

А.И. САГАЙДАК<sup>1,✉</sup>, Е.С. БОРОВКОВА<sup>2</sup><sup>1</sup>Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,

2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup>Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк, 212440, Республика Беларусь

# ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИКО—ЭМИССИОННЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

## Аннотация

**Введение.** Приведены основные результаты применения метода акустико-эмиссионных критериев для диагностики предразрушающего состояния железобетонных конструкций. В работе рассмотрена взаимосвязь зарождения и роста микротрещин в железобетонных балках с отклонениями инвариантных соотношений от устойчивых значений акустико-эмиссионных параметров.

**Целью** исследования является оценка возможности применения для диагностики железобетонных конструкций метода инвариантов; уточнение численных значений временного и амплитудного инвариантов, временных и амплитудных информационных параметров для железобетонных балок; определение связи инвариантов с масштабом разрушения в железобетонных конструкциях.

**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проводились на железобетонных балках, изготовленных из тяжелого бетона (класса прочности на сжатие В60, В90) и фибробетона (класса прочности на сжатие В30, В60). В процессе испытания балок проводились акустико-эмиссионные измерения, фиксировались размеры трещин.

**Результаты.** Результаты испытаний позволили установить численные значения временного и амплитудного инвариантных критериев, временного и амплитудного информационных параметров для железобетонных балок. Численные значения временного инварианта имеют значения близкие к единице, амплитудный инвариант имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр равны 0 на начальной стадии нагружения образцов.

**Выводы.** Исследования показали возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативным является временной и амплитудный инвариантные критерии.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, пуассоновское распределение, временной инвариант, амплитудный инвариант, информационный параметр, железобетон

**Для цитирования:** Сагайдак А.И., Боровкова Е.С. Применение акустико-эмиссионных критериев для исследования процессов деформирования и разрушения конструкций из железобетона // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 38–44. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-38-44](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-38-44)

## Вклад авторов

Сагайдак А.И. – разработка программы исследований, обзор литературных данных, проведение эксперимента, обработка результатов экспериментальной работы, выводы по работе, оформление статьи.

Боровкова Е.С. – обработка результатов эксперимента, оформление статьи.

## Финансирование

Работа выполнена за счет средств госбюджета.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.04.2023

Поступила после рецензирования 17.05.2023

Принята к публикации 25.05.2023

A.I. SAGAIK<sup>1,✉</sup>, E.S. BOROVKOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research institute of concrete and reinforced concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev,  
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428,  
Russian Federation

<sup>2</sup>Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Blokhin Street, 29, Novopolotsk, 212440,  
Republic of Belarus

# APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION CRITERIA FOR THE STUDY OF DEFORMATION PROCESSES AND DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

## Abstract

*Introduction.* The main results of the application of the method of acoustic emission criteria for the diagnosis of the pre-destructive state of reinforced concrete structures are presented. The paper considers the relationship between the origin and growth of microcracks in reinforced concrete beams with deviations of invariant ratios from stable values of acoustic emission parameters.

*The aim* of the research is evaluate the possibility of using the invariant method for the diagnosis of reinforced concrete structures. Refinement of numerical values of time and amplitude invariants, time and amplitude information parameters for reinforced concrete beams. Determination of the relationship of invariants with the scale of destruction in reinforced concrete structures.

*Materials and methods.* Experimental studies were carried out on reinforced concrete beams made of heavy concrete (compressive strength class B60, B90) and fiber concrete (compressive strength class B30, B60). In the process of testing the beams, acoustic emission measurements were carried out, the crack sizes were fixed.

*Results.* The test results allowed us to establish numerical values of time and amplitude invariant criteria, time and amplitude information parameters for reinforced concrete beams. The numerical values of the time invariant have values close to 1, the amplitude invariant has a value of 0,1, and the information parameter of the time intervals and the amplitude information parameter are equal to 0 at the initial stage of loading the samples.

*Conclusions.* Studies have shown the possibility of quantifying the size of cracks (the total length in the control zone) of the structure using the invariant method. The most informative are the time and amplitude invariant criteria.

**Keywords:** acoustic emission, Poisson distribution, time invariant, amplitude invariant, information parameter, reinforced concrete

**For citation:** Sagaidak A.I., Borovkova E.S. Application of acoustic emission criteria for the study of deformation processes and destruction of reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 38–44. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-38-44](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-38-44)

## Author contribution statement

Sagaidak A.I. – development of a research program, review of literature data, conducting an experiment, processing the results of experimental work, conclusions on the work, design of the article.

Borovkova E.S. – processing of experimental results, design of the article.

## Funding

The work was carried out at the expense of the state budget.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.04.2023

Revised 17.05.2023

Accepted 25.05.2023

## Введение

Акустико-эмиссионный метод контроля основан на регистрации акустических сигналов, вызванных перестройкой внутренней структуры материала при силовых, температурных или коррозионных процессах. Современная акустико-эмиссионная аппаратура обеспечивает одновременную регистрацию и обработку параметров сигналов акустической эмиссии (АЭ) по нескольким независимым каналам с высокой частотой оцифровки, которая составляет несколько десятков тысяч измерений в секунду.

Высокая чувствительность АЭ метода к динамике процессов, протекающих в материале конструкции при изменении напряженно-деформированного состояния, делает его незаменимым при диагностике состояния объекта.

Авторами [1–4] был предложен подход, заключающийся в том, что связь регистрируемых сигналов АЭ с физическим процессом разрушения определяется по отклонению от устойчивых (инвариантных) параметров исследования в металлах, композиционных материалах. Показано, что на начальных стадиях деформирования (до образования трещин) временной поток АЭ событий является стационарным и описывается пуассоновским законом распределения.

В этом случае стандартное отклонение временного потока АЭ событий  $S_{\Delta t}$  равно их среднему значению  $\overline{\Delta t}$ . Для временного пуассоновского потока справедливо соотношение (1), которое имеет устойчивое (инвариантное) значение, равное единице [1]:

$$I_{I\Delta t} = \frac{S_{\Delta t}}{\Delta t} = 1, \quad (1)$$

где  $I_{I\Delta t}$  – временной инвариант;

$S_{\Delta t}$  – стандартное отклонение;

$\Delta t$  – среднее значение интервалов времени между соседними импульсами АЭ.

Как только в материале конструкции образуются дефект или трещины, инвариант  $I_{I\Delta t}$  принимает численное значение, отличное от единицы [1, 2, 7]. Тогда появление отклонений регистрируемых значений этих соотношений от их инвариантных значений может служить критерием перехода на следующую стадию деформации или разрушения.

Помимо временного инварианта (1), часто используется амплитудный инвариант, который вычисляется по (2)

$$I_{IA} = \frac{S_A}{A} \quad (2)$$

где  $S_A$  и  $A$  – соответственно стандартное отклонение и среднее значение амплитуды сигнала АЭ.

Для количественного описания степени отклонения введен информационный параметр временных интервалов следования  $i_{I\Delta t}$ , вычисляемый по формуле (3), и амплитудный информационный параметр  $i_{IA}$ , вычисляемый по формуле (4), [1, 7]:

$$i_{I\Delta t} = |\overline{\Delta t} - S_{\Delta t}| / \sqrt{\overline{\Delta t}}, \quad (3)$$

$$i_{IA} = |I_{IA} - I_{IA}^*| / I_{IA}^*, \quad (4)$$

где  $I_{IA}^*$  – устойчивое значение амплитудного инварианта.

Исследования в металлах показали, что значение временного инварианта  $I_{\Delta t}$  при образовании трещины увеличивается и становится не равным единице. Значение амплитудного инварианта при образовании трещин  $I_A$  уменьшается и становится не равным 0,8 [2]. Численные значения инвариантов и информационных параметров для железобетонных конструкций носят противоречивый характер, исследования инвариантов для конструкций из бетона и железобетона практически не проводились.

Развиваемый метод в последнее время получил название метода инвариантов и все более широко используется в качестве метода диагностики состояния конструкционных материалов [1–4].

## Цели и задачи исследований

Целью исследований является создание нового метода диагностики состояния железобетонных конструкций методом АЭ при помощи метода инвариантов. Задачами исследований являются:

- оценка возможности применения для диагностики конструкций модели пуассоновского потока и метода инвариантов для исследования процессов деформирования и разрушения железобетонных конструкций;

- экспериментально определить численные значения инвариантов и информационных параметров моделей пуассоновского потока при испытании конструкций из железобетона;

- установить связь инвариантов с размерами трещин в железобетонных конструкциях.

## Экспериментальные исследования

Для оценки информативности параметров метода инвариантов с кинетикой внутренних процессов в материале конструкции в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены экспериментальные исследования на железобетонных балках, изготовленных из тяжелого бетона. Балки № 1 и № 3 изготавливались из фибробетона класса по прочности на сжатие В60 и В30, балки № 2 и № 4 изготавливались из тяжелого бетона класса по прочности В60 и В90. Размеры балок: длина – 2200 мм, высота – 290 мм, ширина – 160 мм. Железобетонные балки армировались арматурными каркасами. Применялась арматура А500С различного диаметра, которая расположена в нижней и верхней частях балок. Шаг поперечной арматуры в балке составлял 100 и 200 мм. Бетонирование проводилось в металлических формах.

## Испытательное оборудование

В качестве нагружающей машины использовали систему INSTRON 8802. Нагрузка прикладывалась к центральной части балки. Для уменьшения влияния трения нагружающего устройства о поверхность бетона использовалась прокладка из войлока.



**Рис. 1.** Нагружающее устройство INSTRON 8802 с установленной балкой  
**Fig. 1.** INSTRON 8802 loading device with a beam installed

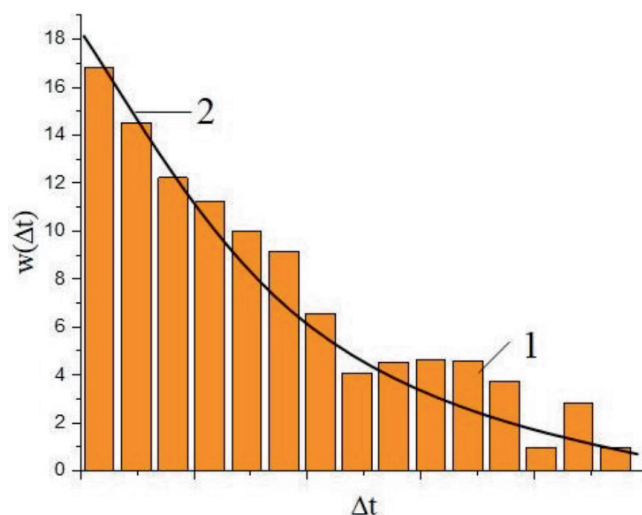
Акустико-эмиссионные измерения выполнялись с использованием цифровой АЭ системы серии A-Line 32D. АЭ система представляет собой десятиканальную систему сбора и обработки акустико-эмиссионной информации. Преобразователи АЭ крепились на две боковые и верхнюю поверхности балки при помощи магнитных прижимов, которые устанавливали на предварительно закрепленные металлические пластины. Для регистрации сигналов использовались преобразователи АЭ частотным диапазоном 30–300 кГц. На рис. 1 показано испытательное оборудование и восьмиканальный акустико-эмиссионный прибор (на переднем плане).

Нагрузка к балкам прикладывалась поэтапно ступенями (долями), каждая из которых не превышала 5–10 % контрольной нагрузки по образованию трещин.

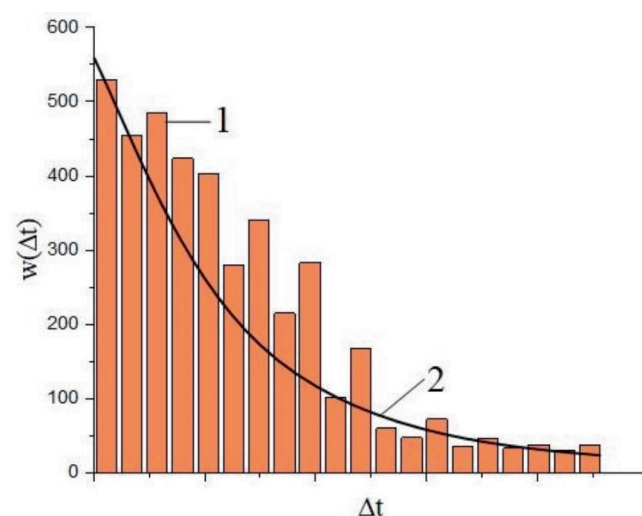
На этапе приложения нагрузки и выдержки под нагрузкой регистрировались сигналы АЭ, фиксировался прогиб балки, на этапах выдержки измерялась длина и ширина раскрытия трещин. В том случае если существующая трещина на последующем этапе приложения нагрузки «прорастала», фиксировалась и измерялась и эта величина. Для каждого этапа длины всех трещин суммировались. Для анализа использовался самый активный канал АЭ прибора.

### Обсуждение результатов

В качестве примера на рис. 2 и 3 представлены два этапа испытания железобетонной балки № 4. Анализируется начальный этап нагружения, на котором не было зафиксировано образование видимых трещин (рис. 2), и этап нагружения, на котором в балке образовалось наибольшее количество трещин (рис. 3). Анализ распределений показывает, что на этапе без видимых трещин сигналы АЭ группируются около кривой 2, описываемой зависимостью (5). Из этого следует, что распределение временных интер-



**Рис. 2.** Гистограммы плотностей распределения временных интервалов следования АЭ при нагружении железобетонной балки № 4 нагрузкой 15 кН: 1 – экспериментальные значения; 2 – функция, аппроксимирующая пуассоновский поток; объем выборки – 123 импульса; ширина канала  $dt = 1,62$  мс  
**Fig. 2.** Histograms of the distribution densities of the AE time intervals when loading reinforced concrete beam No. 4 with a load of 15 kN: 1 – experimental values; 2 – function approximating the Poisson flow; sample size – 123 pulses; channel width  $dt = 1.62$  ms



**Рис. 3.** Гистограммы плотностей распределения временных интервалов следования АЭ при нагружении железобетонной балки № 4 нагрузкой 60 кН: 1 – экспериментальные значения; 2 – функция, аппроксимирующая пуассоновский поток; объем выборки – 4360 импульсов; ширина канала  $dt = 460$  мс  
**Fig. 3.** Histograms of the distribution densities of the AE time intervals when loading reinforced concrete beam No. 4 with a load of 60 kN: 1 – experimental values; 2 – function approximating the Poisson flow; sample size – 4360 pulses; channel width  $dt = 460$  ms



валов следования АЭ событий практически подчиняется пуассоновскому закону (1).

На рис. 2 и 3 приведены гистограммы плотности распределения временных интервалов следования потока АЭ событий, описанных зависимостью (1), и функция пуассоновского закона распределения, вычисленная по зависимости (3):

$$w(\Delta t) = N \cdot \exp(-N \cdot \Delta t), \quad (5)$$

где  $w(\Delta t)$  – функция пуассоновского распределения;

$N$  – акустико-эмиссионные события;

$\Delta t$  – временной интервал.

На рис. 4 приведены результаты зависимости инвариантных соотношений для железобетонных балок от нагружения.

Результаты испытаний железобетонных балок позволили установить численные значения, временного и амплитудного инвариантных критериев, временных и амплитудных информационных параметров. Численные значения временного инвариантного критерия имеют значения, близкие к единице, амплитудный инвариантный критерий имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр на ранних стадиях нагружения образцов равны 0.

Некоторые отличия от представленных выше численных значений временного и амплитудного инвариантных критериев связаны с начальной нагрузкой и неоднородностью структуры бетона. Временной и амплитудный информационные параметры менее чувствительны к неоднородности структуры бетона, и, как правило, на начальных этапах приложения усилия равны нулю.

Образование трещин приводит к тому, что временной инвариант принимает численные значения, не равные единице, и условие  $I_{It} = \frac{S_{\Delta t}}{\Delta t} \neq 1$  характеризует стадию образования видимых трещин в бетонной конструкции. Численные значения амплитудного инварианта, не равные 0,1, и условие  $I_{IA} = \frac{S_A}{A} \neq 0,1$  характеризуют стадию образования трещины в железобетонной конструкции.

### Связь инвариантов с размером разрушения в железобетонных конструкциях

Ранее [6] было показано, что образование и развитие трещин в железобетонной конструкции приводит к отклонению от пуассоновской модели следования временного потока сигналов АЭ. Было установлено, что численные значения временного инвариантного критерия коррелируют с размером трещин. Коэффициент

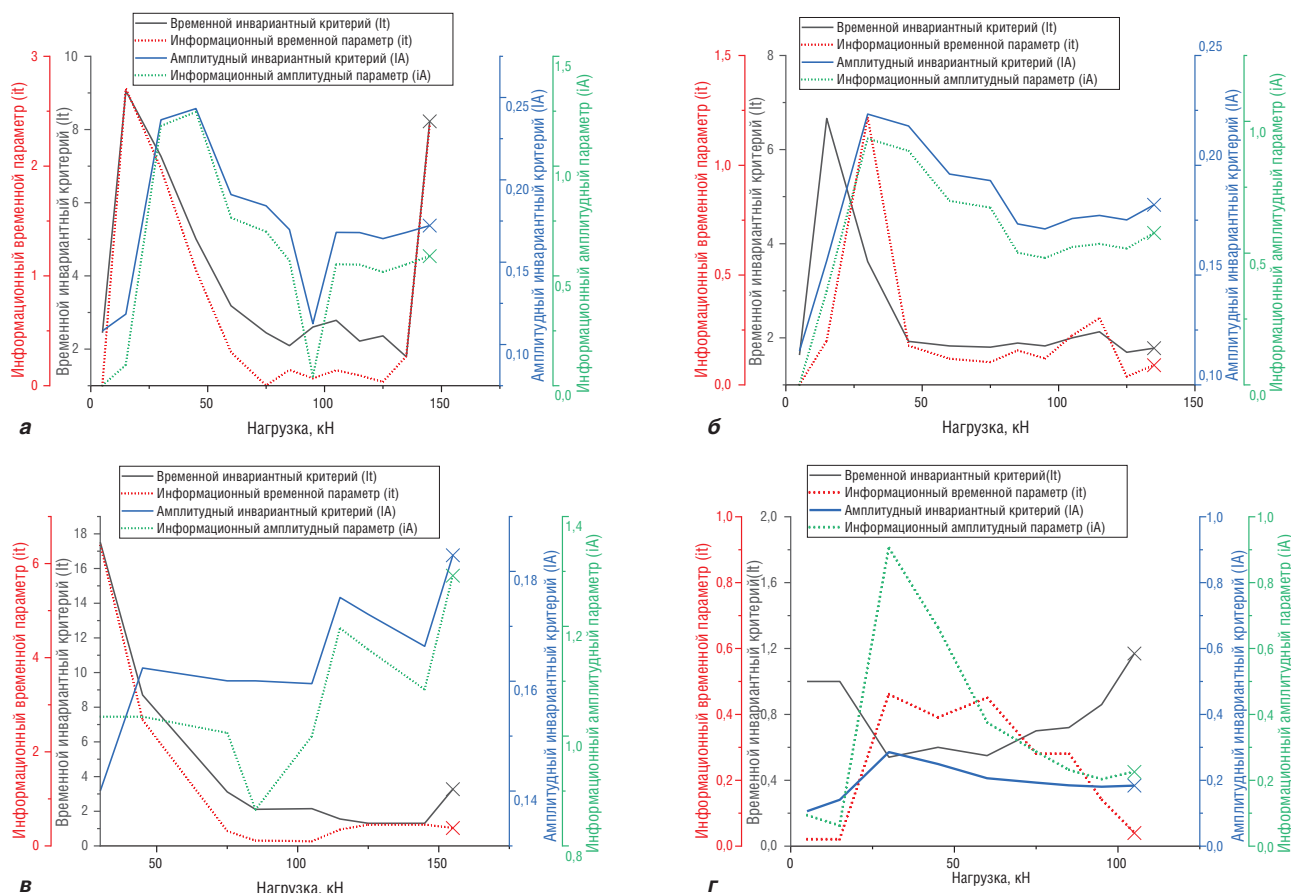


Рис. 4. Зависимость временного и амплитудного инвариантных критериев, временных и амплитудных информационных параметров от приложенной нагрузки железобетонных образцов: а – балка № 1; б – балка № 2; в – балка № 3; г – балка № 4; X – обозначено разрушение образца

Fig. 4. Dependence of the time and amplitude invariant criterion, time and amplitude information parameters on the applied load of reinforced concrete samples: а – beam No. 1; б – beam No. 2; в – beam No. 3; г – beam No. 4; X – indicates the destruction of the sample

корреляции между временным инвариантным критерием и размерами трещин составляет 0,83.

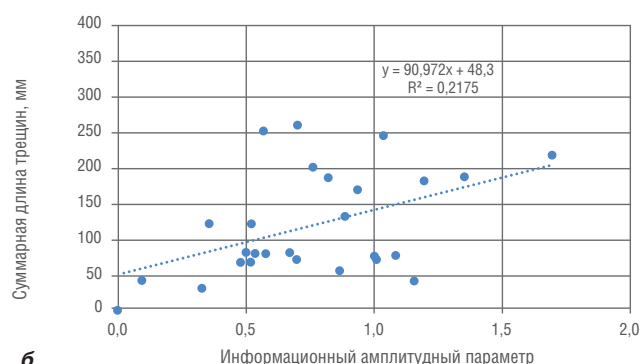
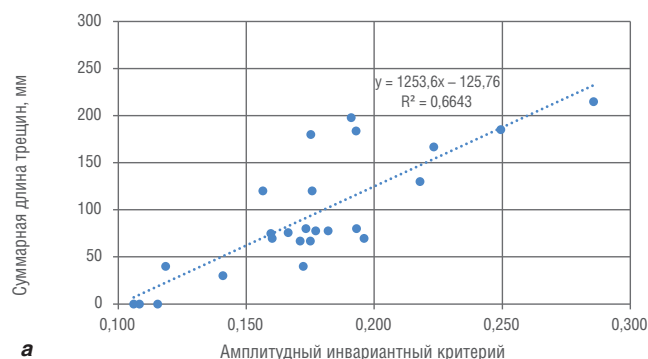
На рис. 5 приведены единые градуированные зависимости между суммарным размером трещины в балках и инвариантными критериями для четырех балок.

Исследования показали принципиальную возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативными являются временной и амплитудный инвариантные критерии.

## Основные выводы

1. Результаты испытаний позволили установить численные значения временного и амплитудного инвариантных критериев, временного и амплитудного информационных параметров для железобетонных балок. Численные значения, временного инварианта имеют значения, близкие к единице, амплитудный инвариант имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр равны 0 на начальной стадии нагружения образцов.

2. Образование трещин приводит к тому, что временной инвариант принимает численные значения, не равные единице, и условие  $I_{It} = \frac{S_{\Delta t}}{\Delta t} \neq 1$  характеризует стадию образования видимых трещин в бетонной конструкции.



**Рис. 5.** Зависимости между суммарным размером трещины в балках и амплитудным инвариантным критерием (а), информационным амплитудным параметром (б)

**Fig. 5.** The relationship between the total size of the crack in the beams and the amplitude invariant criterion (a), the information amplitude parameter (б)

3. Численные значения амплитудного инварианта, не равные 0,1, и условие  $I_{IA} = \frac{S_A}{A} \neq 0,1$  характеризуют стадию образования трещины в железобетонной конструкции.

4. При образовании трещин, сколов бетона значения инвариантов изменяются. Это связано с высокой чувствительностью метода АЭ к развитию повреждений.

5. Исследования показали возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативными являются временной и амплитудный инвариантные критерии.

## Список литературы

1. Буйло С.И. Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики: монография / С.И. Буйло; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета; 2017. 184 с. ISBN 978-5-9275-2369-6

2. Буйло С.И. Об информативности метода инвариантов сигналов акустической эмиссии в задачах диагностики предразрушающего состояния материалов // *Дефектоскопия*. 2018. № 4. С. 18–23. EDN: YWENVN

3. Буйло С.И. Физико-механические, химические и статистические аспекты акустической эмиссии // *Известия Алтайского государственного университета*. 2019. № 1 (105). С. 11–21. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2019\)1-01](https://doi.org/10.14258/izvasu(2019)1-01). EDN: YZEBDV

4. Кондранин Е.А. Определение прочностных характеристик конструкций на основе инвариантов амплитуд акустической эмиссии // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 2 (91). С. 14–19. EDN: KNPFAB

5. Пат. RU2417369C2. Способ определения предельного состояния строительных конструкций. Сагайдак А.И., заявл. 29.06.2009; опубл. 27.04.2011.

6. Сагайдак А.И. Состояние и перспективы использования метода акустической эмиссии в современном строительстве. Бетон и железобетон – взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах. 2014. Т. 2. С. 427–438. EDN: UBXDMZ

7. Иванов В.И. Акустико-эмиссионная диагностика [Текст]: [справочник] / В.И. Иванов, В.А. Барат. – Москва: Спектр; 2017. 368 с.: ил., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-4442-0126-8

8. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing, 2011, pp. 464–469.

9. Сагайдак А.И. Использование метода акустической эмиссии для контроля прочности бетона // *Бетон и железобетон*. 2000. № 4. С. 24–25. EDN: ZVIXVB

10. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China, 2019, pp. 41–53.

11. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.

12. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 2010, no. 28, pp. 229–233.

13. Spanner J.C. Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987, no. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).

14. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis, France, 2018, p. 8.

15. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *31 Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*. Pp. 1–9.

#### References

1. Builo S.I. Physico-mechanical, statistical and chemical aspects of acoustic emission diagnostics. *Rostov-on-Don, Taganrog: SFU Publishing House*; 2017. 184 p. ISBN 978-5-9275-2369-6 (In Russian).

2. Builo S.I. On the information value of the method of invariants of acoustic-emission signals in the diagnostics of pre-failure state in materials. *Russian Journal of Non-destructive Testing*. 2018, no. 4 (54), pp. 237–242. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830918040034>. EDN: YBYEKD

3. Builo S.I. Physico-mechanical, chemical and statistical aspects of acoustic emission. *Izvestiya of Altai State University*. 2019, no. 1 (105), pp. 11–21. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2019\)1-01](https://doi.org/10.14258/izvasu(2019)1-01). EDN: YZEBDV

4. Kondranin Ye.A. Definition of the strengthen characteristics of the constructions in terms of the amplitude invariants of the acoustic emission. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2009, no. 2 (91), pp. 14–19. (In Russian). EDN: KNPFB

5. Pat. RU2417369C2. Method for determining the limit state of building structures. Sagaidak A.I., declared on 29.06.2009; published on 27.04.2011. (In Russian).

6. Sagaidak A.I. The state and prospects of using the acoustic emission method in modern construction. Concrete and reinforced concrete – a look into the future. Scientific papers of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete: 2017. 184 p. In seven volumes. 2014, vol. 3, pp. 427–438. (In Russian). EDN: UBXDMZ

7. Ivanov V.I., Barat V.A. Acoustic emission diagnostics. Moscow: Spektr; 2017. 368 p. ISBN 978-5-4442-0126-8. (In Russian).

8. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing, 2011, Moscow: Spektr; 2017. 368 p. pp. 464–469.

9. Sagaidak A.I. Using the acoustic emission method to control the strength of concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2000, no. 4, pp. 24–25. (In Russian). EDN: ZVIXVB

10. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China, 2019, pp. 41–53.

11. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.

12. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 2010, no. 28, pp. 229–233.

13. Spanner J.C. Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987, no. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).

14. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis, France, 2018, p. 8.

15. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *31 Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*. Pp. 1–9.

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Александр Иванович Сагайдак**✉, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник центра № 20 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru

**Alexandr I. Sagaidak**✉, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher of the Center No. 20, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru

**Евгения Сергеевна Боровкова**, физик, старший преподаватель Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк e-mail: e.borovkova@psu.by

**Evgeniya S. Borovkova**, Physicist, Senior Lecturer at the Euphrosyne Polotsk State University, Novopolotsk e-mail: e.borovkova@psu.by

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author