



УДК 621.317, 622.831

© К. О. Харитонов, Чье Ен Ун, 2009

ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ФОНЕ ШУМОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

Харитонов К. О. – электроник каф. «Автоматика и системотехника», e-mail: kirik@pisem.net; *Чье Ен Ун* – д-р техн. наук, проф. каф. «Автоматика и системотехника», тел.: (4212) 37-51-91, e-mail: chye@ais.khstu.ru. (ТОГУ)

Для задач акустико-эмиссионного контроля введен способ отбраковки мощных неинформативных сигналов импульсных периодических помех, вызванных работой горнодобывающей техники. На основе предложенных параметров коэффициента формы сигнала и среднеквадратического отклонения разности времени обнаружения двух соседних импульсов сформировано решающее правило. Проведено исследование помехоустойчивости предложенного способа разделения сигналов на классы.

For problems of acousto-emission inspection a means has been proposed to isolate signals of pulsed periodic noises produced by operating mining machines. The decisive rule has been proposed on the basis of the developed parameters of a signal form factor and a root-mean-square deviation of the time difference for two neighboring signals. Noise immunity of the method has been examined.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, повышение помехоустойчивости, решающее правило, алгоритм классификации.

При проведении контроля удароопасности состояния массива горных пород методом акустической эмиссии (АЭ) на действующих горнодобывающих предприятиях одним из наиболее неблагоприятных факторов, снижающих эффективность контроля, является необходимость осуществления мониторинга во время выполнения различных технологических операций, характеризующихся наличием помех большой интенсивности. Оцифрованная запись характерных акустических помех, вызванных работой буровой машины, приведена на рис. 1.

Обнаружение импульсов АЭ на фоне подобных периодических шумов осложняется тем, что как помеховые, так и полезные импульсы имеют близкие спектральные характеристики, энергетический диапазон и схожие формы. Поэтому выделение импульсов естественной АЭ на фоне помех необходимо проводить на основе анализа их информативных параметров.

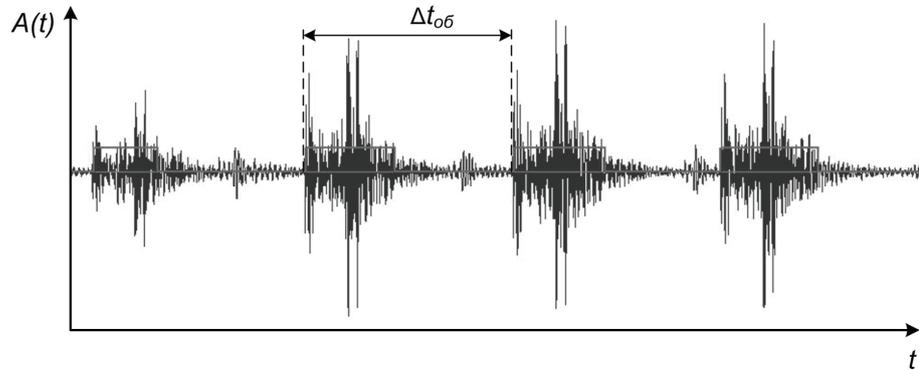


Рис. 1. Оцифрованная запись акустических помех буровой машины

Оценка информативности параметров сигналов АЭ, распространяющихся в массиве горных пород, была проведена на основе данных, полученных на действующем руднике предприятия ОАО ППГХО (месторождение «Антей») [1]. Для регистрации сигналов АЭ использовались приемные преобразователи, входящие в состав разработанной ИГД ДВО РАН совместно с кафедрой «Автоматика и системотехника» ТОГУ и ООО «Полином», системы контроля «Прогноз-ADS» [1–3]. Для анализа сигналов и их параметров в среде программирования С++ Builder 2006 было разработано программное обеспечение, позволяющее отображать зарегистрированные сигналы, изменять масштабы сигналограмм, оценивать параметры сигналов, а также проводить статистический анализ параметров зарегистрированных сигналов.

Всего в процессе исследований было записано в электронном виде и обработано 205 сигналограмм импульсов АЭ естественной природы.

Проведенные исследования позволили выявить особенности анализируемых сигналограмм. С их помощью было проведено обобщение количественных характеристик параметров импульсов естественной АЭ и определены характерные диапазоны для измеряемых параметров.

Данные исследования показали, что диапазоны значений классических для АЭ контроля параметров [4] значительно пересекаются для импульсов АЭ и периодической помехи. Поэтому предлагается для описания импульсов АЭ ввести дополнительные информативные параметры, определяющие форму импульса: крутизну переднего фронта ψ_ϕ и коэффициент формы ψ_E . Кроме того, для отбраковки последовательностей периодических импульсов помехи, характерных для большинства оборудования, используемого при добыче полезных ископаемых, предлагается использовать параметр дисперсии распределения временного интервала между соседними импульсами D [2].

Крутизна переднего фронта в целом характеризует частотные свойства источника эмиссии и определяется из выражения



$$\psi_{\phi} = \frac{|A_{\max}|}{t_{\phi}},$$

где $|A_{\max}|$ – максимальное значение амплитуды положительной огибающей волновой формы импульса.

Коэффициент формы сигнала характеризует степень его непрерывности или дискретности, т. е. степень приближения волновой формы к форме идеализированной помехи или идеальному дискретному сигналу АЭ (в пределе дельта-функция). Коэффициент формы сигнала определяется как соотношение среднего уровня положительной огибающей волновой формы импульса $|A_{cp}|$ и пиковой амплитуды импульса $|A_{\max}|$:

$$\psi_E = \frac{|A_{cp}|}{|A_{\max}|},$$

В работе [5] было предложено производить обнаружение последовательности неинформативных импульсов при помощи анализа распределения временных интервалов между импульсами $\Delta t_{об}$. Для этого целесообразно использовать значение дисперсии распределения.

Выразим $\Delta t_{об}$ в относительных единицах:

$$T_{omi} = \frac{\Delta t_{об i} \cdot n}{\sum_{i=1-n}^n \Delta t_{об i}},$$

Тогда дисперсия распределения исследуемой величины может быть рассчитана по формуле [5]

$$D = \frac{n \cdot \left(\sum_{i=1-n}^n T_{omi}^2 \right) - \left(\sum_{i=1-n}^n T_{omi} \right)^2}{n(n-1)},$$

Очевидно, что для разработки эффективного решающего правила из используемых информативных параметров необходимо выбрать те, значения которые контрастируют друг с другом при минимальном их количестве. Для оценки информативности параметров в таблице приведены оценки выборочного среднего \bar{C} , максимальных C_{\max} и минимальных C_{\min} значений, относительной дисперсии δ^2/C и доверительного интервала $(\mu_{\min} - \mu_{\max})$ по распределению Стьюдента (доверительная вероятность 0,997).

В процессе выбора информативных параметров в первую очередь проводился поиск значений, области измерения которых не пересекаются. Из таблицы видно, что таких значений не наблюдается, следовательно, по одному параметру нельзя четко классифицировать сигналы АЭ и сигналы помехи.

| Параметр | \bar{C} | $C_{min} - C_{max}$ | $\mu_{min} - \mu_{max}$ | $\frac{\delta^2}{C}$ | Класс |
|-----------------------|-----------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------|
| ψ_{ϕ} | 4,32 | 0,18 - 35,24 | 3,22 - 5,42 | 6,31 | АЭ |
| ψ_{ϕ} | 0,78 | 0,38 - 1,06 | 0,75 - 0,81 | 0,02 | Помеха |
| ψ_E | 0,63 | 0,04 - 6,87 | 0,44 - 0,82 | 1,31 | АЭ |
| ψ_E | 0,16 | 0,11 - 0,20 | 0,153 - 0,159 | 0,0012 | Помеха |
| $\delta^2_{\Delta t}$ | 2842,27 | 1,08 - 14333,64 | 1858,89 - 3825,64 | 6821,88 | АЭ |
| $\delta^2_{\Delta t}$ | 0,30 | 0,037 - 1,16 | 0,26 - 0,35 | 0,18 | Помеха |

При рассмотрении возможности построения границ разделения классов с использованием двух параметров было выявлено, что выбор пары параметров $\delta^2_{\Delta t}$ и ψ_E позволяет получить наилучшую группировку элементов класса «Помеха» и максимизировать расстояние между выборками классов.

На рис. 2 представлен вариант разделения классов, для которого каждому из них поставлена в соответствие линейная разделяющая граница. Очевидно, что такое разделение позволяет осуществить назначение областей, соответствующих каждому классу, а также выделить область неизвестного класса Ω . Для данного варианта решающие функции имеют вид:

$$d1 = -16,1\psi_E - \delta^2_{\Delta t} + 4,2 ;$$

$$d2 = -22,97\psi_E - \delta^2_{\Delta t} + 7,85 .$$

Тогда решающее правило может быть записано как:

$$\begin{cases} d1 > 0 \rightarrow \text{Помеха} \\ d2 < 0 \rightarrow \text{АЭ} \\ d1 < 0 \cap d2 > 0 \rightarrow \Omega \end{cases}$$

Для исследования помехоустойчивости разработанного решающего правила производился эксперимент по зашумлению эталонных образов, полученных усреднением во временной области обучающих выборок, принадлежащих классам. При этом было выбрано по два эталонных образа для каждого класса. Один из образов для каждого класса располагался в центре группировки объекта, а второй был приближен к границам раздела классов. При формировании зашумленного образа использовались цифровые записи шумовой составляющей, зарегистрированные на объекте контроля в момент отсутствия импульсных периодических помех, вызванных работой горнодобывающего оборудования. При зашумлении образов использовались коэффициенты масштабирования шумовой составляющей для достижения заданного значения отношения сигнал/шум:



$$S = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_n} \right),$$

где P_s и P_n – средние мощности сигнала и шума соответственно рассчитанные за одинаковый период времени.

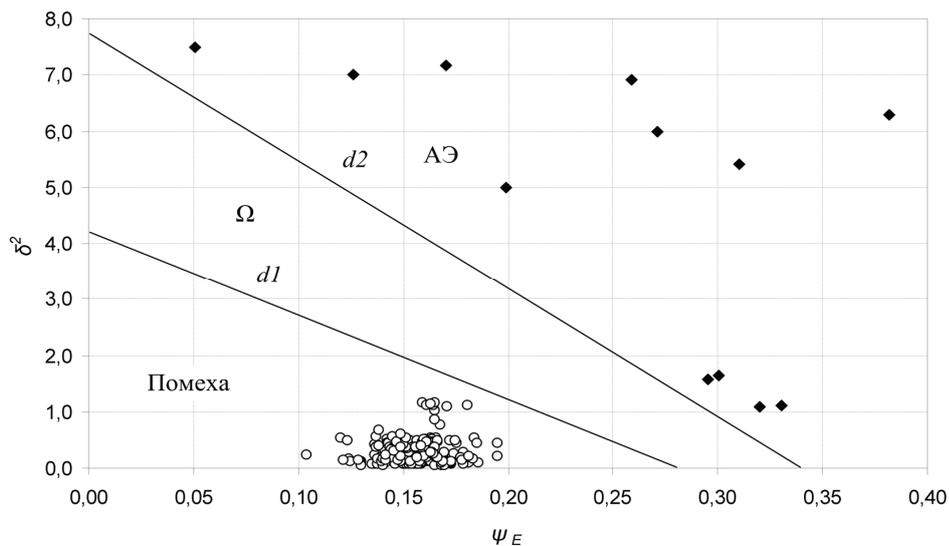


Рис. 2. Границы разделения классов импульсов АЭ, помехи и неизвестного класса

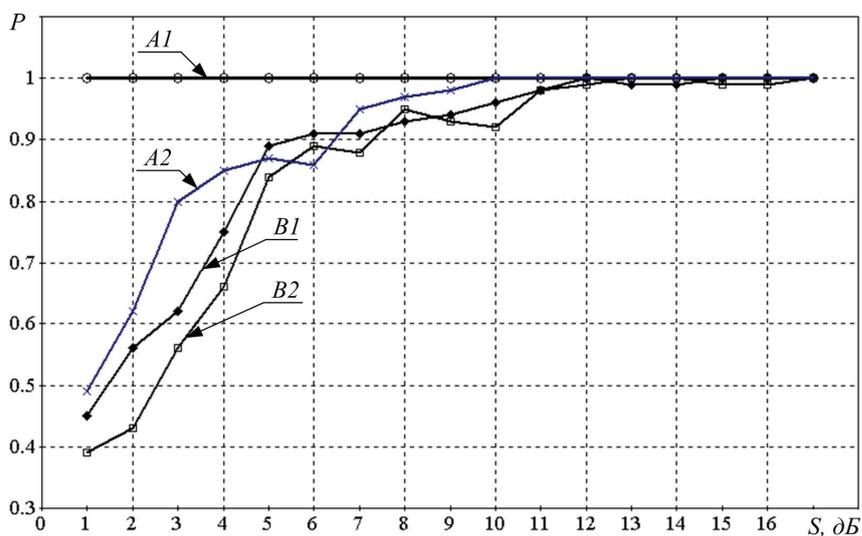


Рис. 3. Результаты исследования помехоустойчивости алгоритма распознавания

Для каждого эталонного образа производилось зашумление M различными реализациями шума ($M = 200$). Для каждого случая неверного распознавания определялась принадлежность к тем или иным классам. Результаты исследования помехоустойчивости алгоритма распознавания приведены на рис. 3. Здесь кривые А1 и А2 построены для образов класса АЭ, а кривые В1 и В2 – для образов класса периодической помехи.

Заметно, что для всех образов на уровне 11–17 дБ вероятность распознавания практически приближается к единице. Кривые, построенные для класса помехи (В1 и В2), позволяют сделать вывод о том, что для данного класса вероятности правильного распознавания при заданном отношении сигнал/шум приблизительно равны. Для класса сигналов АЭ наблюдается противоположная ситуация, вызванная большим разбросом численных значений параметра D . Так, например, для всех значений сигнал/шум вероятность распознавания для образа А1, расположенного в центре группировки объектов класса, оценивается единичным значением. Тогда как для образа А2 вероятность начинает снижаться после значения сигнал/шум в 10 дБ.

Библиографические ссылки

1. *Акустический измерительно-вычислительный комплекс для геомеханического мониторинга массива пород при ведении горных работ* / К. О. Харитонов, Г. А. Калинов, И. Ю. Рассказов, Д. А. Куликов // XVI сессия Российского акустического сообщества. Том 1: сб. научн. тр. М., 2005.
2. Харитонов К. О., Куликов Д. А., Чье Ен Ун. Обнаружение импульсов акустической эмиссии и обеспечение единого времени в системе сейсмоакустического контроля горного давления // Информатика и системы управления. Благовещенск, 2007.
3. *Совершенствование технических и программно-методических средств геоакустического мониторинга удароопасного массива горных пород* / И. Ю. Рассказов, Г. А. Калинов, К. О. Харитонов, Д. А. Куликов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2007.
4. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов // Рос. газ. 2003. № 120/1.
5. Харитонов К. О., Чье Ен Ун, Калинов Г. А. Принципы обнаружения импульсов акустической эмиссии в задачах геомеханического мониторинга массива горных пород // Информационные и управляющие системы : сб. науч. тр. Хабаровск, 2008.