

## Комплексный метод определения трещиностойкости бетонов

*В.А. Перфилов, Е.Ю. Козловцева*

**Аннотация:** Представлены результаты научно-экспериментальных исследований по определению ширины раскрытия трещин в бетонах при воздействии механической нагрузки. В процессе научных исследований производили одновременное комплексное измерение тензометрическим и акустическим методами нагрузки деформации, ширины раскрытия трещины, суммарного счёта акустической эмиссии с получением полных диаграмм деформирования бетонов. В результате проведённых экспериментов получены уравнения регрессии и установлена корреляционная зависимость между шириной раскрытия трещины и суммарным счетом акустической эмиссии.

**Ключевые слова:** легкие бетоны, ширина трещины, тензометрический метод, акустическая эмиссия, диаграммы деформирования.

В бетонах с повышенным содержанием дефектов в виде пор, трещин и других несплошностей при действии внешней нагрузки в наиболее опасном сечении происходит раскрытие дефекта (трещины) с последующим его ростом до момента разрушения. Для выполнения контроля за ростом трещины необходимо зафиксировать начальный момент её раскрытия и определить критическую нагрузку, при которой рост и ширина раскрытия наиболее опасного дефекта приводят к стремительному разрушению [1].

В проведённых ранее рядом исследователей экспериментах по обнаружению границ трещинообразования наблюдался разброс данных в зависимости от вида и состава бетона, а в большей степени от выбранной методики исследований. Точность и достоверность этих исследований ограничивалась применением ультразвукового контроля разрушения бетонов. Однако, известно, что чувствительность метода акустической эмиссии (АЭ) значительно выше ультразвукового. Данных по обнаружению и контролю ширины раскрытия трещин и деформаций в бетоне методом АЭ очень немного [2-4]. Контроль разрушения структуры бетонов методами акустической эмиссии, проведенный ранее [5-6], не позволил определить

ширину раскрытия трещин при получении полных диаграмм деформирования.

Сочетание разрушающего и неразрушающего контроля за ростом трещин и другие исследования отечественных ученых в этом направлении [7-9] с получением соответствующих зависимостей дает возможность снизить затраты на мониторинг конструкций, что приводит к созданию комплексного метода исследований. Поэтому это направление является актуальным и требует отдельного дополнительного экспериментального изучения.

Были проведены исследования вязкости разрушения бетонов (трещиностойкости) с одновременным определением параметров роста трещин тензометрическим и акустико-эмиссионным методами. Эти исследования направлены на создание комплексного метода оценки трещиностойкости.

В настоящей работе проведены комплексные исследования ширины раскрытия трещины бетонов, содержащих большое количество дефектов (пор, трещин). Оценка таких дефектов производилась по интегральной пористости.

Эксперименты предусматривали одновременное комплексное измерение тензометрическим и акустическим методами таких параметров, как нагрузка, ширина раскрытия трещины, суммарный счёт акустической эмиссии с получением полных диаграмм деформирования бетонов.

В исследованиях предусматривалось определение ширины раскрытия трещин в течение всего процесса нагружения образца. Для этого в область надреза образца-балочки устанавливалась металлическая тонкостенная упругая пластина с заранее наклеенным тензодатчиком измерения деформаций, возникающих при раскрытии инициируемой трещины. В результате нагружения усиливаемый сигнал с тензодатчика подаётся на двухкоординатный самописец, где в координатах: «время – ширина

---

раскрытия трещины» записывается диаграмма процесса. Параллельно тот же сигнал с датчика передаётся в высокоскоростной осциллограф для полной комплексной записи параметров трещиностойкости во времени. В результате проведения испытаний с использованием двух самописцев получили параллельные диаграммы: «нагрузка-деформация» и «ширина раскрытия трещины-время».

Испытания образцов бетона производились с использованием гидравлических и механических установок. При этом регистрировались в аналоговой и цифровой форме такие параметры, как нагрузка, деформация, а также амплитуда, число импульсов и скорость счета акустической эмиссии. Тензометрический метод применялся в процессе измерения параметров нагрузки и деформации при получении полных диаграмм деформирования бетона. Одновременно с получением полных диаграмм деформирования измеряли акустические параметры с использованием специальной аппаратуры.

В процессе нагружения образца с помощью упругого элемента [10] записывалась диаграмма "нагрузка - деформация" на двухкоординатном самописце фирмы "ENDIM". Одновременно с помощью двух установленных по обе стороны от предполагаемого места развития трещины и последующего разрушения пьезокерамических датчиков регистрировались сигналы акустической эмиссии стандартным прибором АФ – 15.

Согласно предложенным методикам [1,11-12], проведены испытания лёгких бетонов с повышенным содержанием пор. В процессе многочисленных экспериментов были также разработаны составы бетонов с улучшенными характеристиками трещиностойкости, прочности при сохранении требуемой плотности. В частности, в качестве исследуемого применялся пенобетон, ячеистая структура которого отличается наличием большого количества мелких пор благодаря использованию

---

пенообразователей из синтетических поверхностно-активных веществ в виде отходов промышленности Волгоградской области.

Бетоны, имеющие в своём составе прочные, но в то же время, эластичные заполнители, могут обладать высокой трещиностойкостью. Этим условиям, в значительной степени, удовлетворяет разработанный лёгкий бетон на органических заполнителях в виде очищенных от семян, рубленых кукурузных початков.

Для испытаний применялись образцы бетонов размером 100x100x400 мм с центральным надрезом, составляющим 0,5 от высоты образца. По схеме трёхточечного изгиба получены полные диаграммы деформирования и количественные данные ширины раскрытия трещин в процессе нагружения образцов.

В результате проведённых экспериментов получены уравнения регрессии и соответствующие им совмещённые диаграммы зависимости суммарного счёта АЭ от уровня нагрузки  $\sigma/\sigma_{\max}$ , а также ширины раскрытия трещины от  $\sigma/\sigma_{\max}$ . Согласно полученным графикам пенобетон показал самое раннее страгивание трещины при уровне нагрузки, составляющим 30 % от максимальной при ширине раскрытия трещины около 0,1мм. Бетоны на органических заполнителях и особо лёгком керамзитовом гравии характеризовались примерно одинаковым уровнем нагрузки (около 40 % от  $\sigma_{\max}$ ), при котором происходило страгивание трещины. Однако ширина её раскрытия составляла примерно 0,3 мм. Суммарный счёт акустической эмиссии в зависимости от момента страгивания трещины изменялся в пределах  $2,3 \div 4 \cdot 10^{-3}$  имп. Чем позднее происходило страгивание и, соответственно, больше ширина раскрытия трещины, тем интенсивнее акустическое излучение.

Полученные уравнения регрессии для различных видов лёгких бетонов имеют следующий вид:

---

- пенобетон:

$$N = 0,0126 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,32} \quad (1)$$

$$\delta = 0,63 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,78}, \text{ где} \quad (2)$$

N - суммарный счёт АЭ, имп.;  $\delta$  - ширина раскрытия, мм;  $\sigma / \sigma_{\max}$  - уровень нагрузки.

- бетон на органических заполнителях:

$$N = 0,015 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,31} \quad (3)$$

$$\delta = 0,78 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,49} \quad (4)$$

- бетон на особо лёгком керамзитовом гравии:

$$N = 0,017 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,58} \quad (5)$$

$$\delta = 0,76 \cdot \sigma / \sigma_{\max}^{1,67} \quad (6)$$

Анализ полученных степенных зависимостей показал, что характер кривых АЭ и ширины раскрытия трещины в зависимости от уровня нагружения для всех видов исследуемых лёгких бетонов практически не изменялся. Однако, более плавное изменение параметров АЭ и ширины раскрытия трещины были получены у бетона на органических заполнителях в виде очищенных от семян и дробленных кукурузных початков. Несмотря на повышенную, по сравнению с керамзитобетоном, общую пористость (52 % против 38,5 %), использование в качестве заполнителей волокнистых материалов позволило несколько повысить пластичность бетона, особенно при действии растягивающей нагрузки. Ширина раскрытия трещин при разрушении практически не отличалась по сравнению с керамзитобетоном.

В результате проведенных экспериментальных исследований и статистической обработки данных установлена корреляционная зависимость между шириной раскрытия трещины  $\delta$  и суммарным счетом акустической эмиссии N:

$$N = 1,6 \cdot 10^{-3} + 5,9 \cdot 10^{-3} \cdot \delta \quad (7)$$

В результате проведенных экспериментальных исследований получены аналитические и графические зависимости, устанавливающие связь тензометрического и акустического методов при определении параметров роста трещин в бетонах.

Таким образом, при использовании высокочувствительного акустического метода получены наиболее достоверные данные о процессе раскрытия наиболее опасных трещин в бетонах. Начало раскрытия трещин совпадает с началом резкого увеличения суммарного счёта АЭ.

### Литература

1. Перфилов В.А. Рост трещин в бетонах. – Волгоград, ВолгГАСА, 2002.- 82 с.
2. Бордюгов Д.М., Ерминсон А.Л. Энергия акустической эмиссии в процессе разрушения бетона // Дефектоскопия – 1992, №9, - С.27-31.
3. Муравин Г.Б., Павловская Г.С., Лиходько А.Д. / Акустическая эмиссия при деформировании бетона // Дефектоскопия, 1982, №12, - С. 3-13.
4. Смирнов В. И. / Об оценке размеров дефектов методом акустической эмиссии с позиций линейной механики разрушения // Дефектоскопия, 1979, № 2. - С. 45-50.
5. Arrington M., Evans B.M. / Acoustic Emission Testing of High Alumina Cement Concrete // NDT Inter., 1977, N10, p.81-87.
6. Monitoring Structural Integrity by Acoustic Emission. // ASTM STP 571, Philadelphia, 1975, 289p.
7. Маилян Д. Р., Польской П. П., Михуб А. / Особенности трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных балок с различными видами арматуры и композитных материалов // Инженерный Вестник Дона. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677)



8. Маилян Д. Р., Михуб А., Польской П. П. / Вопросы исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный Вестник Дона. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1674](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1674)
9. Маилян Д. Р., Польской П. П., Георгиев С. В. / Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный Вестник Дона. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673)
10. Шевченко В.И., Пищалко Э.А, Ушаков А.В. / А.С. №1234751. Устройство для механических испытаний образцов хрупких материалов // Оpubл. Бюл. № 20 – 30.5.86.
11. Перфилов В.А. / Определение критической длины магистральной трещины в бетоне // Известия вузов. Строительство, Новосибирск, 2004, №11, - С. 108-111.
12. Перфилов В.А. / Применение метода акустической эмиссии для контроля прочности и трещиностойкости композиционных материалов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2005. № 1. – С. 92-93.

### References

1. Perfilov V.A. Rost treshchin v betonah. [Crack growth in concrete]. Volgograd: VolgGASA, 2002. 82 p.
  2. Bordyugov D.M., Erminson A.L. Defektoskopiya. 1992. №9. pp. 27-31.
  3. Muravin G.B., Pavlovskaya G.S., Likhod'ko A.D. Defektoskopiya. 1982. №12. pp. 3-13.
  4. Smirnov V. I. Defektoskopiya. 1979. № 2. pp. 45-50.
  5. Arrington M., Evans B.M. Acoustic Emission Testing of High Alumina Cement Concrete. NDT Inter. 1977. N10. pp. 81-87.
-



6. Monitoring Structural Integrity by Acoustic Emission. ASTM STP 571, Philadelphia. 1975. 289p.
7. Mailyan D. R., Pol'skoy P. P., Mikhub A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677)
8. Mailyan D. R., Mikhub A., Pol'skoy P. P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1674](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1674)
9. Mailyan D. R., Pol'skoy P. P., Georgiyev S. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673)
10. А.С. №1234751 Устройство для механических испытаний образцов хрупких материалов. [Device for mechanical testing of samples of brittle materials]. SHEvchenko V.I., Pishchalko E.A, Ushakov A.V. №20. 30.5.86.
11. Perfilov V.A. Izvestiya vuzov. Novosibirsk. 2004. №11. pp. 108-111.
12. Perfilov V.A. Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. 2005. № 1. pp. 92-93.