

1. Intro to Next Generation Firewalls [Електронний ресурс] – <https://www.esecurityplanet.com/security-buying-guides/intro-to-next-generation-firewalls.html>.
2. Чим захищають сайти, або Навіщо потрібен WAF? [Електронний ресурс] – <https://habr.com/ru/company/pt/blog/269165>.
3. Эффективность Web Application Firewall [Електронний ресурс] – <https://hacker.ru/2011/11/21/57840>.
4. Применение IDS / IPS [Електронний ресурс] – <https://hacker.ru/2012/10/29/ids-ips/>
5. Web Application Firewall – захист сайту від хакерських атак [Електронний ресурс] – <https://habr.com/ru/post/60590>.
6. Сетевая безопасность, Часть 2. Next-Generation Firewall [Електронний ресурс] – <https://habr.com/ru/company/hpe/blog/262123>.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860764>

Поступила 9.09.2019р.

УДК 621.3;543.7.4;543.8

О.О. Огір, Київ
О.Р. Ярема, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ СИСТЕМ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Abstract. The investigation of mathematical models of ultrasonic signals used in acoustic imaging systems forming the internal structure of controlled materials and media objects energy industry. Such models make it possible to take into account all effects in wave processes: radiation and reflection of waves, phenomena of interference and diffraction of waves, wave type transformations during reflection and the appearance of damped waves at the interfaces of opaque media.

Вступ

Відомо, що хвильове рівняння в твердому тілі з граничними умовами (поверхні дефектів, границі об'єктів) дає множину рішень для хвиль, що розповсюджуються в об'єкті контролю (ОК), по границях, відбитих повторно хвиль. Крім цього, з'являється рішення для хвиль з наростаючою та спадаючою амплітудою. Рішення задачі в аналітичному вигляді передбачає вибір фізичних хвильових процесів, деякий “штучний відбір” [1]. Часто при завданні множинних граничних умов, хвильова задача виявляється настільки складною, що аналітичне рішення не може бути одержане. Накопичений досвід в точному вирішенні хвильових акустичних задач практично неможливо використати для наших цілей, оскільки в самому загальному випадку не доведено існування і єдність рішення оберненої задачі.

Постановка задачі.

Існує розділ математики – теорія розсіяння, в якій вирішується задача одержання інформації про неоднорідності середовища по відгукам на впливи різноманітної природи – оптичні, радіаційні, електромагнітні хвилі, УЗ-хвилі [2, 4]. Особливістю даного підходу є умова, що розмір області спостереження (реєстрації) в багато разів перевищує розмір неоднорідності середовища.

Вводиться оператор розсіяння, який зв'язує хвильові потоки, що поступають в область спостереження, і хвильові потоки, що виходять з неї. В операторі розсіяння знаходиться вся інформація про внутрішню структуру середовища. Звичайно, неоднорідність представляють у вигляді розподілу щільності середовища $\rho(x, y, z)$ або швидкості звуку $C(x, y, z)$ в просторі. Теорія розсіяння вивчає асимптотичні рішення хвильового рівняння. Методами теорії розсіяння знаходять деякі опосередковані параметри неоднорідності [3].

Вирішення задачі

В основному глибокі теоретичні роботи в даному напрямку відносяться до досліджень топології функціональних просторів, сформованих рішеннями хвильових рівнянь. Доведено, що в середовищі з одним типом акустичних хвиль (газ, рідина), де оператор розсіяння є повним та однозначним, існує також єдиний обернений оператор [4, 5]. На жаль, на даний час не знайдено конструктивних рішень оберненої хвильової задачі у вигляді, придатному для визначення поверховностей дефектів у метали.

Існуюча неоднозначність інтерпретації ехосигналів від різноманітних джерел відбитої хвилі пов'язана з багатою динамікою хвильового рівняння для твердих тіл з декількома границями, або ж з криволінійними пограничними площинами. Доводиться йти на різноманітні спрощення теоретичної моделі для того, щоб з'явилась можливість рішення оберненої задачі.

В УЗ-апаратурі, призначеної для візуалізації дефектів, використовуються багатоелементні перетворювачі. Параметри УЗ-поля кожного перетворювача обираються такими, щоб захвачувалась область реконструкції зображення або більша її частина. В сучасних системах використовують системи сканування досліджуваної зони – вузько сфокусованим променем. Використовуємо також припущення про те, що дефекти розміщені в дальній зоні УЗ-поля перетворювача. Це означає, що фронт УЗ-хвилі, що падає на елементарний відбивач – сферичний, і фронт відбитих хвиль, що реєструються приймальною антеною, також сферичний. Ця умова забезпечує розподіл інтегралів по фронту та по дальності[6].

Позначимо $f(I)$ – ехосигнал, який реєструється від нескінченно малого елемента відбиваючої поверхні dS дефекту.

По-перше, амплітуда такого ехосигналу залежить від місцеположення і орієнтації елемента dS в просторі. Це означає, що функцію $f(I)$ можна

визначити тільки з точністю до постійного множника. Будемо вважати амплітуду сигналу $f(I)$ рівною одиниці, приймаючи, що в практичному використанні завжди можна настроїти чутливість приймального елементу приймальної антени.

По-друге, ехосигнали одержують у вигляді функцій часу. Перехід від часової змінної до просторової довжини пробігу здійснюється масштабуванням на швидкість звуку $I = C \cdot t$.

Третє зауваження відноситься до просторової стабільності функції $f(I)$. Відомо, що діаграма напрямленості УЗ-перетворювача досить сильно залежить від довжини хвилі. Чим більша довжина хвилі, тим ширше діаграма напрямленості. Спектр функції $f(I)$ залежить від зміни кута опромінення в прийманні хвиль. Частотна залежність виражається також одночасно в змінненні чутливості $U(r)$ і викривленні $f(I)$. Вказані зв'язки слабшають, якщо $f(I)$ має вузький спектр.

Тоді імпульсний відгук можна описати стаціонарною функцією $f(I)$ і не брати до уваги її викривлення в просторі. Модельні представлення, в цьому випадку, відносяться тільки до схем озвучення, в яких використовуються відносно вузькополосні сигнали.

Функція $f(I)$ представляє собою імпульсний відгук системи на нескінченно малий відбивач. Сигнал $f(I)$ обмежений в часі і в просторі. Він відмінний від 0 в інтервалі часу $0 \div t_0$, відповідно в просторі $0 \div C \cdot t_0$.

По традиції назвемо $f(I)$ функцією відгуку точкового джерела (ФВТД). Визначимо математичний опис відбивачів. Існують два основних підходи.

В першому випадку вважають, що акустичні характеристики об'єкту плавно змінюються в просторі. Виділяють розподіл швидкості звуку, затухання та коефіцієнту відбиття по об'єкту. Далі вибраний розподіл реконструюють в зображення по даних прозвучування. В іншому випадку вважають, що об'єкт контролю представляє собою набір різких границь. Акустичні характеристики об'єкта (швидкість звуку, затухання) в зоні озвучення дефекту однорідні, їх відхилення в цих зонах незначні і їх можна не брати до уваги.

Приймемо модель різких границь в якості основної для побудови алгоритмів реконструкції зображень. Геометрично структуру об'єкту контролю (ОК) будемо представляти у вигляді просторової функції границь $I(r)$, яка дорівнює одиниці на границях ОК і на поверхностях дефекту, і дорівнює 0 в решті об'єму. Різні частини поверхні дефекту можуть по різному відбивати УЗ хвилі, тому необхідно ввести просторову функцію $K_{відб}(r)$, яка характеризує коефіцієнт відбиття. Коефіцієнт відбиття залежить від розсіюючих властивостей поверхні дефекту, від характеристики її шероховатості. Величина $K_{відб}(r)$ залежить також від напрямку падіння УЗ

хвиль. Функцію об'єкту контролю запишемо у вигляді добутку функції границь і коефіцієнта відбиття.

$$O(r) = I(r) \bullet K_{\text{відб}}(r) \quad (1)$$

Інформація про об'єкт контролю $O(r)$ міститься в ехосигналах. Математична задача одержання акустичного зображення зводиться до реконструкції функції границь дефекту по реєстрованому набору ехосигналів, одержаних різними способами.

Важливо відмітити, що з допомогою УЗ сканерів відтворення $I(r)$ здійснюється умовно. Завжди мається вірогідність викривлень, пов'язаних з коефіцієнтом відбиття. Наприклад, якщо є деяка границя в $I(r)$, але на ній коефіцієнт відбиття з якихось причин дорівнює нулю, то УЗ сканер в принципі не виявляє цю границю. Одержимо аналітичний вираз для ехосигналів від об'єкту з дефектами. Позначимо $L = |R_1| + |R_2|$, сумарну довжину пробігу хвиль від випромінювача до відбивача і назад, а також $L = C \bullet t$ – довжину пробігу хвиль, відповідну затримці сигналу, C – швидкість звуку. Ехосигнал $F(L)$ буде виражатись інтегралом по об'єму

$$F(L) = \int f(L-l) \bullet U(r) \bullet O(r) \quad (2)$$

Функція об'єкта контролю $O(r)$ в формулі (2) перетворює інтеграл по об'єму в інтеграл по поверхні, оскільки $O(r)$ дорівнює коефіцієнту відбиття на поверхні і дорівнює 0 в об'ємі.

Теоретичні підрахунки і практика використання ехометода показують, на формування ехосигналів в першу чергу впливає геометричний фактор – місцеположення і форма відбивачів. По-друге – впливає інтерференція хвиль, трансформація типу хвилі, перевідбиття. В деяких випадках ці ефекти сильно викривлюють ехосигнали, в деяких випадках вони несуттєві. Можна досить визначено сказати, що якщо дефект має прозву чувані поверхні з не досить низьким коефіцієнтом відбиття, то буде спостерігатись ехосигнал і, отже, буде здійснюватись формування його зображення[6]. Трансформовані і перевідбиті хвилі будуть створювати додаткові хвилі, що будуть показані, як помилкові зображення дефектів.

Більш детальну інформацію про відбивачі (елементи дефекту) одержують за допомогою прозвучування об'єкту контролю в різних напрямках, або шляхом сканування.

В результаті одержують набір розподілу ехосигналів $F_i(L)$, i – індекс, що характеризує положення сканера по відношенню до поверхні ОК. Далі здійснюється спільна обробка функцій $F_i(L)$ з метою реконструкції зображення відбивачів в площині сканування.

Розглянемо питання про можливість вирішення оберненої задачі в рамках приведеної моделі.

Ключову роль в даному випадку відіграє функція відгуку точкового джерела. В вузькополосному і широкополосному наближенні ФВТД являється ядром оператора перетворення об'єкта контролю в ехосигнали. Якщо мається достатньо велика кількість прозвучування якої-небудь області матеріалу з однією і той же ФВТД, то можна говорити про існування глобального оператора прозвучування, позначимо його Γ . Даний оператор здійснює перетворення функції об'єкту контролю $O(r)$ в набір ехосигналів $F(L)$.

$$F = \Gamma(O) \quad (3)$$

Оператор Γ є лінійним інтегральним оператором. Припустимо, що Γ має наступні властивості:

- мінливість, тобто $\Gamma[K \bullet O] = K \bullet \Gamma[O]$, K – сталий множник,
- адитивність, тобто $\Gamma[O_1 + O_2] = \Gamma[O_1] + \Gamma[O_2]$ де O_1, O_2 – дві неперетинаючі неоднорідності в матеріалі,
- однозначність, тобто любому об'єкту контролю O відповідають свої оригінальні ехосигнали F . Іншими словами, оператор Γ є повний.

Якщо оператор Γ володіє вказаними властивостями, то існує оператор оберненого перетворення Γ^{-1} , такий що

$$O = \Gamma^{-1}[F] \quad (4)$$

Доказ існування і єдиничності оператора Γ^{-1} впливає із теорії груп.

Відмітимо, що більшість засобів вирішення оберненої задачі, основаних на даному теоретичному підході, використовують властивості лінійності, адитивності та повноти оператора Γ . Власне, саме ці властивості оператора прозвучування забезпечують можливість побудови зображення дефектів.

Перше наближення оберненої задачі є в тому, що реконструкції підлягає функція ОК $O(r)$, а не функція границь $I(r)$. Вони пов'язані між собою через коефіцієнт відбиття (1). Припускається, що коефіцієнт відбиття кожного елементу поверхні дефекту є однаковий для всіх схем озвучування. Грубо кажучи, поверхня дефекту представляється сукупністю сферичних відбивачів малого розміру.

Цілий ряд наближень пов'язаний з властивістю адитивності операторів Γ і Γ^{-1} . Адитивність сигналів по відношенню до відбиваючої поверхні забезпечується, якщо УЗ хвилі відбиваються в ОК тільки один раз, тобто відсутні ехосигнали двократно та багатократно відбитих хвиль. В альтернативному випадку виникає неоднозначність інтерпретації сигналів і теоретичне і практичне вирішення оберненої задачі не може бути виконане.

Висновки

Постановка і вирішення оберненої задачі, основаної на точних рішеннях хвильового рівняння є проблематичною або навіть неможливою. Більш прості

моделі формування сигналів дозволяють сформулювати обернену задачу і вирішити її. Проте розглянуті моделі, в основному, приймають до уваги лише амплітудні дані відбитого хвильового поля та побудовані на принципі інтерференції звукових хвиль. Все вищесказане дозволяє констатувати, що незалежно від алгоритму реконструкції відображення дефекту, він, по суті, є лише інтерпретатором дефекту, тобто на основі деяких принципів і уявлень про формування сигналів алгоритм здійснює розрахунок зображення. Тому завжди є доля вірогідності, що деякі дефекти не будуть представлені на зображенні, або навпаки можуть формуватись помилкові картини дефектів (артефакти).

1. *Ермолов И.А.* Наиболее перспективные направления развития ультразвукового контроля металлов (по материалам 7-й Европейской конференции). – Дефектоскопия, 2003, № 4, С.71-100.
2. *Хуанг Т.* Цифровая голография. ТИИЭР, 1971, Т. 59, № 9, С.63-76.
3. *Евдокимов В.Ф., А.С. Огир* О дискретной математической модели звуковой голограммы. – Электронное моделирование, Т. 22, № 1, 2000, С.3-8.
4. *Огир А.С.* Исследование процессов компьютерного восстановления акустических изображений. – Методы и средства компьютерного моделирования. Сб. научн.тр. ИМПЭ НАН України, 1997, С.41-44.
5. *Евдокимов В.Ф., Огир А.С.* О построении системы ультразвукового контроля конструкционных материалов объектов энергетики и машиностроения. – Электронное моделирование, Т. 23, № 5, 2001 – С.85-90.
6. *Огир А.С.* Новая информационная технология формирования голограммных акустических изображений высокого разрешения в системах ультразвуковой визуализации медицинского назначения / *А.С. Огир, В.В. Тарапата, Е.А. Огир* // Электронное моделирование – 2014. – Том 36, № 1. – С.49-57.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860766>

Поступила 16.09.2019р.

УДК 519.8

О.М. Джигун, Київ

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГЕС ЯК СКЛАДОВОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Abstract. We offer an approximate approach to the construction of mathematical model of modes of operation of hydroelectric power plants

Глобальною проблемою сучасності є проблема збереження безпечного стану навколишнього середовища для життєдіяльності суспільства. Прогнози,
© О.М. Джигун