустичного імпедансу середовища на ультразвуковий перетворювач;
- вплив ефекту Допплера;
- похибки фазометра.

Аналіз кожної з цих складових основної похибки вимірювань завершується пропозиціями, що до їх зменшення.

В результаті було встановлено, що основна похибка розробленого пристрою становить 3,5 град.

Метрологічне забезпечення завершується розробленими методиками калібрування та перевірки. Калібрування пристрою виконується за допомогою еталонного відбивача з нульовою фазою коефіцієнта відбиття. Як відбивач розглянуто тонку дюралеву пластину.

Перевірка пристрою виконується з застосуванням двох еталонних відбивачів, що забезпечують  $\varphi = 0$  град. і  $\varphi = 180$  град. Вимірювання виконуються двічі:

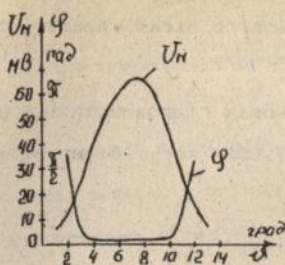
- при першому вимірюванні встановлюють нуль пристрою;
- при другому - фіксують значення  $\varphi = 180$  град.

Четверта глава містить результати дослідження двочастотного фазового метода дистанційного контролю середовищ. Ставилась задача практично одержати значення модулів та фаз коефіцієнтів відбиття від різних середовищ у воді. Вимірювання проводились в три етапи.

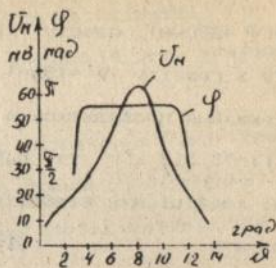
На першому етапі проводилось визначення коефіцієнтів відбиття від меж розподілу вода-дюраль, вода-пінопласт, вода-пориста гума, вода-оргскло, вода-пласт ЗМК (залізо-марганцеві конкреції).

На другому етапі було проведено визначення залежності амплітуд відбитих сигналів і фаз коефіцієнтів відбиття від напрямку на антену, для середовищ, що досліджуються.

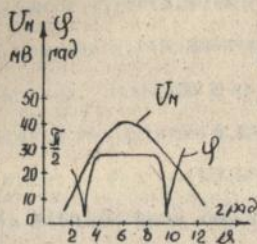
На третьому етапі визначались коефіцієнти відбиття від пласти



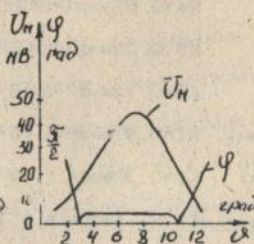
а) вода - дюраль



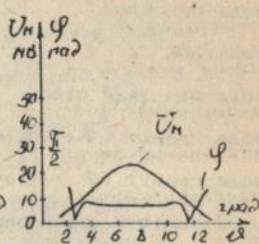
б) вода - пінопласт



в) вода - пориста гума

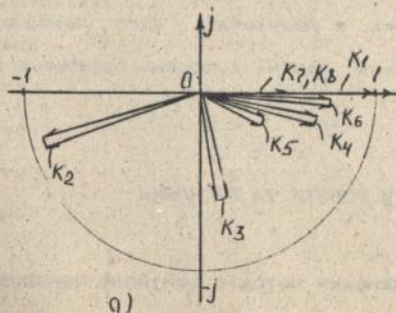


з) вода - оргскло

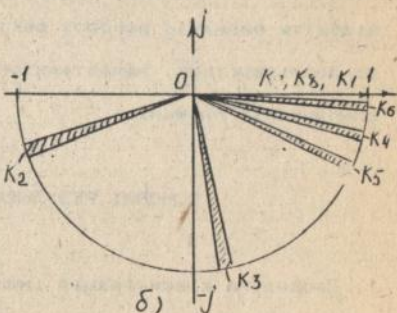


д) вода - ЗМК

Рис. 3. Залежність амплітуд відбитих сигналів і коефіцієнтів відбиття від напрямку на антену.



а)



б)

Рис. 4. Коефіцієнти відбиття на комплексній площині:

а) як комплексні коефіцієнти відбиття;

б) як фазові компоненти комплексних коефіцієнтів відбиття.

з граніту ( $\phi = 250\text{мм}$ ), пласту річкового піску, пласту ЗМК ( $\phi = 45\text{мм}$ ) та пласту з граніту ( $\phi = 45\text{мм}$ ).

Вимірювання проводились в умовах гідроакустичного басейну на частоті  $f_1 = 75,316 \text{ кГц}$  та  $f_2 = 87,869 \text{ кГц}$ . Були визначені такі комплексні коефіцієнти відбиття:

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1) вода-дюраль                           | $K_1 = 1;$                          |
| 2) вода-пінопласт                        | $K_2 = 0,95 \exp(-j(160,5 - 166));$ |
| 3) вода-пориста гума                     | $K_3 = 0,6 \exp(-j(77 - 80,5));$    |
| 4) вода-оргскло                          | $K_4 = 0,67 \exp(-j(10,9 - 14,4));$ |
| 5) вода-ЗМК                              | $K_5 = 0,28 \exp(-j(22,7 - 26,2));$ |
| 6) вода-річ зв'язний пісок               | $K_6 = 0,73 \exp(-j(2,0 - 5,5));$   |
| 7) вода-граніт ( $\phi = 250\text{мм}$ ) | $K_7 = 0,37 \exp(-j(0 - 2,6));$     |
| 8) вода-граніт ( $\phi = 45\text{мм}$ )  | $K_8 = 0,39 \exp(-j(0 - 2,6)).$     |

Залежність амплітуд відбитих сигналів і фаз коефіцієнтів від напрямку на антену показано на рис. 3.

На рис. 4. подані визначені коефіцієнти відбиття у вигляді векторів на комплексній площині.

Характерно, що фазова компонента комплексного коефіцієнта відбиття визначає поворот вектора, в результаті чого середовище, що досліджується, характеризується своїм кутовим положенням на комплексній площині.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Проведена класифікація імпедансних методів контролю середовищ і виконано узагальнюючий аналіз принципів їх функціонування. Визначено основний напрямок розвитку дистанційних методів визначення фаз коефіцієнтів відбиття.

2. Розроблені способи усунення неоднозначності дистанційного

визначення фаз коефіцієнтів відбиття, на підставі чого запропоновані нові методи визначення фаз коефіцієнтів відбиття.

3. Виконано аналіз похибок методів дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття.

4. Розроблено пристрій дистанційного визначення фаз коефіцієнтів відбиття. Проаналізовані і визначені похибки вимірювань. Пристрій забезпечує дистанційне визначення фаз коефіцієнтів відбиття з похибок 3,5 град.

5. Розроблені і обгрунтовані методики калібрування та перевірки засобів такого призначення.

6. Виконані експериментальні дослідження в умовах гідроакустичного басейну. Визначені комплексні коефіцієнти відбиття для зразків з різних матеріалів і для ділянок підводних ґрунтів. Досліджені залежності фаз коефіцієнтів відбиття від напрямку на антену. Зроблені висновки про інформативність вибраного параметру для контролю середовищ.

7. Ефективність запропонованих рішень підтверджена впровадженням розроблених методів визначення фаз коефіцієнтів відбиття в гідроакустичних засобах.

1. E. Vasil'tsov, Y. Ovcharov. Peculiarity of reflectance evaluation by phase method. Proceedings of the XXXVII OPEN SEMINAR ON ACOUSTICS. Gdansk Technical University, 1990, p. 314-317.
2. E. Vasil'tsov, Y. Ovcharov. Modes of the remote values of the phase characteristics of the submarine reflected bounds. Proceedings of the IX-th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS, Gdansk Technical University, 1992, p. 207-211.
3. E. Vasil'tsov, Y. Ovcharov. The principles and methods of determination of complex impedance of the bottom. Proceedings of the X-th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS, Gdansk Technical University, 1993, p. 112-119.
4. Y. Ovcharov. Hydroacoustic system for estimating of complex impedance of the bottom. Proceedings of the X-th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS, Gdansk Technical University, 1993, p. 207-215.
5. Способ дистанционного определения фазы коэффициента отражения. С.О. Васильцов, Ю.В. Овчаров. Позитивне рішення за заявкою N4928916/09 від 05.03.1991.
6. Способ дистанционного определения фазы коэффициента отражения АМ-сигналами. С.О. Васильцов, Ю.В. Овчаров. Позитивне рішення за заявкою N4933828/09 від 30.04.1991.
7. Способ определения фазы коэффициента отражения. Ю.В. Овчаров. Позитивне рішення за заявкою N4839225/09 від 21.08.1991.

*Obf*

462160

AB 28.655