

УДК 004.94

МОДЕЛІ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

*Смирницький Г.О., Омельченко А.А.
Донецький національний технічний університет
smirniczky@gmail.com*

Розглянуті задачі моделювання предметної галузі акустико-емісійного контролю. Описані моделі імпульсу акустичної емісії, флуктуаційної та імпульсної завад, а також модель процесу порогової дискримінації сигналів. Відповідно до моделей розроблені моделюючі алгоритми, що були використані у створеному програмному додатку.

Вступ

Діагностика інженерних споруд і конструкцій за допомогою акустико-емісійного методу контролю передбачає пасивне збирання інформації з акустичних датчиків та її відповідну обробку для визначення ступеня зносу конструкції. Основними даними, що використовуються в ході проведення контролю, є імпульси акустичної емісії (АЕ) – пружні звукові коливання, які виникають в результаті звільнення енергії в ході утворення та розвитку дефекту (тріщини або зони пластичної деформації). Отже, в галузі акустико-емісійного контролю впровадження інформаційних технологій пов'язане, в першу чергу, із розробкою засобів для моделювання імпульсів АЕ, завад, а також із розробкою якісної системи критеріїв виявлення та класифікації акустичних імпульсів.

Мета роботи полягає у створенні інформаційних технологій для моделювання процесів реєстрації акустичних даних та ідентифікації імпульсів акустичної емісії на тлі завад шляхом порогової дискримінації.

Досягти поставленої мети можна за умови вирішення задач із розробки інформаційних технологій, призначених для:

- створення моделей імпульсів АЕ;
- створення моделей електростатичних завад;
- створення моделей флуктуаційних завад;
- моделювання процесу порогової дискримінації сигналу.

Описані задачі розглядалися в межах виконання залікової роботи з курсу «Комп'ютерні технології моделювання та оптимізації технічних систем».

Актуальність. Безумовно одна з найважливіших сфер використання інформаційних технологій – автоматизовані системи технічного діагностування, тому що окрім економічного (зменшення витрат на ліквідацію аварійних ситуацій) у цій галузі можна досягти і соціального (збереження життя та здоров'я людей) ефекту. За умови розробки, впровадження й подальшого вдосконалення інформаційних технологій, на яких базується автоматизована система технічної діагностики на основі сигналів акустичної емісії, буде забезпечене підвищення достовірності знань про динаміку утворення дефектів, завдяки чому можливо спрогнозувати час наближення

об'єкта до аварійного стану і вчасно вжити необхідні застережні заходи. Протягом останнього часу динамічно зростає кількість публікацій, присвячених використанню інформаційних технологій в акустико-емісійному контролі, який має ряд переваг перед іншими методами неруйнівного контролю завдяки своїм особливостям, наведеним у [1]. Проблематика цього методу наведена в [2].

1 Опис моделей імпульсу акустичної емісії та завад

Типовий сигнал акустичної емісії на виході датчика (рис. 1) має такі характерні риси: незначне збільшення амплітуди сигналу на початку імпульсу, далі різке зростання і поступове зменшення амплітуди.

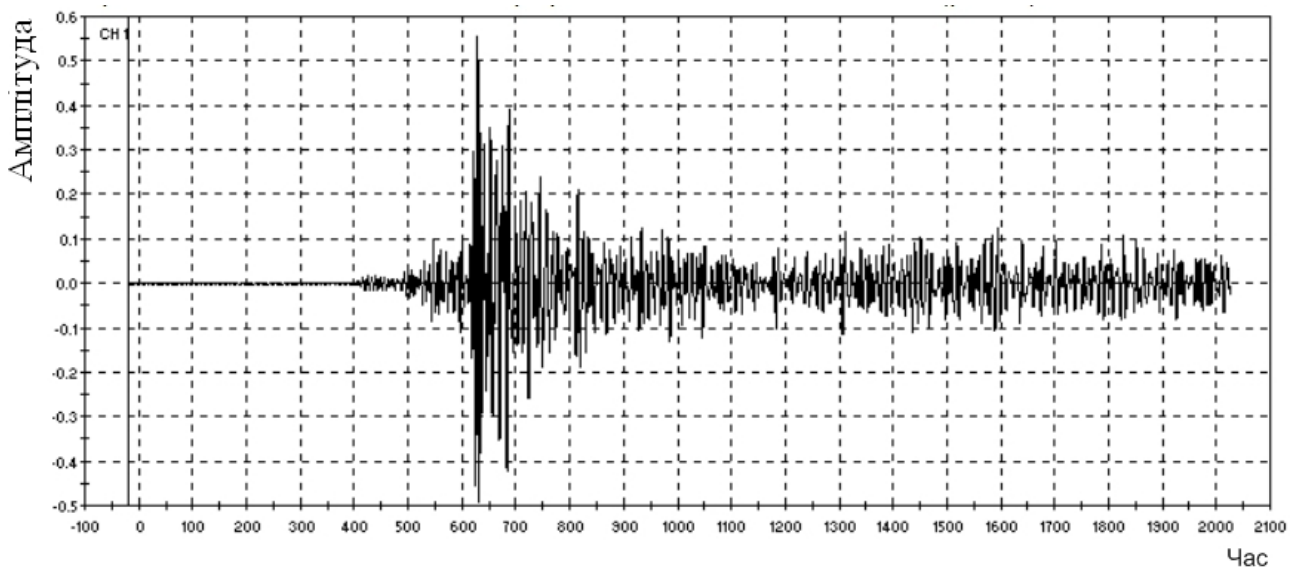


Рисунок 1. Типовий імпульсний сигнал АЕ (зображення запозичене із джерела [3])

Модель імпульсу АЕ має бути розроблена для того, щоб за умови відсутності лабораторного устаткування можна було отримати звукові записи, зміст яких імітує зафіксований в певному часовому проміжку імпульс АЕ. Результатом моделювання може бути масив амплітуд сигналу, створений згідно з наведеною у вираженні (1) моделлю, яка була запозичена з роботи [4]. У даній роботі створені за цією моделлю імпульси використовувались для тестування функціонування програмно-апаратного комплексу попередньої обробки сигналів акустичної емісії. Дана модель є спрощеною, на практиці форма АЕ сигналу залежить від структури і форми матеріалу, розташування джерела, характеристик перетворювача:

$$s(k) = \begin{cases} A_c \sin(2\pi f k T), kT < t_d, \\ \sin(2\pi f k T) \beta_1 e^{a_1 k T}, t_d \leq kT < t_1, \\ A_s \sin(2\pi f k T), t_1 \leq kT < t_2, \\ \sin(2\pi f k T) \beta_2 e^{a_2 k T}, t_2 \leq kT < t_3, \\ A_c \sin(2\pi f k T), kT \geq t_3. \end{cases} \quad (1)$$

Де A_c – мінімальна амплітуда сигналу, T – інтервал квантування, t_d – час затримки до появи імпульсу, A_s – максимальна амплітуда сигналу, t_1, t_2, t_3 – моменти переднього

фронту, інтервалу постійності і заднього фронту, α і β – константи. Змінна k визначає фазу основної синусоїдальної складової сигналу; k' , вжита у 2 і 4 рядках для розрахунку значення експоненціальної складової, яка визначає згасання й зростання амплітуди основної складової. В ході моделювання α і β повинні розраховуватись, інші параметри повинні бути задані. Крім того задається загальна кількість відліків, на яких зафіксовано амплітуду. Кількість відліків разом із періодом T визначають тривалість звукозапису.

Автор роботи [5] проводить дослідження, результати яких свідчать про адекватність подібної моделі і невелику розбіжність між сигналами, отриманими експериментальним шляхом у лабораторії та шляхом моделювання.

У роботі [6] описаний метод автоматичного аналізу сигналів акустичної емісії, застосований послідовно спочатку до моделей (створених за вищезгаданими правилами) сигналів АЕ, а потім – до реальних сигналів АЕ. Проілюстровані результати також свідчать про достатню адекватність поданої моделі та можливість її використання принаймні на початкових етапах дослідження.

Зазначимо, що під час створення моделі вхідними параметрами є час появи, час наростання сигналу, час постійного рівня сигналу, час згасання сигналу, максимальне та мінімальне значення сигналу а також його частота. Константи $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$, мають бути розраховані. Параметри β_1, β_2 використовуються як коефіцієнти посилення, а параметри α_1, α_2 задають крутизну експоненціальних функцій, які беруть участь у формуванні окремих ділянок моделі сигналу. Для того, щоб мінімальне значення сигналу, який моделюється, дорівнювало фоновому шуму, треба прийняти β_1 рівним мінімальній амплітуді сигналу, а β_2 – рівним максимальній амплітуді.

Розглянемо ділянку, на якій сигнал зростає. Складемо систему з двох рівнянь, перше з яких відповідає початку, друге – кінцю часового інтервалу, де сигнал зростає:

$$\begin{cases} e^{\alpha_1 t_d} = A_c, \\ e^{\alpha_1 t_1} = A_s. \end{cases} \quad (2)$$

Із різниці натуральних логарифмів обох частин рівнянь системи (2) визначається величина α_1 :

$$\alpha_1 = \frac{\ln(A_s / A_c)}{(t_1 - t_d)} \quad (3)$$

Аналогічно можна отримати параметр моделі α_2 , який використовується під час генерації значення сигналу на інтервалі згасання.

$$\alpha_2 = -\frac{\ln(A_s / A_c)}{(t_3 - t_2)} \quad (4)$$

Для флуктуаційної (шумової) завади в якості моделі зазвичай вибирають заваду типу «білий шум», тобто шум, спектр якого рівномірний у достатньо широкій частотній смузі. Саме такий адитивний шум буде змодельований у роботі. У багатьох сучасних мовах програмування наявні засоби для генерації псевдовипадкових послідовностей чисел із заданим законом розподілення. Наприклад, у мові Java для створення адитивного білого шуму можна використовувати метод `NextGaussian()` класу `Rnd` з бібліотеки `java.util.Random`.

Імпульсна завада є порівняно короткий (її час складає приблизно 0,1% від тривалості імпульсу АЕ) і потужний сплеск напруги в каналі: Імпульсна завада

завичай нерегулярна, і положення паразитних спалахів не постійно у часі. Граничним ідеалізованим випадком імпульсної завади є послідовність дельта-функцій, що виникають у випадкові моменти часу із випадковими інтенсивностями [7]. Таким чином, електростатична імпульсна завада буде моделюватись, як сигнал-сплеск з миттєвим (що відбувається у найкоротший проміжок часу, який дорівнює тривалості між послідовними відліками сигналу) зростанням амплітуди сигналу до великого за модулем значення з наступним моментальним згасанням.

2 Моделювання процесу порогової дискримінації

Під час виділення сигналу застосовується поріг дискримінації – величина Th , відносно якої розглядається амплітуда сигналу. Апаратна реалізація процесу порогової дискримінації полягає у тому, що коли сигнал перетинає встановлений поріг, у компараторному ланцюзі в цифровому вигляді генерується вихідний імпульс. Таким чином, перший імпульс, згенерований у певній серії вихідних сигналів компараторного ланцюга, свідчить про перший перетин порогу сигналом; останній у цій серії імпульс свідчить про згасання амплітуди сигналу нижче обраного порогу дискримінації.

Таким чином, задача проведення порогової дискримінації зводиться до знаходження вектору \vec{t} з довжиною, елементи якого є рішеннями рівняння:

$$|s(t) - Th| \approx 0 \quad (5)$$

Де Th – обраний поріг дискримінації; $s(t)$ – значення амплітуди сигналу в момент t . Значення $s(t)$ повинно бути мінімальним для послідовних моментів часу. Алгоритмічно можна знайти моменти перетину сигналом порогу, визначивши спочатку пари послідовних моментів часу, в яких значення сигналу відповідно нижче і вище порога дискримінації, тобто знайти всі такі t_p, t_{i+1} , що задовольняють умові (6):

$$(s(t_p) - Th) \times (s(t_{i+1}) - Th) \leq 0 \quad (6)$$

Як було зауважено раніше, у якості обладнання, призначеного для реєстрації акустичних даних виступають акустичні сенсори. Проте у загальному випадку вхідні дані (принаймні на етапі проектування, розробки та тестування комп'ютеризованої системи технічної діагностики на основі сигналів акустичної емісії) можуть міститись у звукових записках. Для збереження звукових записів можна обрати формат Microsoft Wave: це найпоширеніший простий за структурою формат збереження звукових даних без втрат, докладний опис якого наведений у [8].

На рисунку 2 зображений результат роботи програмного додатку, розробленого з метою виконання задач роботи.

Для розробки програмного забезпечення було обране безкоштовне інтегроване середовище розробки NetBeans IDE 7.1.2 і мова програмування Java. В ході розробки програмного додатку до проекту були підключені бібліотеки JDK 1.7 (за замовчуванням), а також 3 файли безкоштовної бібліотеки для побудови діаграм jFreeChart. За допомогою розробленого програмного додатку була створена модель звукозапису, що містить імпульс акустичної емісії з накладеними завадами. Створена модель звуку була збережена у файл формату WAV. Використовуючи дані цього файлу, було проведено моделювання процесу порогової дискримінації і отриманий результат, зображений на рис. 2.

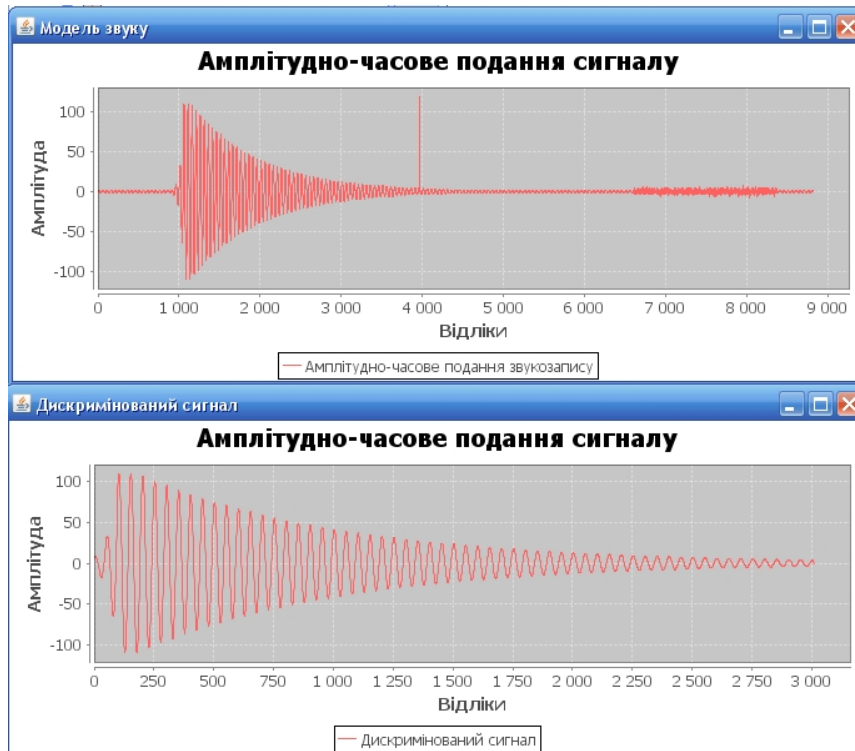


Рисунок 2. Результати моделювання звукових сигналів та процесу порогової дискримінації

Висновки

Був наведений опис розробки моделей і програмних засобів моделювання імпульсів АЕ, флуктуаційних та електростатичних завад, процесу ідентифікації імпульсів АЕ на тлі завад, які в подальшому можуть бути використані для створення інформаційної технології, що застосовується у неруйнівному контролі.

Перелік використаних джерел

- [1] Карявка А.В. Метод акустической эмиссии [Электронный ресурс] / Электронна публікація; опубліковано 8 липня 2007, 21:53:39 – режим доступу: <http://ndt.nvdc.biz/rus/articles/?id=21>
- [2] Шемякин В.В., Стрижков С.А. Аспекты применения метода акустической эмиссии в мониторинге опасных промышленных объектов // В мире неразрушающего контроля, 2004. № 4 (26) [Электронный ресурс]: Сайт компанії ТОВ «Диапак», - режим доступу: <http://www.diapac.ru/Articles/Monitoring.pdf>
- [3] Поллок А. Акустико-эмиссионный контроль // Авторська роздруківка з книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-е видання, т. 17, ASM International (1989):с. 278-294 [Электронный ресурс] / Сайт компанії ТОВ «Диапак», - режим доступу: <http://www.diapac.ru/Articles/Pollock.pdf>
- [4] Шамин А.Е., Овчарук В.Н. Программно-аппаратный комплекс предварительной обработки сигналов акустической эмиссии // «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments-2006»: материалы научно-практической

-
- конференции.- М: 2006. [Электронный ресурс] / Сайт учебного центра «Центр технологий National Instruments», - режим доступа: http://nites.n-sk.ru/pdf/esea_2006_M.33.0.doc
- [5] D. Mitrakovic, I. Grave and S. Sedmak : «Simulation of AE signals and signal analysis system»; Ultrasonic, Vol 23, pp 227-232, 1985.
- [6] G. Vargas, S. I. Isaacson, C. E. D'Attellis, J. Ruzzante, I. Lypez Pumarega, R. Piotrkowski Automatic Analysis of Acoustic Emission Signals // 15th World Conference on NDT - 2000 - Rome (Italy) 2000-11 [Электронный ресурс] / Ресурсный центр NDT.net, - режим доступа: <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn483/idn483.htm>
- [7] Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений Изд. 2-е, переработанное, дополненное. Изд-во «Советское радио» стр. 728. [Электронный ресурс]: Научная библиотека избранных естественно-научных изданий, – режим доступа: http://www.sernam.ru/book_fink.php
- [8] Scott Wilson Jan WAVE PCM soundfile format [Электронный ресурс] / Center for Computer Research in Music and Acoustics, Department of Music, Stanford University , - режим доступа: <https://ccrma.stanford.edu/courses/422/projects/WaveFormat>