

УДК 628.4: 504

АКУСТИЧНІ МЕТОДИ ТА КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ МАТЕРІАЛУ ОБ'ЄКТА

В.Д. Погребенник

Національний університет „Львівська політехніка”
вул. Ген. Чупринки, 130, Львів, 79057, Україна

Актуальність дослідження обумовлено необхідністю постійного підвищення вірогідності контролю забруднення водних середовищ та розроблення нових вимірювальних засобів та вдосконалення методів контролю параметрів забруднення з метою забезпечення вимог, які все зростають, до якості поверхневих вод. Екологічний контроль стану водних середовищ може здійснюватися на основі визначення інтегральних параметрів, які характеризують вміст органічних та неорганічних домішок. Зміну концентрацій розчинених у воді забруднювальних речовин та завислих частинок можливо досліджувати одночасно декількома методами, як оптичними, так і акустичними, що дасть можливість підвищити чутливість і швидкість визначення концентрацій, розширити динамічний діапазон, вимірювати вміст неорганічних та органічних речовин. Метою роботи є підвищення чутливості вимірювання загальної концентрації домішок у воді.

Методологічну базу дослідження становлять принципи комплексності, достовірності та наукової об'єктивності. Для виявлення стану розробленості теми долучено загальнонаукові методи – порівняння, узагальнення, аналіз, які дали можливість виокремити найсуттєвіше у питаннях створення комп'ютерних систем вимірювання загальної концентрації домішок у речовині, а також забезпечили цілісність розгляду питань.

У проведеному дослідженні виокремлено та проаналізовано методи побудови комп'ютерних систем вимірювання загальної концентрації домішок у речовині, наголошено на їх відмінності від відомих акустичних систем. Наголошено на його визначальному впливі на формування науково-технологічних засад. Запропоновано новий метод визначення загальної концентрації домішок у речовині. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що запропоновано методи побудови систем загальної концентрації домішок у речовині, які мають підвищену чутливість. Новизну методу визначення загальної концентрації домішок у речовині підтверджено патентом України на винахід.

Системи визначення загальної концентрації домішок у речовині мають непересічне науково-практичне значення для оперативного екологічного моніторингу і контролю забруднення поверхневих вод. Фактичний матеріал, висновки статті можна використати в навчальних курсах з інформаційно-вимірювальних технологій та екологічного контролю.

Ключові слова: моніторинг поверхневих вод, концентрація домішок у воді, ультразвуковий сигнал, акустичний перетворювач.

Вступ. Однією з актуальних проблем екології, океанології та гідрології є визначення характеристик морського (річкового) дна.

Розпізнавання відкладів морського дна з допомогою акустичних методів має велике значення для вивчення та освоєння морів, океанів, рік і водоймищ. Зараз використовують методи розпізнавання донних відкладів морського дна за зразками, що відбирають з допомогою різних пристроїв (пробовідбірників), які не тільки трудоємні, незручні і неоперативні, але й досить неточні, оскільки місця відбору зразків лежать далеко одне від одного – від декількох сотень метрів до декількох десятків кілометрів. Ще важче користуватися цими методами за глибин, які більше сотень метрів.

Традиційні методи механічного відбору зразків з огляду на їх громіздкість, дороговизну і малу надійність не відповідають сьогоднішнім потребам. Спеціалісти-океанологи, інженери, акустики і геологи працюють над пошуком оперативних і надійних методів класифікації донних відкладів.

Викликають інтерес оперативні, зручні, економічні і надійні методи телеметрії (дистанційного зондування) з допомогою звукових хвиль.

З розвитком досліджень донних відкладів все більшу увагу звертають на залежність акустичних властивостей відкладів від їх типу. ВІС розпізнавання об'єктів (донних відкладів) описано раніше [1]. Найцікавішою є задача розпізнавання об'єктів за відмінністю їх акустичних характеристик [1]. Для цього об'єкти опромінюють ультразвуковими хвилями і аналізують властивості ехо-сигналів від об'єктів.

Суть акустичного методу полягає в тому, що характеристики донних відкладів визначають, розв'язуючи обернену задачу за вимірними параметрами акустичних сигналів. Найпоширенішим пристроєм для вимірювання віддалі до дна та його характеристик є ехолот. З його допомогою можна визначити тільки глибину акваторії і приблизно характеристики дна [1].

Акустичні методи класифікації матеріалів об'єктів

Для класифікації донних об'єктів та ґрунтів запропоновано метод класифікації матеріалу [2], в якому в напрямі до об'єкту (дна) випромінюють одночасно два акустичних сигнали з частотами f_1 і $f_2=2f_1$, приймають відбиті сигнали від об'єкту, сигнали з частотою f_1 подвоюють по частоті, а про матеріал об'єкту судять за різницею фаз подвоєної напруги і напруги з частотою f_2 .

Для реалізації методу запропоновано пристрій [2], який містить двочастотний передавальний тракт, комутатор, два акустичних перетворювачі, блок керування і фазовий детектор.

Недоліком цього методу і пристрою є необхідність використання широкосмугового акустичного випромінювача, строго ідентичних фазових характеристик генераторних блоків. Крім того, наявність неоднорідностей в середовищі поширення призводить до порушення фазового синхронізму сигналів.

Інший метод класифікації матеріалу об'єкту подано у [3]. Імпульсний акустичний сигнал випромінюють на частоті f_1 в напрямі до об'єкту, приймають відбитий сигнал на частотах f_1 і $f_2=2f_1$, подвоюють за частотою сигнал з частотою

тою f_1 , вимірюють різницю фаз між подвоєною напругою і напругою з частотою f_2 , за якою судять про матеріал об'єкту.

Пристрій для реалізації способу [3] містить випромінювальний та приймальний широкосмгові акустичні перетворювачі, передавальний тракт, два фільтри, подвоєвач частоти, фазовий детектор, блок керування та індикатор.

Недоліком описаного методу і пристрою є те, що вони дають змогу здійснювати тільки грубу класифікацію об'єктів або ґрунтів, оскільки об'єкти в них розділяють на два класи – жорсткі та акустично м'які (оскільки розрізняється різниця фаз тільки за двох значень – 0 і π). Крім того, цей метод не дає змогу розрізнити матеріали з високим акустичним імпедансом. У методі використовують тільки перший відбитий сигнал, що знижує інформативність розпізнавання.

Розглянемо метод класифікації матеріалу об'єкту [4], у якому випромінюють ультразвуковий імпульсний сигнал з частотою заповнення f_1 , приймають багаторазово відбиті сигнали від об'єкту і поверхні води на частотах f_1 і $f_2 = 2f_1$, виділяють обвідні багаторазово відбитих сигналів, порівнюють їх з пороговим значенням і за відношенням амплітуд багаторазово відбитих сигналів, які перевищили порогове значення на частотах f_1 і f_2 , судять про матеріал об'єкту.

Спосіб реалізується пристроєм [4], який містить імпульсний генератор, вихід якого через комутатор підключено до ультразвукового перетворювача, вихід останнього через комутатор з'єднано зі входом приймально-підсилювального пристрою, вихід якого підключено до послідовно з'єднаних порогового пристрою і часового селектора, вихід останнього з'єднано зі входом блоку керування, зі входами першого і другого фільтрів, виходи останніх підключено до входів першого і другого блоків виділення обвідної сигналів, виходи яких з'єднано зі входами пристрою для вимірювання відношення амплітуд, вихід блоку порівняння послідовно з'єднано з блоком прийняття рішень і блоком індикації та входами блоку керування, вихід блоку пам'яті еталонів з'єднано з другим входом блоку порівняння, блок керування, виходи якого підключено до входів імпульсного генератора, комутатора, входів керування порогового пристрою, часового селектора, блоку пам'яті еталонів та блоку індикації.

Однак цей метод та пристрій мають недостатню достовірність, оскільки використовують багаторазово відбиті сигнали від поверхні води та об'єкту. Якщо водна поверхня не гладка, має хвилювання, то буде велика похибка у розпізнаванні. Окрім того, у методі використовують тільки останній з відбитих сигналів, як найінформативніший.

Метою роботи є розроблення методу класифікації матеріалу об'єкту з підвищеною достовірністю класифікації об'єкту, донних відкладів (ґрунтів).

Розроблено метод класифікації матеріалу об'єкта [5], який полягає у тому, що випромінюють імпульсний ультразвуковий сигнал з частотою заповнення f_1 в напрямі до об'єкта, приймають, підсилюють і селектують у часі багаторазово відбиті сигнали від поверхні джерела випромінювання та об'єкта, які перевищили пороговий рівень, на частотах f_1 і $f_2 = 2f_1$, виділяють обвідні селектованих сигналів, визначають суми відношення амплітуд сигналів відповідних

частот однойменних відбиттів після n відбивань, які порівнюють з еталонними сумами відношення амплітуд сигналів відповідних частот після n відбивань, а об'єкт класифікують за формулою

$$K_i = \sum_{i=1}^{i=n} A_i = K_e, \quad (1)$$

де K_i – величина, яка характеризує суму відношень амплітуд після n відбивань; K_e – еталонне значення суми відношень амплітуд після n відбивань для даного матеріалу об'єкту.

Суть пропонованого методу полягає в наступному.

При розпізнаванні матеріалу об'єкту здійснюють випромінювання на частоті f_1 імпульсного ультразвукового сигналу в напрямі до об'єкту, наприклад, розміщеного на дні. Приймання відбитих сигналів проводиться на частотах f_1 і $f_2 = 2f_1$.

При малих глибинах водойми доцільно використати відбитий сигнал (БВС) від об'єкту і поверхні джерела випромінювання. Амплітуди БВС залежать від глибини водойми, віддалі джерела випромінювання від дна, коефіцієнтів відбиття від об'єкту (або ґрунту) і поверхні джерела випромінювання, параметрів матеріалу об'єкту або ґрунту, їх мікрорельєфу та форми.

Розглянемо процес формування БВС для фізичної моделі чотиришарового середовища. На рис. 1 показано фізичну модель розпізнавання об'єкту у вигляді чотиришарового середовища. Шари характеризуються товщиною d_i , акустичним імпедансом Z . Відповідно до приведеної нумерації шарів: 1 – водне середовище; 2,3 – шари відбиття; 4 – поверхня джерела випромінювання. Шари 1–4 розглядаються як півпростори, в яких не створюється перевідбитих у зворотньому напрямі хвиль. Товщина шару d_2 може бути рівна нулю. Приймально-випромінювальна система знаходиться у воді на деякій віддалі від границі вода-повітря, розглядається поширення сигналу під кутом 90° до дна.

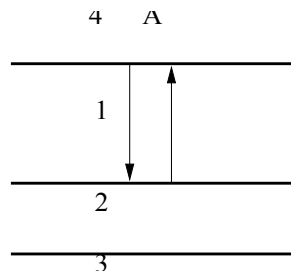


Рис. 1. Модель чотиришарового середовища

Для вузькосмугового сигналу [6] амплітуду n -го відбиття запишемо у вигляді:

$$P_n = P_0 V_p^{n-1} V_g \exp(-2jk_1 n d_1), \quad (2)$$

де P_0 – амплітуда імпульса зондування;

V_p – коефіцієнт відбиття від границі шарів 1–4 при опроміненні зі сторони поверхні 1;

V_g – коефіцієнт відбиття від границі шарів 1–2;

n – номер відбиття;

k – комплексне хвильове число.

Очевидно, що величини V_p, V_g, k є функціями частоти. Крім того, в залежності від об'єкту, який моделюється шарами 2–3, буде змінюватися коефіцієнт V_g , що призведе до зміни першого і в ще більшій степені наступних відбитих сигналів.

Відношення амплітуд для i -х відбитих сигналів на частотах заповнення f_1 і f_2 буде рівне [7]

$$A_i = P_i(f)/P_i(2f) = P_0(f)/P_0(2f) \times [V_p(f)/V_p(2f)]^{i-1} \times [V_g(f)/V_g(2f)]^i \exp\{-2j \operatorname{Im} k_1 [k_1(f) - k_2(2f)]\}. \quad (3)$$

Інформацію про об'єкт закладено у виразі $[V_g(f)/V_g(2f)]^i$ і з ростом номера відбиття інформаційна ознака A_i змінюється за степеневим законом (рис. 2). Зі зростанням номера відбивання точність класифікації підвищується, оскільки зростає параметр A_i . Ще більше буде зростати сума відношення амплітуд для n відбивань.

Як впливає з рис. 3 параметр A_i [4] для дерева має значення 5,6, а параметр K_i для того ж матеріалу [5] – 12,6, тобто виграш становить 2,25 рази. На рис. 4 зображено відношення параметрів $K = K_i/A_i$ для різних типів матеріалів: 1 – дерево; 2 – глина; 3 – намул; 4 – оргскло; 5 – вініпласт; 6 – пісок; 7 – бітум; 8 – скло; 9 – граніт; 10 – сталь.

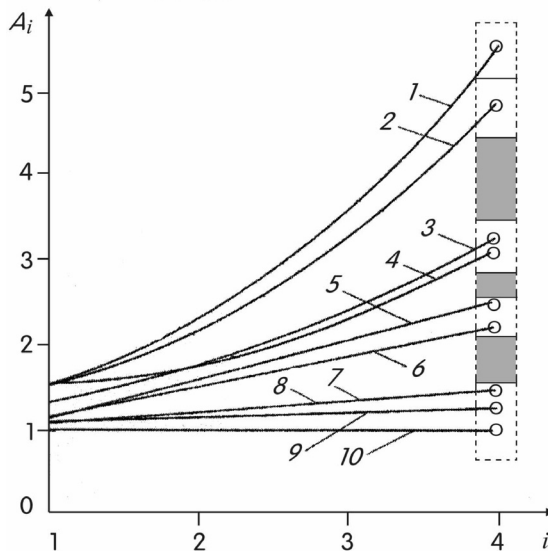


Рис. 2. Залежність параметра A_i від кількості відбивань i для різних типів матеріалів: 1 – дерево; 2 – глина; 3 – намул; 4 – оргскло; 5 – вініпласт; 6 – пісок; 7 – бітум; 8 – скло; 9 – граніт; 10 – сталь.

Пристрій для класифікації матеріалу об'єкта (рис. 5) містить ультразвуковий перетворювач 1, зв'язаний через комутатор 2 з приймально-підсилювальним пристроєм 3, імпульсним генератором 4 і блоком керування 5. Блок 3 послідовно з'єднаний з пороговим пристроєм 6, часовим селектором 7, першим фільтром 8 і першим блоком виділення обвідної 10, пристроєм для визначення амплітуд 12, першим входом пікового детектора 13, і першим входом блока порівняння 15, блоком прийняття рішень 16, блоком індикації 17. Часовий селектор 7 зв'язаний через послідовно з'єднані другий фільтр 9, другий блок виділення обвідної 11 з пристроєм 12. Блок керування 5 з'єднано із входами керування порогового пристрою 6, часового селектора 7, блоку пам'яті еталонів 14 і блоку індикації 17, та з виходом часового селектора 7 і виходами блока порівняння 15.

Блок керування 5 містить генератор імпульсів 18, тригер 19, схему І 20, демультіплексор 22, дешифратор 23. Блок пам'яті еталонів 14 містить джерело опорної напруги 25 і комутатор 24. Блок порівняння 15 можна реалізувати у вигляді компараторів, а блок прийняття рішень – у вигляді схеми І. Реалізацію основних блоків пристрою описано в [8]. Послідовність дій з прийнятими БВС така.

Прийняті сигнали, які перевищують пороговий рівень, підлягають часовій селекції, тобто є можливість обрати для процедури розпізнавання або весь БВС, або його частину, або окремі відбиті сигнали. Виділяють відбиті сигнали на частотах f_1 і $f_2 = 2f_1$, а потім їх обвідні. Визначають відношення амплітуд сигналів, які відповідають вказаним частотам, для однакових номерів відбиттів. Порівнюють отримані значення суми відношень з еталонними сумами і при їх збігу приймають рішення про належність матеріалу об'єкта до даного класу.

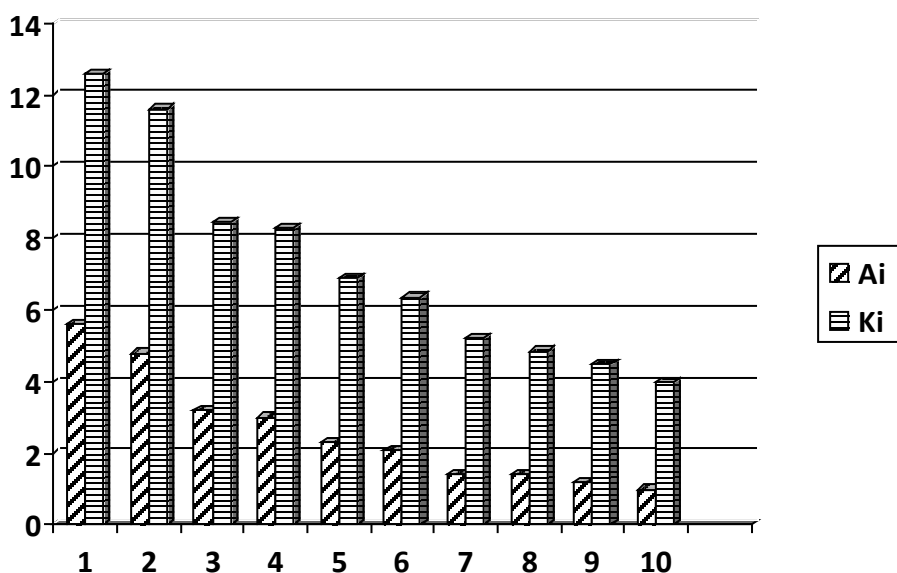


Рис. 3. Залежність параметрів A_i та K_i для різних типів матеріалів: 1 – дерево; 2 – глина; 3 – намул; 4 – оргскло; 5 – вініпласт; 6 – пісок; 7 – бітум; 8 – скло; 9 – граніт; 10 – сталь.

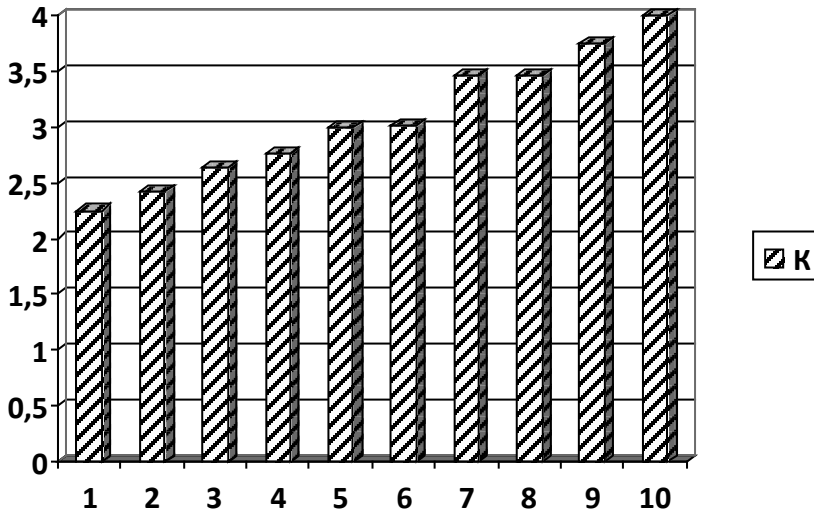


Рис. 4. Залежність параметра $K = K_i / A_i$ для різних типів матеріалів: 1 – дерево; 2 – глина; 3 – намул; 4 – оргскло; 5 – вініпласт; 6 – пісок; 7 – бітум; 8 – скло; 9 – граніт; 10 – сталь.

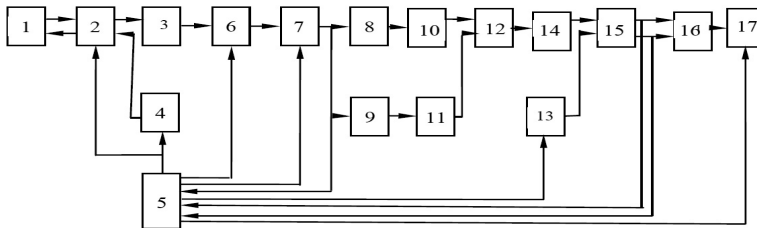


Рис. 5. Структурна схема пристрою для класифікації матеріалу об'єкта

Пристрій для реалізації запропонованого способу працює так.

За командою блоку керування 5 запускають імпульсний генератор 4. Комутатор 2 підключає до ультразвукового перетворювача 1 імпульсний генератор 4. Імпульс заданої тривалості і частоти f_1 , сформований генератором 4, через комутатор 2 надходить на ультразвуковий перетворювач 1. Ультразвуковий перетворювач 1 випромінює в напрямі до дна (об'єкта) ультразвуковий імпульс. Через деякий час, що визначається віддаллю до об'єкта та швидкістю поширення ультразвукових коливань у водному середовищі, на ультразвуковий перетворювач 1 надходять багаторазово відбиті сигнали від об'єкту і поверхні води. Вихідні сигнали ультразвукового перетворювача 1 надходять на приймально-підсилювальний пристрій 3. Вихідний сигнал блоку 3 надходить на пороговий пристрій 6, де порівнюється з пороговим рівнем. Сигнали, які перевищують пороговий рівень, надходять на часовий селектор 7, в якому виділяють весь прийнятий багаторазово відбитий сигнал. Сигнали з виходу блоку

7 надходять на входи першого 8 і другого 9 фільтрів, настроєних на частоти f_1 і $f_2 = 2f_1$. Вихідні сигнали блоків 8 і 9 надходять на входи першого 10 і другого 11 пристроїв виділення обвідної (амплітудних детекторів). Сигнали з виходів блоків 10 і 11 надходять на входи пристрою 12 для визначення відношення амплітуд, в якому відбувається визначення відношення амплітуд сигналів частот f_1 і f_2 , які мають однойменні номери відбиттів. Вихідні сигнали пристрою 12 надходять на вхід пікового детектора 13, який запам'ятовує амплітуди сигналів після кожного відбивання і формує суму відношення амплітуд, з виходу пікового детектора сигнал надходить на перший вхід блоку порівняння 15, на другий вхід якого подають вихідні сигнали блоку пам'яті еталонів 14. Визначену суму відношення амплітуд порівнюють з еталонними сумарними значеннями для однойменних відбиттів для різних матеріалів об'єктів. При рівності визначеного та еталонного сигналів спрацьовує блок порівняння 15. В блоці прийняття рішень 16 виконують зіставлення за заданим критерієм суми вимірних сигналів $A_1 \dots A_i$ та віднесення об'єкта до одного з класів матеріалів. Вихідний сигнал блоку 16 подають на блок 17 індикації.

Висновки. У запропонованому методі і пристрій класифікації донних відкладів (об'єктів) використання суми відношень амплітуд багаторазово відбитих сигналів дає змогу підвищити їх достовірність класифікації, оскільки сума коефіцієнтів A_i буде завжди більшою одного коефіцієнта A_i . Метод і пристрій уможлиблює класифікацію об'єктів (донних відкладів, ґрунтів) як з низьким, так і високим акустичним імпедансом, а також матеріалів об'єкта з високим акустичним імпедансом між собою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Caiti A., Chapman N.R., Hermand J.P., Jesus S.M. Acoustic sensing techniques for the shallow water environment: inversion methods and experiments // Springer, Netherlands: 2006. – 552 p.
2. Патент ФРН № 2006152.
3. Волощенко В.Ю., Максимов В.Н., Тимошенко В.И. Параметрическая акустическая система для классификации объектов лоцирования // Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: 1986, вып. 21. – С. 63-65.
4. Декларацийний патент України № 39452 G01S 15/02. Спосіб класифікації матеріалу об'єкта та пристрій для його реалізації / Погребенник В.Д. Опубл. від 15.06.2001 р., Бюл. № 5.
5. Патент України на винахід № 118045. G01N 29/00. Спосіб класифікації матеріалу об'єкта та пристрій для його реалізації / Погребенник В.Д. Опубл. 12.11.2018 р., бюл. №21.
6. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. – М.: Наука, 1989. – 412 с.
7. Погребенник В.Д. Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів: монографія / В.Д. Погребенник // Львів: СПО-ЛОМ, 2011. – 280 с.
8. Аверченков О.Е. Интегральные операционные усилители и их применение. – М.: ДМК, 2012. – 87 с.

REFERENCES

1. Caiti A., Chapman N.R., Hermand J.P., Jesus S.M. (2006). Acoustic sensing techniques for the shallow water environment: inversion methods and experiments // Springer, Netherlands:– 552 p. (in English)
2. Patent FRN № 2006152.
3. Voloschenko V.Yu., Maksimov V.N., Timoshenko V.I. (1986). Parametricheskaya akusticheskaya sistema dlya klassifikatsii ob'ektov lotsirovaniya // Resp. mezhved. nauch.-tehn. sb. – K.: vyip. 21. – S. 63-65 (in Russian)
4. Deklaratsiyni patent Ukrainy № 39452 vid. Sposib klasyfikatsii materialu objekta ta prystrii dlia yoho realizatsii / Pohrebennyk V.D. Opubl. 15.06.2001 r., biul. №5. (in Ukrainian)
5. Patent Ukrainy na vynakhid № 118045. G01N 29/00. Sposib klasyfikatsii materialu objekta ta prystrii dlia yoho realizatsii / Pohrebennyk V.D. Opubl. 12.11. 2018 r., biul. №21. (in Ukrainian)
6. Brehovskih L.M., Godin O.A. (1989). Akustika sloistyih sred. – M.: Nauka,– 412 s. (in Russian)
7. Pohrebennyk V.D. (2011). Operatyvne vymiriuvannia intehralnykh parametriv vodnoho seredovyshecha ta donnykh vidkladiv: monohrafiia / V.D. Pohrebennyk // Lviv: SPOLOM– 280 s. (in Ukrainian)
8. Averchenkov O.E. (2012). Integralnyie operatsionnyie usiliteli i ih primenenie. – M.: DMK– 87 s. (in Russian)

ACOUSTIC METHODS AND COMPUTER SYSTEMS OF CLASSIFICATION OF OBJECT MATERIAL

V. D. Pohrebennyk

Lviv Polytechnic National University
130, Gen. Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine
vpohreb@gmail.com

Recognition of seabed sediments with acoustic methods is of great importance for the study and development of seas, oceans, rivers, and reservoirs. Currently, methods are used to identify the bottom sediments of the seabed on samples that are selected using samplers, which are not only labor-intensive, inconvenient and inoperative, but also quite inaccurate. Traditional methods of mechanical sampling do not meet today's needs because of their bulkiness, high cost and low reliability. Operational, convenient, economical and reliable methods of remote sensing with the help of sound waves cause the interest. The essence of acoustic methods is that the characteristics of bottom sediments are determined by solving the inverse problem for measured parameters of acoustic signals. The aim of the work is to increase the reliability of the classification of objects, bottom sediments, soils.

The principles of complexity, reliability and scientific objectivity have been the methodological basis of the study, grounded on the priority of documented facts. To identify the state of development of the topic, general scientific methods such as comparisons, generalizations, analysis, which made it possible to distinguish the

most significant issues in the creation of computer systems for classification of the object's material, have also been included, as well as ensured the integrity of the consideration of issues.

In the conducted research the methods of construction computer systems of classification of the material of the object have been singled out and analyzed, their differences from the known mechanical systems have been highlighted. It emphasizes its decisive influence on the formation of scientific and technological principles. A new method for determining the classification of the material of an object has been suggested. The scientific novelty of the obtained results is that the methods of constructing the classification systems of the object material, which extend and enrich the idea of the classification of objects, have increased reliability. The novelty of the method for determining the classification of material of an object has been confirmed by the patent of Ukraine for an invention.

Systems of classification of the material of object have remarkable scientific and practical significance for the recognition of seabed sediments using acoustic methods for the study and development of seas, oceans, rivers, and reservoirs. Actual material, conclusions of the paper can be used in courses on information and measurement technologies.

Keywords: *material classification, seabed sediments, acoustic impedance, pulsed ultrasonic signal, multiple reflected signals.*

Стаття надійшла до редакції 5.06.2018

Received 5.06.2018