

УДК 624.21

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ОБЛАСТІ
ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТА
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТЯХ

Оксень Є. І., Пархоменко В. В., Цокур В. Г., Оксень Д. Є.
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет»

Розглянуто питання розробки методу визначення просторових координат області дефектоутворення в залізобетонних конструкціях й асфальтобетонних покриттях на основі аналізу сигналів акустичної емісії.

Вимір і фіксування сигналів акустичної емісії, як правило [1, 2], здійснюють за допомогою контактних п'єзокерамічних перетворювачів й аналого-цифрових перетворювачів, підключених до комп'ютера або мікропроцесорного комплексу. Застосування цифрових методів виміру й обробки сигналів [3] із частотою опитування 300÷400 Ксемпл дозволяє виконати апаратури діагностування з тимчасовими інтервалами фіксування, що відповідають проходженню акустичних імпульсів у досліджуваному об'єкті відстані не більше 1÷5 см. Використання для аналізу декількох датчиків створює можливість визначення координат області дефектоутворення за різницею у часі надходження сигналів [4].

Ціль роботи – підвищення надійності й зменшення трудових витрат обстежень технічного стану залізобетонних конструкцій й асфальтобетонних покриттів шляхом визначення просторових координат зон дефектоутворення при статичних й експлуатаційних навантаженнях.

Дослідження особливостей поширення сигналів акустичної емісії в часі в залізобетонних конструкціях щодо ґрат датчиків проводилося на основі цифрового чотирьохканального комплексу акустичного контролю (рис. 1а), що складає з ноутбука **1** у захищеному виконанні виробництва, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) ADA-1406 **2**, підсилювача заряду LE-41 **3**. Керування й передача сигналів від АЦП ADA-1406 здійснювалося по шині USB. Для живлення підсилювача заряду LE-41 у комплексі застосовані два джерела живлення **4**.

Антенні ґрати датчиків (АРД) **5** Т-образної форми із чотирма регулярно розташованими датчиками (див. рис. 1б) виконана з розміром осередку $a = 0,4$ м. Розрахункова схема надходження

акустичного сигналу до датчиків антеною ґрати представлені на рис. 1в. Принцип локації області дефектоутворення D заснований на тім, що при позиціюванні АРД щодо плоскої поверхні досліджуваного об'єкта, приймаючи швидкість поширення акустичної хвилі v у його матеріалі однакової у всіх напрямках, час надходження акустичного імпульсу від до кожного з датчиків $1-4$ визначається координатами x , y , z і розміром осередку a .

Для керування функціонуванням комплексу акустичного контролю розроблене спеціалізоване програмне забезпечення, що складається із програм візуалізації на окремих дисплеях сигналів від АРД у режимі реального часу, запису у файл сигналів від АРД від чотирьох датчиків антеною ґрати протягом заданого періоду часу; розрахунку швидкості поширення акустичної хвилі в матеріалі конструкції; розрахунку координат області дефектоутворення за тимчасовою різницею надходження акустичної хвилі до датчиків; побудови часової амплітудно-частотної характеристики сигналу.

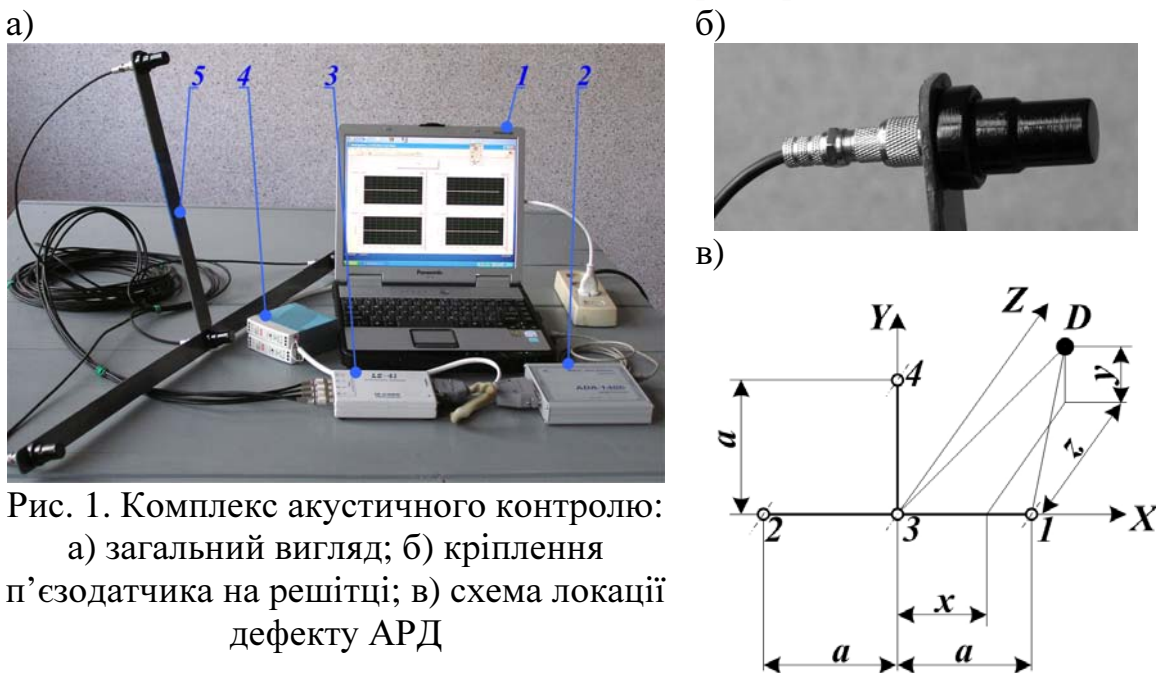


Рис. 1. Комплекс акустичного контролю:
 а) загальний вигляд; б) кріплення п'єзодатчика на решітці; в) схема локації дефекту АРД

1. Визначення швидкості поширення акустичної хвилі в матеріалі досліджуваного елемента конструкції. При визначенні швидкості поширення акустичної хвилі фіксується процес проходження акустичного імпульсу, змодельованого на поверхні досліджуваного об'єкта щодо якої позиціонована АРД так, що місце генерування акустичного імпульсу збігається з віссю X (див. рис. 2). Зразок вид змодельованого на поверхні досліджуваного об'єкта акустичного імпульсу зафіксованого при частоті опитування $SR = 20000$ Ксемпл датчиками 1 й 2 наведений на рис. 2.

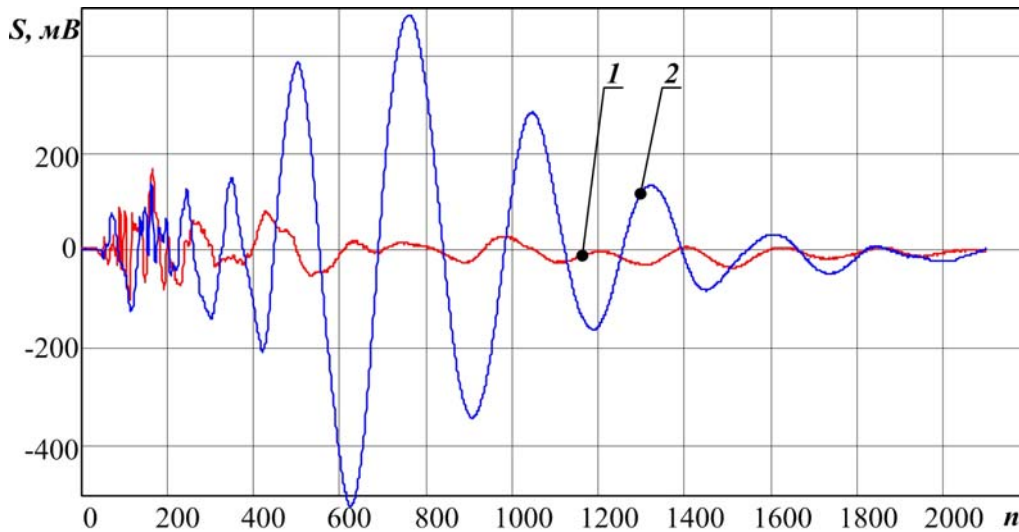


Рис. 2. Вигляд змодельованого на поверхні досліджуваного об'єкта акустичного імпульсу: **1** й **2** – номери датчиків

Відповідно до рекомендацій [4] за момент приходу акустичного імпульсу до датчиків приймався розвиток максимальних значень інтенсивності імпульсу в першій позитивній напівхвилі коливань. На діаграмі початкового фрагмента (рис. 3) різниця ходу акустичного імпульсу щодо датчиків **1** й **2** показана як T_{1-2} .

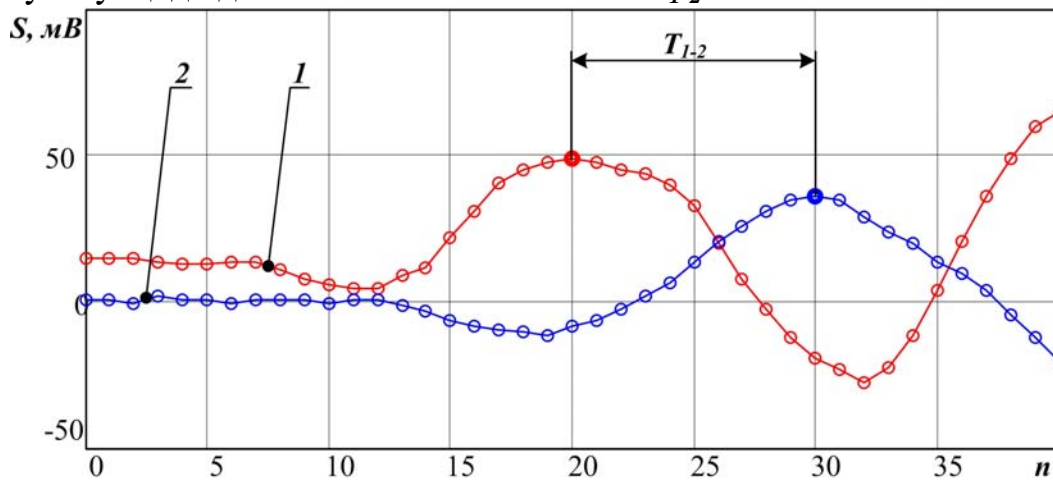


Рис. 3. Діаграма початкового фрагмента акустичного імпульсу

Оскільки на діаграмі по осі абсцис відкладені номери серій опитування групи датчиків **1–4**, то, з урахуванням прийнятої частоти опитування, величина тимчасової затримки надходження сигналу до датчиків складе

$$T_{1-2} = t_2 - t_1 = \frac{n_2 - n_1 + 1}{SR}, \quad (1)$$

де t_i – момент час досягнення максимального значення інтенсивності імпульсу на i -м датчику, с;

n_i – номер серії опитування i -го датчика з максимальним значенням інтенсивності імпульсу.

Значення тимчасової затримки сигналу (1) може бути уточнене на основі оцінки характеру зміни сигналу в зоні локальних максимумів, наприклад, інтерполяцією кубічними сплайн-функціями. Так, прийнявши за область інтерполяції часовий проміжок з 6 серій опитувань (три інтервали до максимуму – два після) і обчисливши коефіцієнти кубічного сплайна можна побудувати кусочно-гладке наближення F_{int} функції сигналу – крива **1** на рис. 4. Обчисливши похідну наближення функції сигналу на досліджуваному тимчасовий проміжку

$$dF_{int_i} = \frac{d(F_{int_i})}{dt}$$

і вирішивши рівняння

$$dF_{int_i} = 0 \quad (2)$$

можна одержати уточнення часу досягнення максимального значення інтенсивності імпульсу на i -м датчику Δt_i . На рис. 4 представлено рішення для сигналу, зафіксованого датчиком **1**.

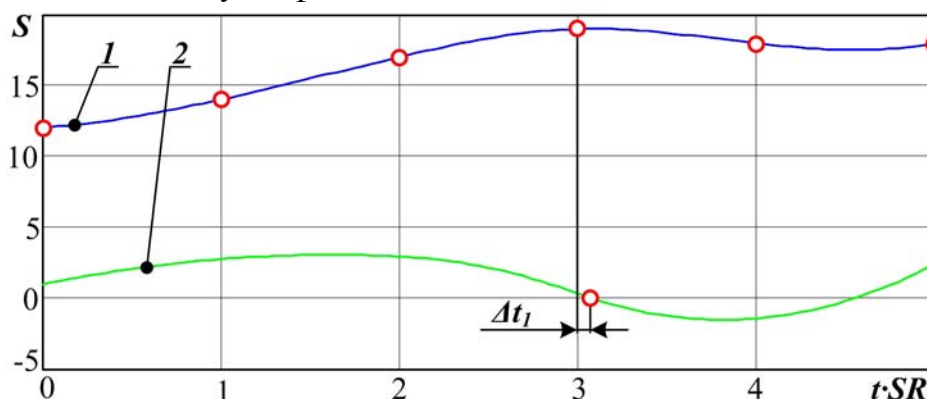


Рис. 4. Уточнення тимчасової затримки сигналу кубічними сплайн-функціями: **1** – F_{int_1} ; **2** – dF_{int_1}

Тоді швидкість поширення акустичної хвилі в досліджуваному об'єкті для прийнятого розташування датчиків в АРД може бути визначена як

$$v = \frac{2 \cdot a}{t_2 - t_1} = \frac{2 \cdot a \cdot SR}{n_2 - n_1 + 1 + SR \cdot (\Delta t_2 - \Delta t_1)} \quad (3)$$

2. Визначення просторових координат області дефектоутворення в залізобетонних конструкціях. Відповідно до розрахункової схеми (см. рис. 1в) тимчасова різниця надходження акустичної хвилі до датчиків АРД визначається рівняннями

$$\begin{cases} Dt_1 = \frac{\sqrt{(a-x)^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{v} \\ Dt_2 = \frac{\sqrt{(a+x)^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{v}, \\ Dt_3 = \frac{\sqrt{x^2 + (a-y)^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{v} \end{cases}, \quad (4)$$

де $Dt_1 = t_1 - t_3$, $Dt_2 = t_2 - t_3$, $Dt_3 = t_4 - t_3$.

Рішенням системи (4) при заданих тимчасових різницях надходження акустичної хвилі до датчиків Dt_i були отримані аналітичні залежності для розрахунку координат x , y , z області дефектоутворення D виду

$$\begin{cases} x = P_1(Dt_1, Dt_2, Dt_3, a, v) \\ y = P_2(Dt_1, Dt_2, Dt_3, a, v). \\ z = P_3(Dt_1, Dt_2, Dt_3, a, v) \end{cases} \quad (5)$$

Залежності для розрахунку координат P_i являють собою багаточлени й через громіздкість у статті не приводяться, але забезпечують зручність програмування й швидкість обчислень.

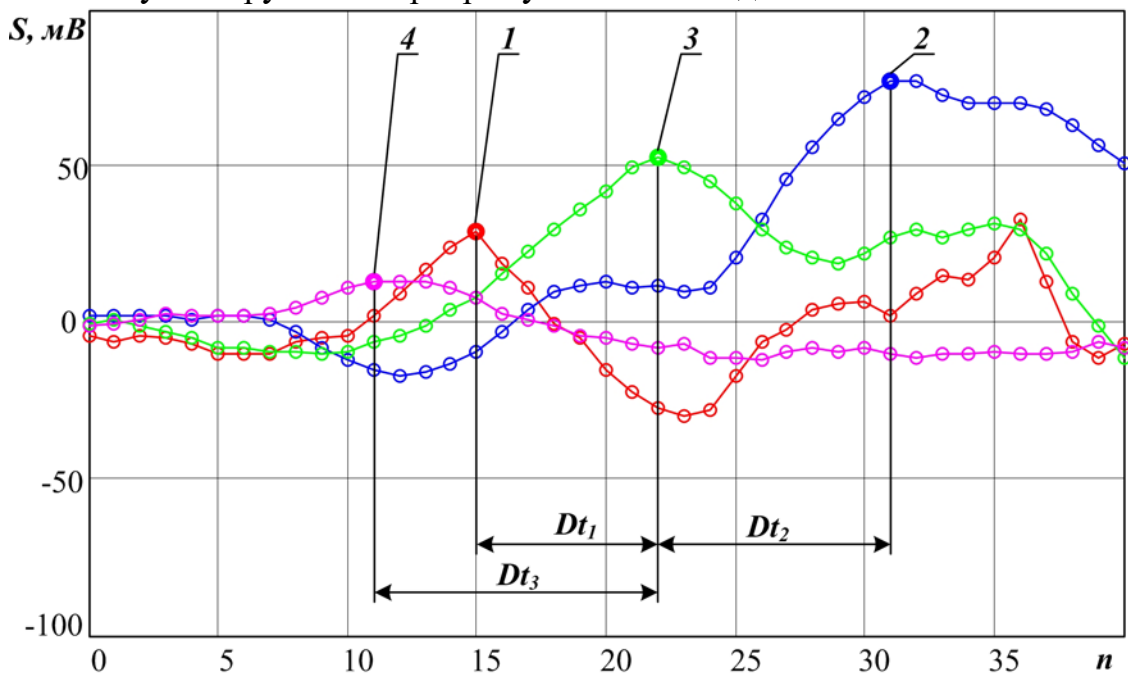


Рис. 5. Діаграма початкового фрагмента акустичного імпульсу: 1, 2, 3 й 4 – номери датчиків

Тимчасові різниці надходження акустичної хвилі до датчиків Dt_i розраховуються відповідно до наведеного вище алгоритмом.

Графічне подання схеми розрахунку наведено на рис. 5 для приклада запису файл сигналів від чотирьох датчиків антеною грати.

Таким чином, тимчасова різниця надходження акустичної хвилі до датчика *1* щодо датчика *3* буде визначена як

$$Dt_1 = \frac{n_1 - n_3 + 2}{SR} + \Delta t_1 - \Delta t_3.$$

Лабораторні випробування розроблений комплекс акустичного контролю при моделюванні утворенні дефектів у залізобетонних плитах будівельної частини лабораторного корпусу показали, що точність визначення координат *x*-*y* координат становить 2÷5 % при відстані від центра АРД до 5 м.

3. Визначення просторових координат області дефектоутворення в асфальтобетонних покриттях. Навантаження асфальтобетонного покриття та шарів дорожнього одягу в процесі експлуатації постійно супроводжується зміною взаємного розташування зерен щебеню конструкційного каркасу. Тому виникнення відповідних сигналів акустичної емісії не є ознакою наявності дефекту. Для визначення координат області дефектоутворення в цих умовах запропоновано застосування методу динамічного навантаження, який дозволяє оцінювати присутність дефектів в конструкції за зміною спектру сигналу акустичної емісії. Метод полягає в випробуванні досліджуємої ділянки (рис. 6) навантаженням пересувною теліжкою вагою *P*, що рухається з

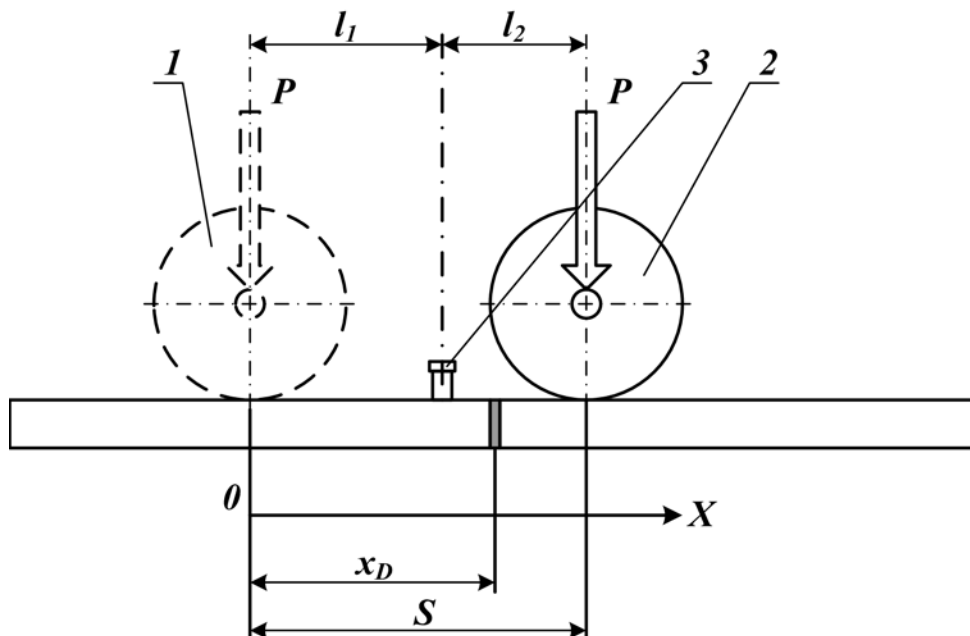


Рис. 6. Схема навантаження досліджуємої ділянки пересувною теліжкою

постійною швидкістю з положення 1 до положення 2 вздовж визначеної координатної вісі X , проходячи шлях S . Фіксація сигналів акустичної емісії здійснюється датчиками 3 АРД, які встановлена на обумовленої відстані l_i відносно координатної вісі X .

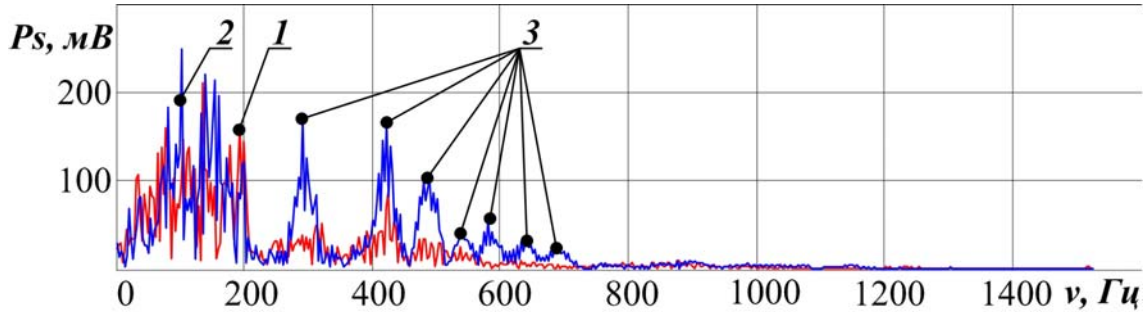
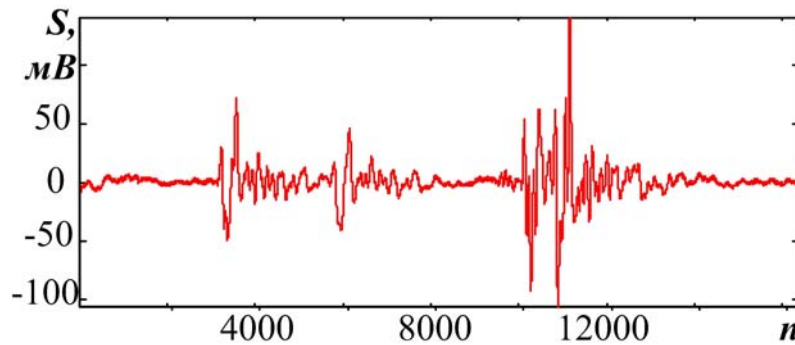


Рис. 7. Амплітудно-частотні характеристики фрагментів сигналу акустичної емісії при динамічному навантаженні

Побудова амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фрагментів сигналу акустичної емісії вздовж шляху пересувною теліжкою при динамічному навантаженні (рис. 7) показує наявність перерозподілу енергії в сигналі за частотами 3 при русі на а)



б)

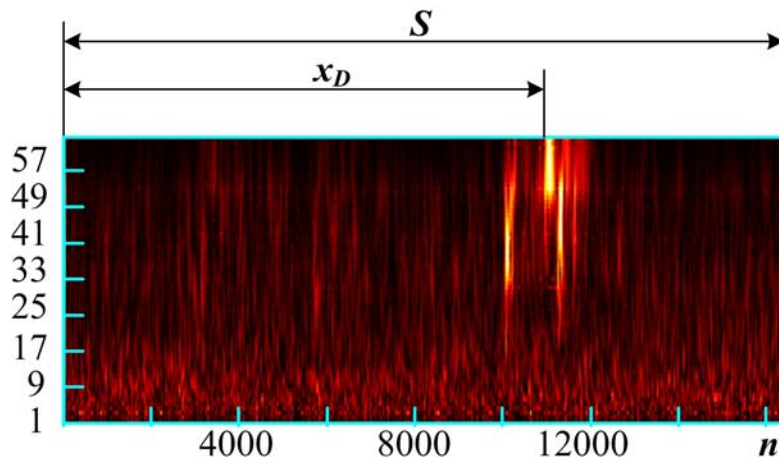


Рис. 8. Встановлення наявності та координати дефекту з застосуванням вейвлет-діаграми сигналу

неушкодженій ділянці **1** та в області дефекту **2**. Локалізація області дефектоутворення можлива шляхом побудови часової амплітудно-частотні характеристики сигналу на протязі терміну випробування. На рис. 8 надано приклад встановлення наявності та координати дефекту поданням сигналу акустичною емісією (див. рис. 8а) комплексним вейвлетом Морлі (див. рис. 8б). Наявність амплітудних максимумів в модулі вейвлет-образі сигналу (яскраво-жовтий колір) вказує на наявність неоднорідностей в конструкції, що випробується, а зіставлення номерів опитування вектору сигналу, швидкості опитування та швидкості пересування навантажувальної теліжки дозволяє розрахувати та координату x_p області дефекту

Виводи.

1. Розроблені метод визначення просторових координат області дефектоутворення в залізобетонних конструкціях, апаратури й програмне забезпечення комплексу акустичного контролю можуть бути рекомендовані для прийняття за основу методу цифрової локації дефектів у залізобетонних конструкціях й асфальтобетонних покриттях.

2. Розроблені апаратури й програмне забезпечення комплексу акустичного контролю можуть бути рекомендовані для промислової апробації при проведенні випробувань залізобетонних конструкцій та асфальтобетонних покриттів.

Бібліографічні посилання

1. Филоненко С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – К.: КНУЦА, 1999. – 304 с.

2. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методичні аспекти відбору та обробки інформації. – Львів: СПОЛОМ, 2005. – 396 с.

3. Оксень Е.И. Аппаратно-программный комплекс измерения параметров деформирования зернистых сред // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматика: Збірн. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. Вип. 47. – С. 277-283.

4. Оксень Е.И., Пархоменко В.В., Мосиенко Н.П., Сергийчук Н.П., Семенов И.И. Экспериментальные исследования усиленных железобетонных балок // Дороги і мости. – Київ: ДерждорНДІ, 2006. Вип. 6. – С. 134-144.

08.04.2008