

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ТА СПОРУДИ

УДК 624.21

**Оксень Е.И., д.т.н., Пархоменко В.В., инж., Мосиенко Н.П., инж.,
Сергийчук Н.П., магистр**

АДИ ДонНТУ, г. Горловка

ДИАГНОСТИКА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ЗВУКОВОЙ ЛОКАЦИИ

Предлагается использовать метод звуковой локации основанный на использовании явления запаздывания звуковой волны к акустическим датчикам при определении момента образования трещины в железобетонных или бетонных конструкциях под нарастающей нагрузкой с последующим определением координат трещины.

Постановка проблемы

Образование микротрещин и трещин в железобетонных и бетонных конструкциях транспортных сооружений под нагрузками регламентировано существующими нормами [1]. Развитие методик расчета конструкций с прогнозированием их долговечности сдерживается отсутствием надежной экспериментальной методики диагностирования трещиностойкости, особенно, в отношении конструкций с неизвестным составом бетона и схемы армирования. Поэтому исследование состояния конструкций из железобетона как композитного материала, определения, координат расположения трещин с последующей оценкой степени опасности и влияния на несущую способность, долговечность и ремонтпригодность является актуальной задачей.

Анализ исследований

Известно, что под действием нагрузок в железобетонных конструкциях развиваются микротрещины, расположение которых зависит от направления действия усилий [2]. Поэтому процесс разрушения бетона можно рассматривать в направлении зарождения, формирования и развития микротрещин.

При испытании или в эксплуатации железобетонных и бетонных конструкций возникает проблема определения момента трещинообразования и координат расположения трещин от испытательной или эксплуатационной нагрузок с последующей оценкой опасности данного дефекта. Образование и развитие трещин в эксплуатируемых железобетонных и бетонных конструкциях, например пролетных строениях мостов, обычно определяют визуальным осмотром, ультразвуковым методом или методом акустической эмиссии [3...5], что сопряжено с трудоемкими операциями выявления дефекта при затрудненном доступе к элементам.

Формулировка цели

Наряду с указанными методами для исследования процесса трещинообразования в бетонных и железобетонных конструкциях, представляется перспективным использование методов звуковой локации.

Цель работы – разработать, апробировать и внедрить мобильный комплекс акустического контроля напряженно-деформированного состояния железобетонных и бетонных кон-

струкций под испытательными и эксплуатационными нагрузками с фиксированием момента образования трещин и последующим определением их координат.

Формулировка задач

В процессе исследований определялись:

- нагрузки, прикладываемые к испытываемой железобетонной плите в момент образования трещины и локализация точки ее образования, как источника звуковой волны, с помощью высокочувствительных акустических датчиков;
- координаты трещины на испытываемой конструкции по времени запаздывания прохождения звуковой волны к акустическим датчикам.

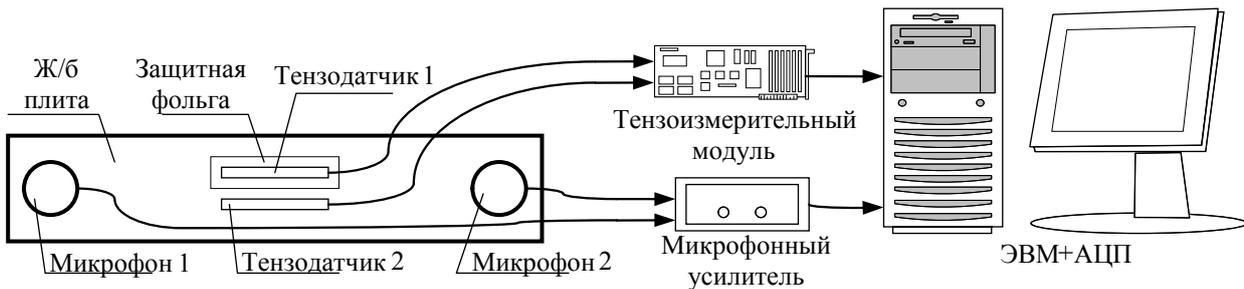


Рис. 1. Схема измерительного комплекса

Решение задач

Измерительный комплекс включает (рис. 1): два высокочувствительных акустических датчика (микрофона) с диапазоном измерения частоты звуковой волны $60 \div 16600$ Гц, устанавливаемых на исследуемой конструкции таким образом, чтобы предполагаемая трещина проходила между датчиками; блок усилителя сигналов акустических датчиков; двухканальный тензометрический аналого-цифровой преобразователь деформации плиты, программное обеспечение вывода информации на дисплей и записи в файл. Преимуществом предлагаемого метода цифровой звуковой локации является точность фиксирования момента образования трещины и ее координат, а также возможность оперативного определения дефекта в процессе эксплуатации, например, при пропуске сверхнормативной нагрузки (СНН) по сооружению.

Метод звуковой локации был опробован в лабораторных условиях при комплексных исследованиях серии железобетонных плит сечением $100 \times 20 \times 10$ см. Методика исследований предусматривала: определение скорости распространения звуковой волны в ненагруженной конструкции (тарировка датчиков), контролируемое нагружение конструкции статической нагрузкой и фиксирование момента образования трещины, вычисление по полученным данным координат трещины на исследуемом объекте.

Датчики располагались непосредственно на поверхности плиты. Для исключения влияния внешних шумов датчики были защищены противозумовыми экранами. Фиксирование процесса трещинообразования осуществлялось при поэтапном нагружении объекта. Плиты устанавливались на стенде и оборудовались датчиками. Размещения датчиков на конструкции и нагрузочное устройство приведены на рис. 2.

В соответствии с принятой методикой конструкция нагружалась плавно с помощью гидравлического домкрата. Уровень нарастания нагрузки контролировался динамометром сжатия типа ДОСМ, грузоподъемностью 10 кН. Сигналы акустических датчиков и тензодатчиков в нагружаемой конструкции обрабатывались на ЭВМ и документировались (рис. 3).

На рис. 4 приведен фрагмент цифровых сигналов фонограммы звукового импульса от образования трещины, зафиксированные микрофонами *1* и *2* с 16-битным разрешением с частотой опроса 44,1 кГц.

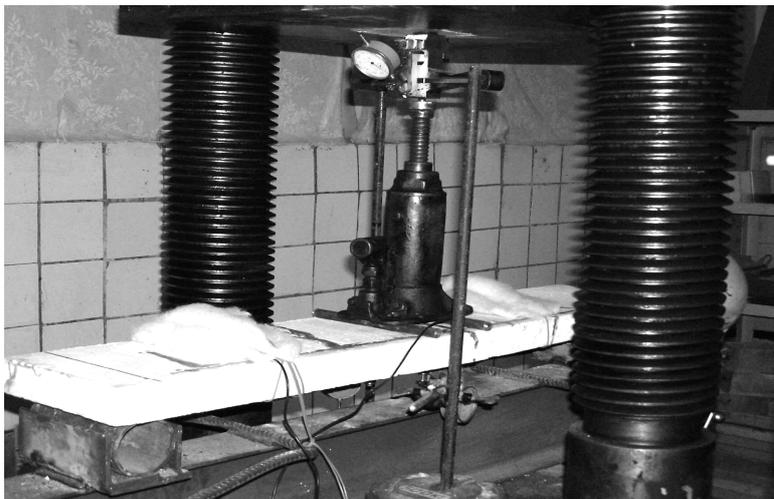


Рис. 2. Схема нагружения железобетонной плиты



Рис. 3. Регистрирующее устройство

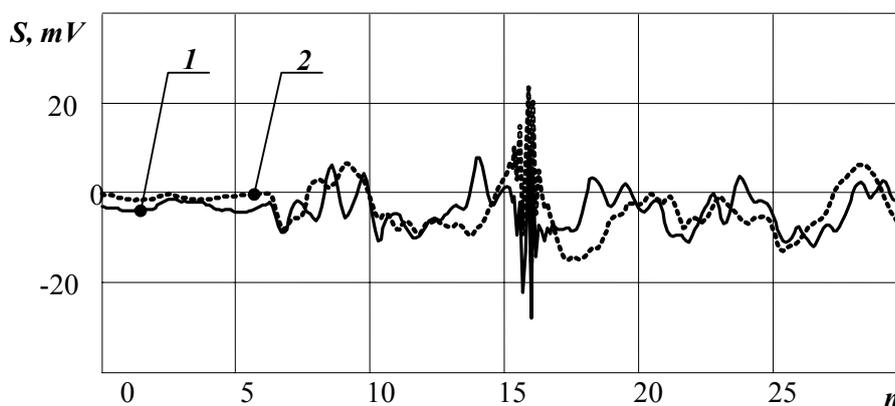


Рис. 4. Звуковой импульс от образования трещины

Исходный сигнал S очищался от шумов вейвлет-фильтрами Добеши-4 пакетным разложением по схеме $S = a3 + d3 + d2 + d1$. Время запаздывания звукового импульса τ рассчитывалось по моменту прихода к датчикам первых максимумов в компонентах $d3$ сигнала

(рис. 5). Для снижения влияния дискретности сигнала значение τ определялось по разности появления нулевых значений в первых производных интерполированных кубическими сплайнами компонент $d3$ в области максимумов.

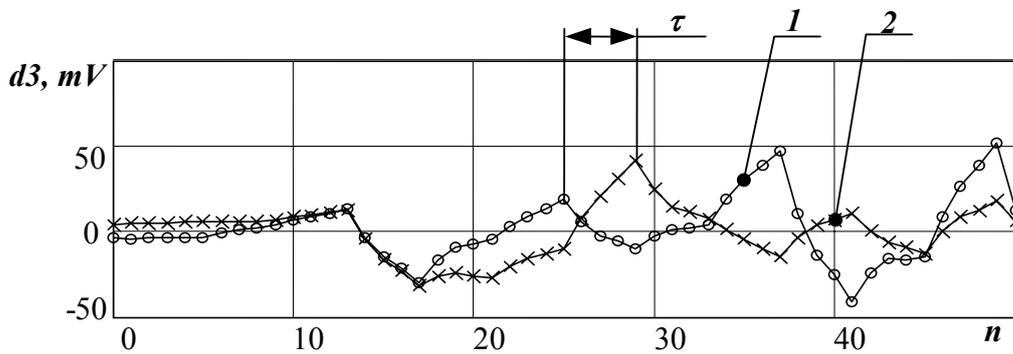


Рис. 5. Схема расчёта запаздывания звукового импульса τ

Координаты X и Y точки зарождения трещины **И** согласно схеме расположения датчиков M_1 и M_2 (рис. 6) определялись из решения системы уравнений

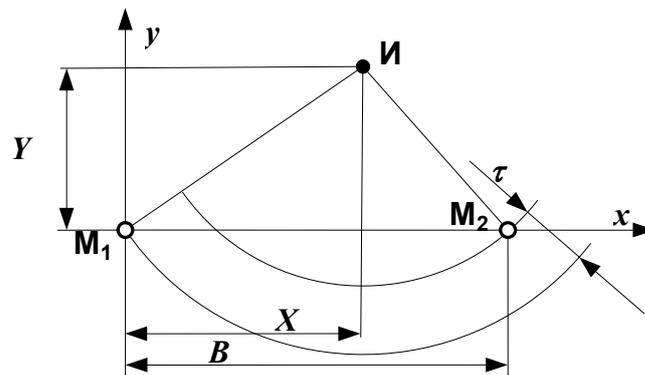


Рис. 6. Схема расчёта координат точки зарождения трещины

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ L_2 = \sqrt{(B - X)^2 + Y^2} \\ t_1 = \frac{L_1}{v_{жб}} \\ t_2 = \frac{L_2}{v_{жб}} \\ t_1 - t_2 = \tau \\ L_1^2 - X^2 = L_2^2 - (B - X)^2 \end{array} \right. , \quad (1)$$

где L_1 и L_2 – расстояние от точки зарождения трещины до датчиков (соответственно);
 B – измерительная база (расстояние) датчиков;
 t_1 и t_2 – время появления первых максимумов в компонентах сигналов $d3$;

$v_{жб}$ – скорость звуковых волн в железобетонной плите (определена экспериментально предварительными испытаниями).

После проведения испытаний рассчитанные координаты точки образования трещины (рис. 7б) сравнивались с визуально выявленными (рис. 7а).

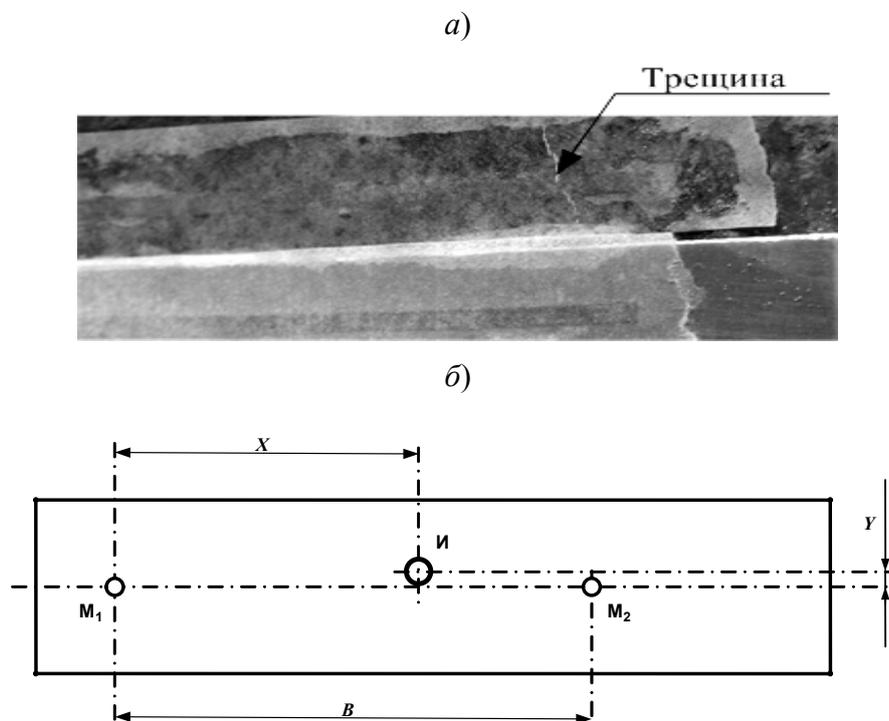


Рис. 7. Визуально выявленная трещина и её рассчитанные координаты

Проведенные экспериментальные исследования показали, что для измерительной базы датчиков в 1 м расчётные координаты трещины соответствуют фактическим с погрешностью не более 1 мм.

Выводы

Приведенная методика позволяет выявить и зарегистрировать момент образования трещин, а так же определить с большой достоверностью их координаты в железобетонных конструкциях, подвергающихся нагружению и может быть рекомендован для практического применения при диагностике железобетонных конструкций.

Список литературы

1. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы / Госстрой СССР. — М.: ЦИТМ Госстроя СССР, 1998. — 200 с.
2. Иосилевский Л.И Долговечность предварительно напряженных железобетонных балочных пролетных строений мостов. — М.:Транспорт, 1967. — 286с.
3. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. — К.: КМУЦА., 1999. — 304 с.
4. Коваль П.М., Фаль А.Є. Дослідження бетонів для плит проїзної частини з використанням методу акустичної емісії // Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – Львів: В-во НУ «ЛП», 2002. — № 462. — С. 81 – 85.
5. Акустический метод определения напряжений и состояния металла в мостовых конструкциях /Акимов Б.Г., Катцын П.А., Гавриленко С.М., Семенушин Б.С., Андреев Б.С., Шурыгин Ю.А. // Наука и техника в дорожной области. — 2001.— №4. — С. 22 – 23.

Стаття надійшла до редакції 03.11.06

© Оксень Є.І., Пархоменко В.В., Мосієнко М.П., Сергійчук М.П., 2006