

УДК 620.179
DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-31-37

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗМЕРЯЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

А. Л. Бобров, кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

А. А. Попков, аспирант, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

Использование акустико-эмиссионного (АЭ) неразрушающего контроля металлических машиностроительных конструкций в перспективе позволит связывать потоковые параметры, получаемые этим методом, с характеристиками состояния объекта. Однако численные значения потоковых параметров АЭ сильно зависят от чувствительности аппаратуры, неравномерность которой для разных условий и объектов может существенно колебаться.

В данной работе приведены результаты, позволяющие использовать полученные в ходе исследований амплитудные распределения зарегистрированных сигналов АЭ для восстановления суммарного числа сигналов АЭ и суммарной энергии на заданном уровне чувствительности для корректной оценки состояния металлической конструкции.

Регистрация акустико-эмиссионной информации осуществлялась от источников в виде вдавливания индентора и усталостной трещины при статических испытаниях. В результате обработки результатов установлено, что АЭ-сигналы имеют степенную связь частоты распределения с амплитудой для обоих типов источников с высоким коэффициентом корреляции. Колебания параметров степенной зависимости существенно меняются на разных стадиях развития источников. Используя полученную экспериментально связь частоты появления актов АЭ с амплитудой, можно восстановить суммарное число сигналов АЭ и суммарную энергию на заданном уровне чувствительности, отличающейся от реальной пороговой. Такой метод позволяет стабилизировать потоковые параметры АЭ при их использовании для оценки состояния и прогнозирования ресурса металлических конструкций.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, амплитудное распределение, источник, металлические конструкции, порог чувствительности, суммарный счет сигналов, частота распределения.

Введение

Важной особенностью акустико-эмиссионного (АЭ) метода неразрушающего контроля является возможность обнаружения дефектов, развивающихся в процессе приемочных испытаний и эксплуатации широко распространенных металлических конструкций различных объектов машиностроения, например, трещин износов, коррозии и др. Кроме того, предполагая изотропность структуры и свойства материала контролируемых объектов, можно использовать результаты АЭ-контроля для прогнозирования скорости развития обнаруженных и излучающих акустические волны дефектов. Этот подход получил широкое распространение при реализации АЭ-исследований различных материалов [1, 2] и технических объектов [3–5].

При использовании эмпирических связей параметров АЭ и параметров, описывающих состояние материала объекта контроля, следует учитывать два важных обстоятельства, без ко-

торых диагностическую задачу прогнозирования времени эксплуатации, ресурса или запаса напряжения решить невозможно. Как видно из исследований В. И. Иванова и С. П. Быкова [6, 7], на связь параметров АЭ развивающейся трещины в основном влияет изменение масштаба процессов выделения упругой энергии, происходящее за счет увеличения упругопластической зоны, а также синхронность процессов пластической деформации и роста трещины. Дополнительно на потоковые параметры АЭ оказывают влияние условия нагружения [8]. Вторым обстоятельством является то, что при испытаниях с проведением АЭ-контроля часто отсутствует информация об истории нагруженного состояния объекта.

В связи с этим целью представленного исследования является определение факторов стабилизации потоковых АЭ-параметров, позволяющих с более высокой точностью оценивать состояние металлической конструкции. Это позволит корректно восстанавливать потоковые

характеристики источников независимо от колебаний чувствительности приемных каналов.

Кроме того, настоящая работа посвящена анализу колебаний потоковых параметров АЭ, таких как суммарное число зарегистрированных актов АЭ N_{Σ} , и их суммарной энергии E_{Σ} в зависимости от чувствительности каналов при диагностировании и оценке состояния металлических изделий и конструкций.

Непосредственно полученные экспериментальные результаты можно использовать при контроле таких конструктивно сложных изделий, как литые детали тележек грузовых вагонов, по методикам, описанным в [20].

Постановка задачи

При использовании формул связи параметров АЭ с параметрами напряженно-деформированного состояния материала появляется дополнительный неизвестный параметр, например, при использовании формулы Данегана [9]:

$$N = bK^n, \quad (1)$$

где N – суммарный счет АЭ; K – коэффициент интенсивности напряжений (КИН) в вершине трещины; b и n – константы, зависящие от свойств материала и параметров объекта и полученные эмпирическим путем.

При проведении периодического контроля технических устройств возникает проблема решения задачи определения текущего значения КИН, так как трещина имеет историю развития до проведения контроля, и, соответственно, часть АЭ было излучено до проведения испытаний.

Поэтому при проведении контроля после некоторого срока эксплуатации объекта целесообразно представить связь полученного суммарного счета АЭ или суммарного числа сигналов АЭ ΔN в виде преобразованной формулы (1) в виде

$$\Delta N = b(K_1^n - K_2^n), \quad (2)$$

где K_1 и K_2 – КИН в начале и конце испытаний с регистрацией АЭ.

Тогда искомое действительное значение КИН должно определяться из формулы (2). В этом случае важно иметь представление о значении K_1 . При отсутствии значения K_1 получить решение можно только за счет введения дополнительного уравнения для связи другого параметра АЭ, например, суммарной энергии или мощности сигналов, с характеристиками дефекта. Решая такую систему, можно с определенной погрешностью установить и K_1 , и K_2 . Однако есть другой путь – получить эмпириче-

ские формулы, аналогичные формуле (1), для статических испытаний на образцах с выращенными трещинами с различными КИН. Такой подход был реализован для объектов литейного производства [10–12]. Важным вопросом при реализации описанных способов является полнота АЭ-информации, полученной при испытаниях.

Рассмотрим модель сигнала, регистрируемого приемником с учетом того, что система регистрирует сигнал, максимальная амплитуда которого превышает некий заданный порог. Тогда максимальную амплитуду каждого сигнала, принятого одним приемником U_n , можно выразить обобщенной формулой, которая выводится из теории распространения акустических волн [13]:

$$U_n = U_0 \frac{F(\theta)e^{-\delta r}}{r^k} D_{o.n} f(\omega), \quad (3)$$

где U_0 – амплитуда исходного возмущения источника; $F(\theta)$ – функция влияния диаграммы направленности источника с учетом регистрируемой составляющей колебания приемника; r – расстояние, пройденное волной по объекту от источника до приемника; δ – коэффициент затухания; k – показатель расхождения энергии излучения, зависящий от формы объекта (для идеально плоского объекта равен 1, для объемного – $\sqrt{2}$); $D_{o.n}$ – коэффициент ослабления волны при прохождении на границе объекта с приемным преобразователем; $f(\omega)$ – функция потерь колебательной энергии с учетом амплитудно-частотной характеристики приемника. Неопределенность каждого из перечисленных в формуле (3) параметров несет погрешность определения амплитуды сигнала.

Число зарегистрированных актов АЭ зависит в первую очередь от того, превышает или нет U_n каждого из них пороговое значение регистрирующей аппаратуры. Так, например, отсутствие качественного акустического контакта приемника с объектом диагностирования приводит к снижению $D_{o.n}$ каждого сигнала. Это значит, что часть из этих сигналов будет утеряна и не будет принята в расчет специалистом при вынесении решения о состоянии объекта. В направлении восстановления числа сигналов АЭ разработаны основные теоретические принципы в работах [14, 15], однако количественные параметры распределения сигналов АЭ по амплитудам и влияние смещений массива сигналов на шкале амплитуд при систематических и случай-

ных погрешностях, возникающих при проведении контроля, не исследованы.

Эксперимент. Анализ результатов

В ходе настоящей работы были использованы экспериментальные данные, полученные со статическим нагружением образцов при вдавливании шарообразного индентора $\varnothing 5$ мм (пластическая деформация в локальной области) и образцов с концентратором, на котором выращена усталостная трещина. Образцы были изготовлены из стали 20ГТЛ.

В первом случае индентор вдавливали в центре зоны из четырех приемных преобразователей, установленных в виде квадрата со стороной 300 мм на плоский образец толщиной 15 мм. В результате экспериментов по нагружению каждого образца был получен поток сигналов. В результате каждого индентирования было зарегистрировано число актов АЭ в диапазоне 1200...5000.

Во втором случае испытания проводили при статических испытаниях шести образцов (рис. 1). Перед статическими растяжениями каждого образца предварительно при циклических нагрузках была выращена усталостная трещина на концентраторе. Локацию источников проводили аналитическим методом [16, 17] с использованием прямоугольной пьезоантенны из четырех приемников, что позволило исключить сигналы от источников, не связанных с развитием исследуемого дефекта.

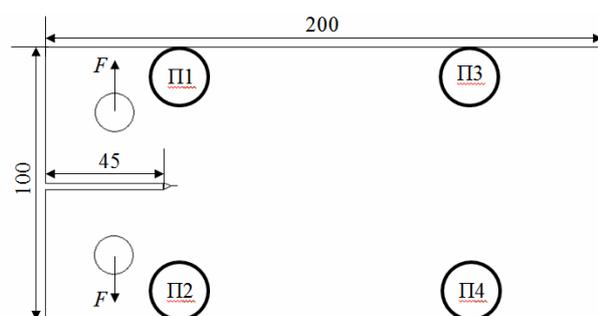


Рис. 1. Образец для статических испытаний с усталостной трещиной (F – точки приложения нагрузки; П1...П4 – приемные преобразователи)

Анализировали распределение сигналов по амплитудам на разных стадиях развития трещины, характеризуемых изменяющимся коэффициентом интенсивности напряжений (КИН), рассчитанным для нормального отрыва для схемы нагружения, соответствующей рис. 1 по [18]. С увеличением длины трещины и КИН число зарегистрированных актов возрастало. Порог срабатывания для регистрируемых электриче-

ских сигналов системой СЦАД 16,03 составил 25 мкВ, однако при обработке использовались сигналы, превышающие порог 100 мкВ, что позволило снизить вероятность ложных сигналов в массиве обрабатываемых сигналов.

Зарегистрированные акты АЭ имели амплитудное распределение, представленное на рис. 2. Результаты распределения сигналов по амплитудам приведены для опыта с внедрением шарообразного индентора диаметром 5 мм (рис. 2, а) и для усталостных трещин в образцах, выращенных при малоцикловых испытаниях в процессе статического нагружения с нагрузкой, превышающей нагрузку циклов в 1,2 раза (рис. 2, б-г), на разных стадиях развития трещины, характеризуемых различными коэффициентами интенсивности напряжений (КИН).

После статистической обработки сигналов была построена зависимость плотности частоты появления сигналов с заданной амплитудой. Снижение количества зарегистрированных сигналов с малыми амплитудами вызвано ограничением порога срабатывания каналов, неравномерностью чувствительности к источникам, находящимся на различном расстоянии до приемных преобразователей, и неточностью их локации из-за больших погрешностей в определении времени прихода сигналов на фоне шумов, что, в свою очередь, связано с существенным затуханием переднего фронта волнового пакета.

Массив зарегистрированных сигналов с различной амплитудой поможет определить частоту регистрации сигналов с заданной амплитудой, а число сигналов представить в виде условной частоты их распределения по амплитудам, при этом усредненное. Вводимая условная частота обратно пропорциональна диапазону амплитуд, как и плотность вероятности в классическом представлении, но не приведена к общей величине выборки, так как эта выборка до восстановления общего числа сигналов от источника неполна:

$$p(U) = \frac{N_{ij}}{U_j - U_i},$$

где N_{ij} – число сигналов от источника, имеющих амплитуду в интервале $U_i < U < U_j$.

Полученные результаты можно представить в виде распределения условной частоты появления сигналов по амплитудам в логарифмических координатах (рис. 3). При дальнейшей обработке данных из анализа исключили сигналы с малой амплитудой, для которых характерна высокая погрешность определения координат.

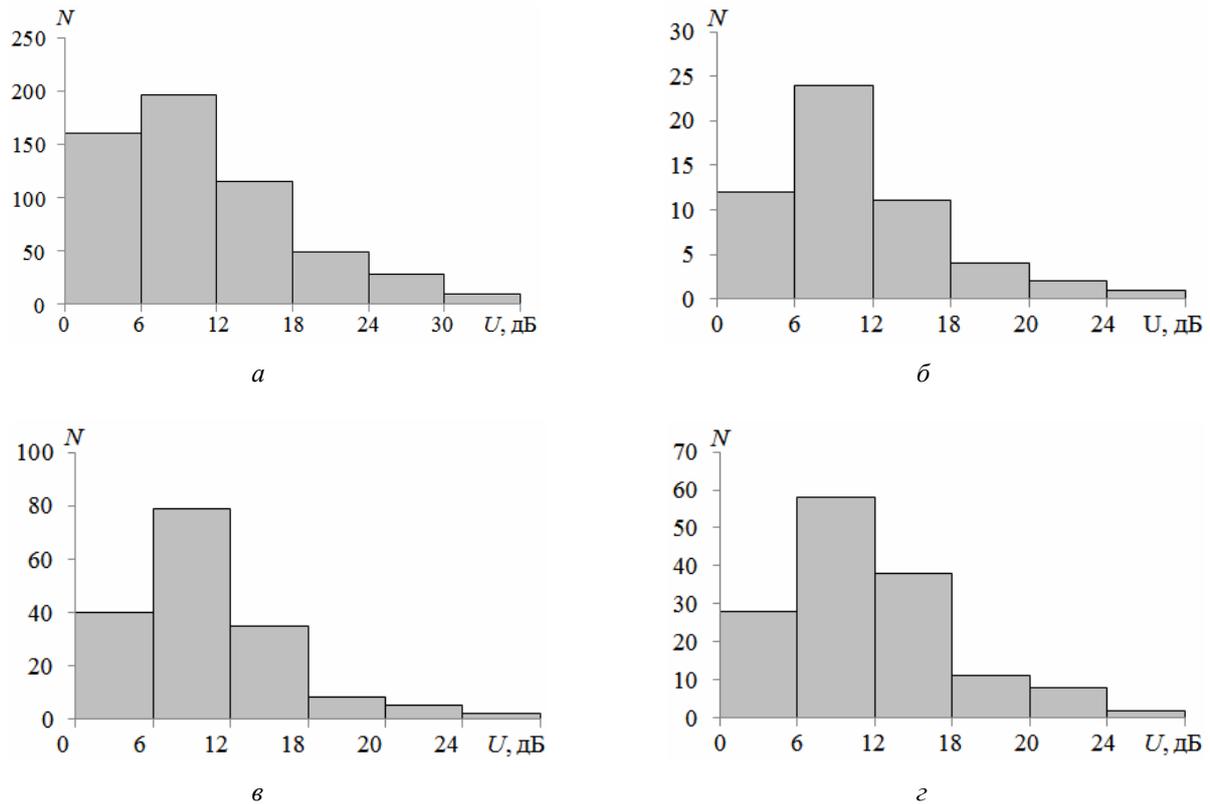


Рис. 2. Распределение принятых сигналов по величине амплитуды в образцах из стали 20ГФЛ при внедрении индентора (а) и от усталостной трещины при КИН = 23 МПа·м^{0,5} (б), при КИН = 131 МПа·м^{0,5} (в), КИН = 263 МПа·м^{0,5} (г)

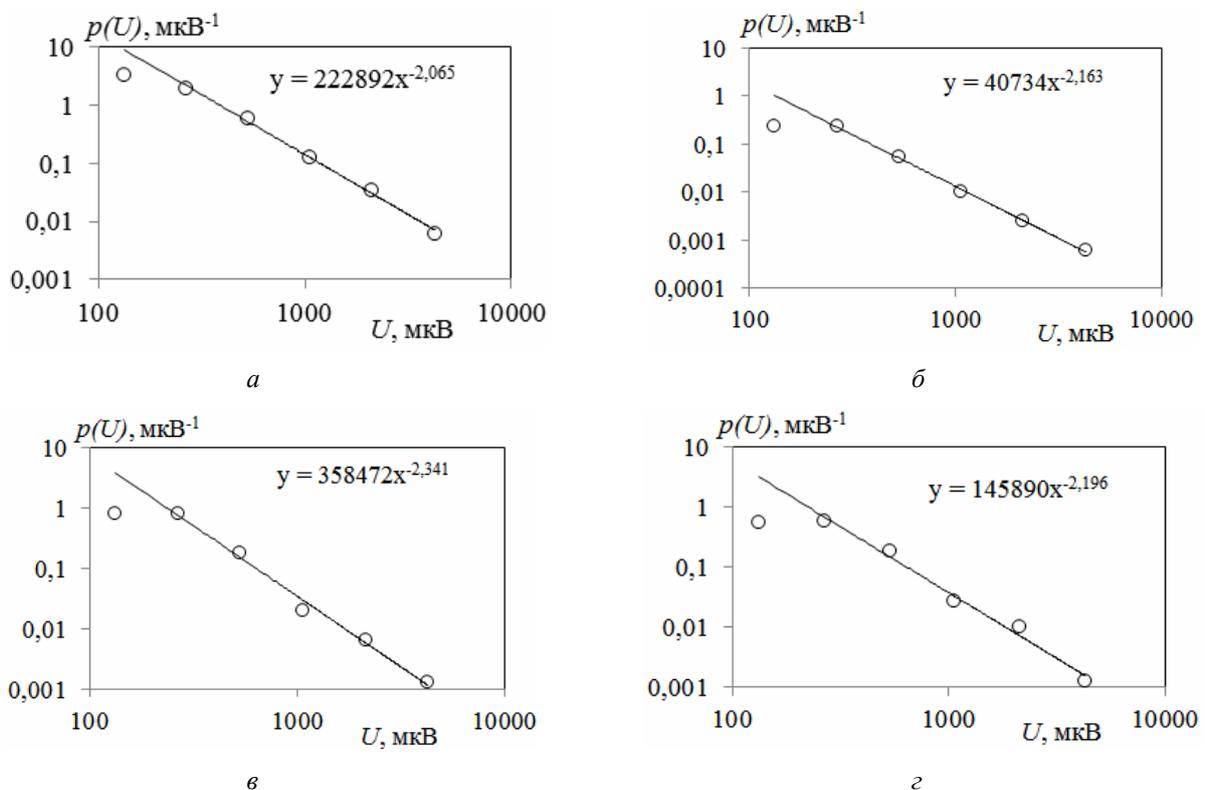


Рис. 3. Изменения условной частоты зарегистрированных сигналов АЭ в зависимости от амплитуды в образцах из стали 20ГФЛ при внедрении индентора (а) и от усталостной трещины при КИН = 23 МПа·м^{0,5} (б), при КИН = 131 МПа·м^{0,5} (в), КИН = 263 МПа·м^{0,5} (г)

Исследуемые амплитудные распределения (без учета низкоамплитудных сигналов) с наибольшим коэффициентом корреляции описываются степенной зависимостью в соответствии с формулой

$$p(U) = AU^m, \quad (4)$$

где A и m – параметры зависимости, при этом коэффициент корреляции во всех случаях был выше 0,98.

Полученные результаты показывают, что распределение сигналов по амплитудам носит однозначно степенной характер, и это соответствует модели, предложенной в работах [14, 15]. При этом существенные отклонения от линии тренда наблюдаются только при минимальных и максимальных значениях амплитуд. Первый случай связан с тем, что акты с малой амплитудой имеют большую погрешность определения координат и в связи с этим не отнесены к данному источнику. Максимальные сигналы отклоняются от линии тренда меньше, и это связывается с тем, что величина акта и его амплитуда во многом зависят от размеров и структуры области разрушения в вершине трещины.

Следует отметить, что параметры степенной зависимости не имеют выраженной тенденции от КИН (что видно из данных, представленных на рис. 3, а–г). Параметр A колеблется в пределах двух порядков, в то время как показатель степени m меняется весьма слабо. Это может быть связано с неоднородной структурой литой стали, имеющей на пути развития трещины различные допустимые несплошности малых размеров и дефектные структуры, что было отмечено при исследованиях на подобных образцах [19].

Полученные результаты позволяют при наличии хотя бы части акустико-эмиссионной информации по выборке сигналов в виде амплитудного распределения сформулировать операции по оценке суммарного счета, средней амплитуды, средней энергии сигналов состояния объекта в достаточно большом диапазоне чувствительности с оценкой этой чувствительности любым стандартным способом. После оценки параметра $p(U)$ для каждого диапазона амплитуд можно построить в логарифмических координатах его амплитудное распределение (рис. 4) для данного источника.

Реализация такого подхода требует определения чувствительности каналов к актам АЭ от этих источников после проведения регистрации и определения координат источников. Для этого электронный имитатор устанавливают в месте

нахождения каждого источника и регистрируют сигналы, генерируемые им. Полученные сигналы от имитатора будут иметь амплитуду, соответствующую определенному уровню U_i амплитуды сигналов, принятых от источника (рис. 4).

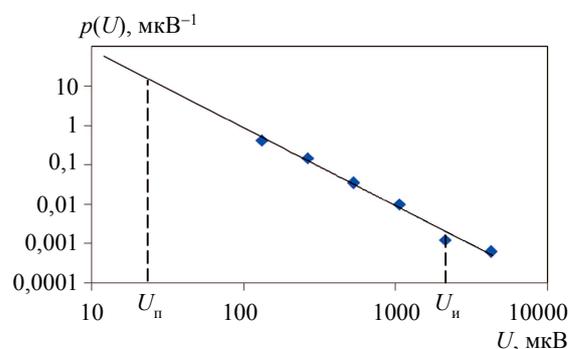


Рис. 4. Экспериментальное сопоставление уровня чувствительности к сигналам от имитатора U_p и порогового уровня U_p на графике степенной зависимости развивающейся трещины в контролируемом объекте

Тогда, имея заданные пороговые требования по чувствительности U_p , можно определить число актов АЭ от источника, по полученному амплитудному распределению – среднюю амплитуду и расчетным путем – среднюю или суммарную энергию сигналов.

Выводы

Проведенные исследования позволили разработать методику восстановления параметров АЭ при заданном пороговом уровне чувствительности (нормативной документацией или требованиями заказчика). Предлагаемая методика основана на том, что распределение частоты появления сигналов в определенном интервале амплитуд для каждого источника существенно зависит от типа источника и параметров нагружения объекта. Однако для развивающихся дефектов (усталостных трещин и областей пластической деформации) частота появления сигналов носит степенной характер, и ее можно восстановить даже по ограниченному числу сигналов в большом диапазоне частот. Это, в свою очередь, повышает точность определения потоковых параметров, таких как суммарный счет актов АЭ, средняя амплитуда сигналов, средняя и суммарная энергия сигналов АЭ.

Такой подход фактически калибрует потоковые параметры на заданном уровне чувствительности, при этом можно определять и суммарный счет, и суммарную энергию АЭ источника, в том числе на двух и более уровнях

чувствительности для данного материала и условий испытаний. Восстановленные потоковые параметры более корректно отражают их связь с параметрами состояния металлических конструкций и изделий, используемых в диагностических моделях.

Библиографические ссылки

1. Прогнозирование предельного состояния сплава ОТ-4 с использованием метода акустической эмиссии. Семашко Н. А., Муравьев В. И., Башков О. В., Фролов А. В. // Контроль. Диагностика. 2001. № 6. С. 30.

2. Takeda R., Kaneko Y., Vinogradov A., Merson D. L. Cluster analysis of acoustic emissions measured during deformation of duplex stainless steels. *Materials Transactions*, 2013, vol. 54, no. 4, pp. 532-539.

3. Носов В. В., Бураков И. Н. Микромеханическая модель акустической эмиссии гетерогенных материалов // Дефектоскопия. 2004. № 2. С. 54–61.

4. Komarov K. L., Sereznov A. N., Muravev V. V., Stepanova L. N., Chaplygin V. N. [Acoustic-emission testing of side frames and sprung beams in wagons]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1997, vol. 33, no. 1, pp. 32-35.

5. Bobrov A. L. [Using the AE method to increase the lifetime of complex-shaped steel parts]. *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*, 2016, iss. 2, pp. 21-33.

6. Быков С. П., Иванов В. И. Акустическая эмиссия при росте трещин в вязкоупругом материале // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74, № 9. С. 47–52.

7. Быков С. П., Юрайдо Б. Ф., Иванов В. И. О достоверности акустико-эмиссионного контроля // Контроль. Диагностика. 2013. № 12. С. 53–60.

8. Муравьев В. В., Муравьев М. В., Бехер С. А. Влияние условий нагружения на информативные параметры и спектр сигналов акустической эмиссии в образцах углеродистых сталей // Дефектоскопия. 2002. № 7. С. 10–20.

9. Dunegan H. L., Harris D. O., Tatro C. A. [Fracture analysis by use of acoustic emission]. *Engineering fracture mechanics*, 1968, vol. 1, no. 1, pp. 105-122.

10. Муравьев В. В., Степанов Л. Н., Кареев А. Е. Оценка степени опасности усталостных трещин при акустико-эмиссионном контроле литых деталей тележки грузового вагона. Дефектоскопия. 2003. № 1. С. 63–68.

11. Исследования основных параметров сигналов акустической эмиссии при статических и циклических испытаниях образцов из стали 20ГЛ / Л. Н. Степанова, А. Л. Бобров, К. В. Канифадин, В. В. Чернова // Деформация и разрушение материалов. 2014. № 6. С. 41–47.

12. Муравьев В. В., Муравьева О. В. Оценка роста усталостных трещин в боковых рамах тележек грузовых вагонов акустико-эмиссионным методом // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 9. С. 24–29.

13. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В. Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики. М. : Изд-во физ.-мат. лит.-ры, 2004, 136 с.

14. Builo S. I., Kuznetsov D. M., Gaponov V. L. Chapter 13: Acoustic Emission Diagnostics of the Kinetics of Physicochemical Processes in Liquid and Solid Media. In: *Advanced Materials. Studies and Applications*. New York, Nova Science Publ., 2015, 527 p.

15. Буйло С. И. Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики. Ростов на/Д : Изд-во ЮФУ, 2017. 184 с.

16. Локализация сигналов акустической эмиссии в металлических конструкциях / А. Н. Серьезнов, В. В. Муравьев, Л. Н. Степанова, С. Б. Барабанова, В. Л. Кожемякин, С. И. Кабанов // Дефектоскопия. 1997. № 10. С. 79–84.

17. Быстродействующая диагностическая акустико-эмиссионная система. // А. Н. Серьезнов, В. В. Муравьев, Л. Н. Степанова, С. И. Кабанов, В. Л. Кожемякин, А. Е. Ельцов, Е. Ю. Лебедев // Дефектоскопия. 1998. № 7. С. 8–14.

18. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Ч. 1. Критерии прочности и ресурса. Новосибирск : Наука, 2005. 494 с.

19. Исследования основных параметров сигналов акустической эмиссии при статических и циклических испытаниях образцов из стали 20ГЛ / Л. Н. Степанова, А. Л. Бобров, К. В. Канифадин, В. В. Чернова // Деформация и разрушение материалов. 2014. № 6. С. 41–47.

20. Муравьев В. В. Автоматизированные диагностические стенды для продления срока службы литых деталей вагонов // Вестник ИжГТУ. 2013. № 4. С. 98–102.

References

1. Semashko N. A., Murav'ev V. I., Bashkov O. V., Frolov A. V. [Forecasting the limiting state of the OT-4 alloy using the acoustic emission method]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2001, no. 6, p. 30 (in Russ.).

2. Takeda R., Kaneko Y., Vinogradov A., Merson D. L. Cluster analysis of acoustic emissions measured during deformation of duplex stainless steels. *Materials Transactions*, 2013, vol. 54, no. 4, pp. 532-539.

3. Nosov V. V., Burakov I. N. [Micromechanical model of acoustic emission of heterogeneous materials]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2004, no. 2, pp. 54-61 (in Russ.).

4. Komarov K. L., Sereznov A. N., Muravev V. V., Stepanova L. N., Chaplygin V. N. [Acoustic-emission testing of side frames and sprung beams in wagons]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1997, vol. 33, no. 1, pp. 32-35.

5. Bobrov A. L. [Using the AE method to increase the lifetime of complex-shaped steel parts]. *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*, 2016, iss. 2, pp. 21-33.

6. Bykov S. P., Ivanov V. I. [Acoustic emission with crack growth in viscoelastic material]. *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov*, 2008, vol. 74, no. 9, pp. 47-52 (in Russ.).
7. Bykov S. P., Jurajdo B. F., Ivanov V. I. [On the reliability of acoustic emission control]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2013, no. 12, pp. 53-60 (in Russ.).
8. Murav'ev V. V., Murav'ev M. V., Beher S. A. [Influence of Loading Conditions on Informative Parameters and Spectrum of Acoustic Emission Signals in Carbon Steel Samples]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2002, no. 7, pp. 10-20 (in Russ.).
9. Dunegan H. L., Harris D. O., Tatro C. A. [Fracture analysis by use of acoustic emission]. *Engineering fracture mechanics*, 1968, vol. 1, no. 1, pp. 105-122.
10. Muravev V. V., Stepanova L. N., Kareev A. E. [Evaluation of the danger degree of fatigue cracks in the acoustic emission testing of cast pieces of a freight-car truck]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2003, vol. 39, no. 1, pp. 54-59.
11. Stepanova L. N., Bobrov A. L., Kanifadin K. V., Chernova V. V. [Studies of the main parameters of acoustic emission signals during static and cyclic testing of samples from steel 20GL]. *Deformacija i razrushenie materialov*, 2014, no. 6, pp. 41-47 (in Russ.).
12. Murav'ev V. V., Murav'eva O. V. [Estimation of the growth of fatigue cracks in the side frames of freight wagon carriages by acoustic emission method]. *Deformacija i razrushenie materialov*, 2016, no. 9, pp. 24-29 (in Russ.).
13. Budenkov G. A., Nedzveckaja O. V. *Dinamicheskie zadachi teorii uprugosti v prilozhenii k problemam akusticheskogo kontrolja i diagnostiki* [Dynamic problems of the theory of elasticity in application to the problems of acoustic control and diagnostics]. Moscow, Fiz.-mat. lit-ra Publ., 2004, 136 p. (in Russ.).
14. Builo S. I., Kuznetsov D. M., Gaponov V. L. Chapter 13: Acoustic Emission Diagnostics of the Kinetics of Physicochemical Processes in Liquid and Solid Media. In: *Advanced Materials. Studies and Applications*. New York, Nova Science Publ., 2015, 527 p.
15. Bujlo S. I. *Fiziko-mehaničeskie, statističeskie i himičeskie aspekty akustiko-jemissionnoj diagnostiki* [Physical-mechanical, statistical and chemical aspects of acoustic-emission diagnostics]. Rostov-na-Donu, JuFU Publ., 2017. 184 p. (in Russ.).
16. Sereznov A. N., Muravev V. V., Stepanova L. N., Barabanova S. B., Kozhemyakin V. L., Kabanov S. I. [Localizing acoustic-emission signals in metal structures]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1997, vol. 33, no. 10, pp. 726-730 (in Russ.).
17. Sereznov A. N., Muravev V. V., Stepanova L. N., Kabanov S. I., Kozhemyakin V. L., Eltsov A. E., Lebedev E. Yu. [A high-speed acoustic-emission diagnostic system]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1998, vol. 34, no. 7, pp. 481-485 (in Russ.).
18. Mahutov N. A. *Kriterii prochnosti i resursa* [Strength and Resource Criteria]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 494 p. (in Russ.).
19. Stepanova L. N., Bobrov A. L., Kanifadin K. V., Chernova V. V. [Investigations of the main parameters of acoustic emission signals during static and cyclic testing of 20GL steel samples]. *Deformacija i razrushenie materialov*, 2014, no. 6, pp. 41-47 (in Russ.).
20. Murav'ev V. V. [Automated diagnostic stands for prolongation of service life of cast parts of wagons]. *Vestnik IzhGTU*, 2013, no. 4, pp. 98-102 (in Russ.).

Reconstruction of Measured Characteristics of Sources of Acoustic Emission During Testing of Metal Structures in Mechanical Engineering

A. L. Bobrov, PhD in Engineering, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia
A. A. Popkov, Post-graduate, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

The use of acoustic-emission (AE) non-destructive testing of metal engineering structures in the long term makes it possible to associate the flow parameters obtained by this method with the characteristics of the state of the object. However, the numerical values of the stream parameters of the AE strongly depend on the sensitivity of the equipment, the unevenness of which for different conditions and objects can significantly fluctuate.

In this paper, studies are made that allow using the amplitude distributions of the registered AE signals obtained during the investigation to reconstruct the total number of AE signals and the total energy at a given sensitivity level for a correct assessment of the state of the metal structure.

Acoustic-emission information was registered from sources in the form of indentation and fatigue crack during static tests. As a result of the processing of the results, it is established that the AE signals have a power-law coupling of the frequency of the distribution with the amplitude for both types of sources with a high correlation coefficient. The oscillations of the parameters of the power law depend significantly on different stages of development of the sources. Using the experimentally obtained relationship between the frequency of occurrence of AE events and the amplitude, it is possible to reconstruct the total number of AE signals and the total energy at a given sensitivity level, which is different from the real threshold. Such a method allows to stabilize the flow parameters of AE when using them for estimating the state and predicting the life of metal structures.

Keywords: acoustic emission, amplitude distribution, emitter, metal construction, sensitivity threshold, signals quantity, frequency distribution.

Получено 28.06.2018