

# Снижение шумов в акустико-эмиссионных сигналах

Галлямов Артур Альтафович /  
Gallyamov Artur Altafovich  
(Уфа, ФГБОУ ВО «УГНТУ»)

**Аннотация:** Представлены возможности повышения надежности акустико-эмиссионного метода контроля на основе вейвлетного преобразования для увеличения отношения сигнал/шум в акустико-эмиссионном сигнале.

**Abstract:** The possibilities of increasing the reliability of the acoustic-emission control method based on wavelet transformations to increase the signal-to-noise ratio of the acoustic-emission signal are presented.

**Ключевые слова:** акустический сигнал, акустическая эмиссия, шум, вейвлетное преобразование, соотношение сигнал/шум.

**Key words:** acoustic signal, acoustic emission, noise, wavelet transform, signal-to-noise ratio.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем акустико-эмиссионного контроля является снижение шумов в акустическом сигнале. Существуют разные пути решения проблемы снижения шумов. Проблема снижения электрических шумов с выхода акустического приемника решается за счет применения совмещенных преобразователей со встроенными предварительными усилителями. Если использование преобразователей не позволяет решить эту проблему, то ее решают уже на программном уровне.

Так как, источники случайных шумов по форме сигнала отличаются от сигналов с дефектами сплошности, их отделяют с помощью соответствующей цифровой обработки. Такую обработку можно проводить в процессе измерения, во время отображения полученной информации, или после окончания испытаний, используя программные приложения после тестовой фильтрации или специального программного пакета, предназначенного для анализа акустико-эмиссионных сигналов. Однако при цифровой фильтрации акустических сигналов теряется часть полезной информации. В то же время результаты вейвлетного преобразования акустических сигналов показали, что в данном случае обеспечивается эффективное снижение уровня случайных шумов и помех при сохранении большинства информативных составляющих акустического сигнала.

## СНИЖЕНИЕ ШУМОВ

Для повышения надежности акустико-эмиссионного контроля промышленного оборудования и металлоконструкций при цифровой обработке сигналов акустических преобразователей применяются современные методы математического анализа (корреляционный, спектральный, многопараметрический кластерный, статистический и т.д.).

Спектральный анализ акустико-эмиссионного сигнала имеет широкий спектр (от 20...100 кГц до 1...5 МГц), который является результатом суперпозицией волн от исследуемых источников акустической эмиссии и фона от многочисленных сопутствующих источников стационарных процессов (сторонние шумы и помехи).

Выбор полосы пропускания цифрового фильтра при спектральном анализе акустических волн играет решающую роль при обнаружении источника акустической эмиссии в металле по измеренному сигналу. Для решения этой задачи на практике неразрушающего контроля

---

используют функцию когерентности, которая для источников акустической эмиссии имеет ярко выраженный максимум, в отличие от источников случайных помех.

Известно, что спектральный анализ акустико-эмиссионного сигнала дает надежные результаты, если обеспечивается высокое значение коэффициентов пропорциональности интегральных параметров (2...10 раз) и коэффициентов подобия образов спектров (60%...95%).

Однако эти требования сложно обеспечить для большинства акустико-эмиссионных сигналов, в которых отношение сигнал/шум является сравнительно невысоким. Применение к ним классических методов цифровой фильтрации с амплитудно-пороговой дискриминацией, или полосовой фильтрации сигнала, приводят к почти полной потере информативных данных об источнике акустической эмиссии в металле.

Корреляционный анализ акустико-эмиссионных сигналов основан на том, что сигналы от отдельного источника акустической эмиссии, зарегистрированные одинаковыми измерительными каналами, имеют высокий коэффициент взаимной корреляции, величина которого зависит от характера процесса, вызвавшего эмиссию. Однако для корреляционного анализа присущи те же недостатки спектрального анализа, при этом расчет коэффициентов корреляции для всех пар акустических сигналов приводит к существенным временным затратам и требует значительных вычислительных ресурсов, тем самым снижая производительность и эффективность контроля.

Кластерный анализ акустико-эмиссионных сигналов основан на том предположении, что сигналы, порожденные одним и тем же источником акустической эмиссии металла, должны иметь схожую форму. Результаты кластерного анализа также чувствительны к погрешностям измерения сигналов акустической эмиссии и при малом отношении сигнал/шум их надежность уменьшается, из-за приближения или пересечения границ отдельных кластеров в признаковом пространстве.

Вейвлетный анализ акустических сигналов, используется для подавления случайных помех и определения структурных составляющих акустико-эмиссионных сигналов, форма которых полностью определяется влиянием случайных факторов.

В отличие от спектрального анализа (преобразования Фурье), в которых в качестве базиса используются неограниченные во времени гармонические функции, в вейвлетном преобразовании базисами являются функции, узко локализованные во временной оси. Эффективность вейвлет-анализа акустико-эмиссионных сигналов существенно повышается, если форма и структурные составляющие измеренного акустического сигнала схожи с материнской вейвлетной функцией.

Для выбора оптимальной вейвлетной функции предлагается использовать

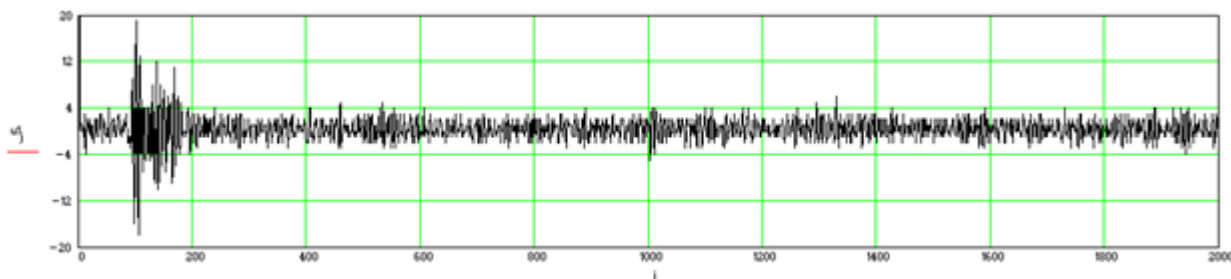
полуэмпирические методы, включающие численные методы анализа акустического сигнала, комбинацию вейвлетного преобразования и отсечки полученных коэффициентов со значениями ниже задаваемого порогового уровня.

Однако сложность большинства предлагаемых методик вейвлет-анализа акустических сигналов делают весьма проблематичным их реализацию в программных приложениях многоканальных систем, функционирующих в режиме реального времени.

Несмотря на это, вейвлет-анализ сигналов акустической эмиссии имеет неоспоримые преимущества, так как обладает такими важными свойствами как: увеличение отношения сигнал/шум; быстрая сходимость коэффициентов преобразования (95%...99% энергии сигнала локализуется в 3-5 коэффициентах пакетной декомпозиции), что дает многократное сокращение объема исходной измеренной информации; уточнение времени прихода акустического импульса и т.д. и его применение для цифрового анализа результатов акустико-эмиссионного контроля промышленного оборудования является весьма перспективным.

На рис.1 показаны сигналы акустической эмиссии от расслоения металла (блистера) и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига, измеренные акустическим преобразователем, установленным непосредственно над выявленной областью с повышенным напряженным состоянием металла. Амплитуда акустико-эмиссионного сигнала на рис.1а составляет около 20 дБ, при этом величина отношения сигнал/шум равна примерно 4 дБ.

а)



б)

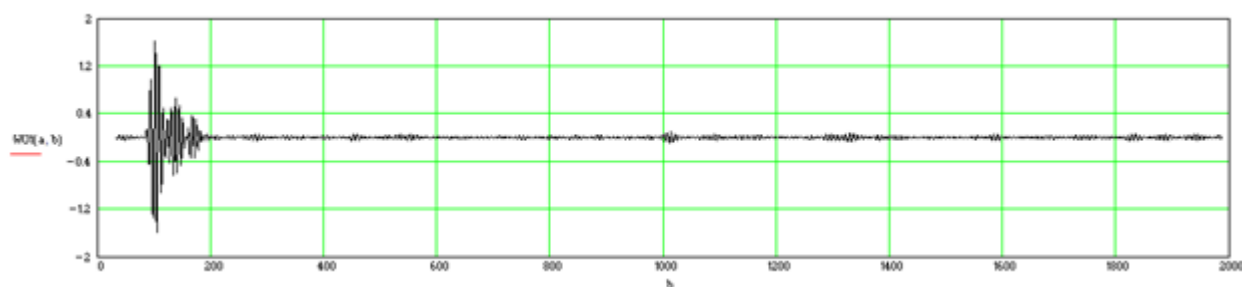
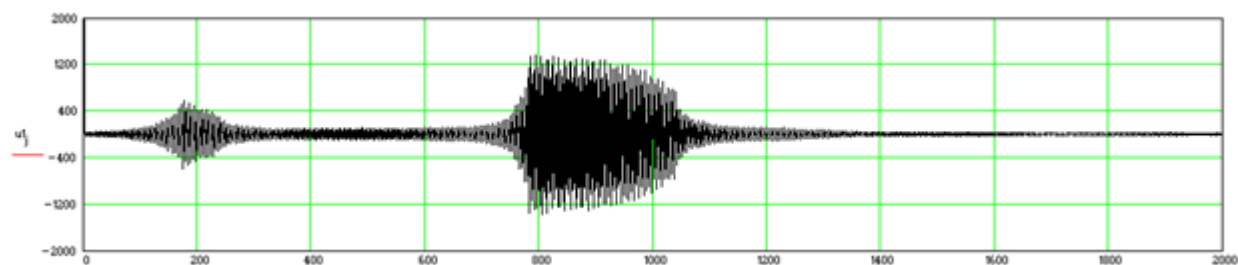


Рис.1. Сигнал акустической эмиссии от расслоения металла (а) и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига (б)

В распределении коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига на рис.1б отношение сигнал/шум возрастает до уровня 9 дБ, что является достаточным при акустическом контроле промышленного оборудования и металлоконструкций.

На рис.2 показаны сигналы акустической эмиссии от коррозионного повреждения металла и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига, измеренные акустическим преобразователем. Амплитуда акустико-эмиссионного сигнала на рис.2а составляет около 14 дБ, при этом величина отношения сигнал/шум равна примерно 7 дБ.

а)



б)

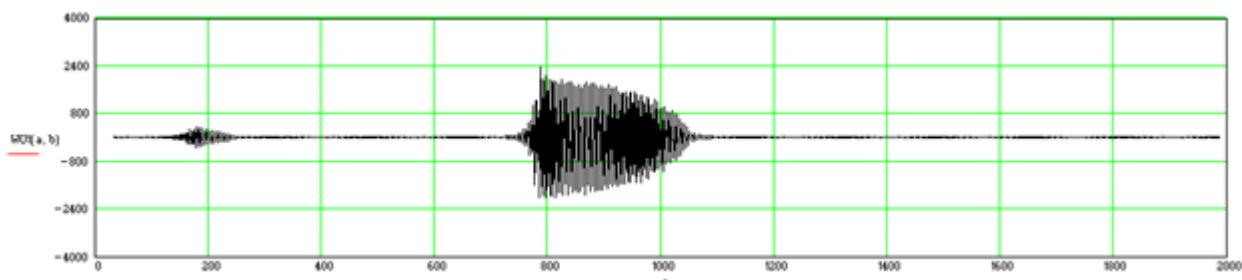


Рис. 2. Сигнал акустической эмиссии от коррозионных повреждений металла (а) и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига (б)

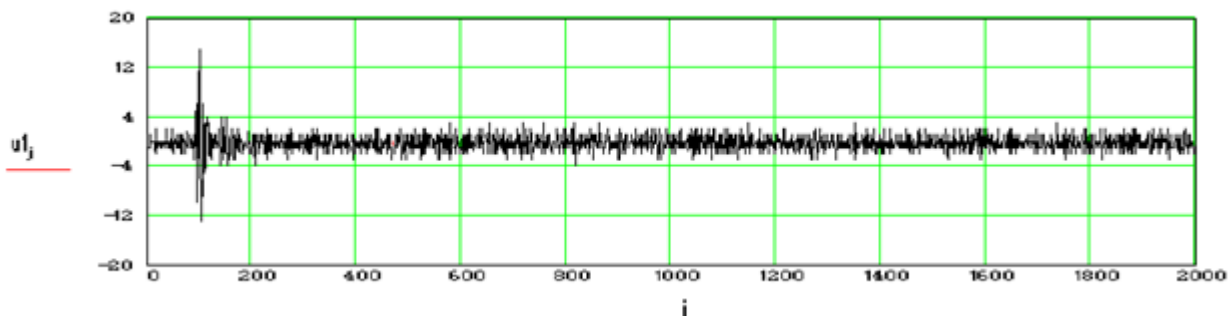
В распределении коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига на рис.2б отношение сигнал/шум возрастает до уровня 15 дБ, что является достаточным при акустическом контроле промышленного оборудования и металлоконструкций.

На рис.3 показаны сигналы акустической эмиссии от трещины в металле и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига, измеренные акустическим преобразователем, установленным рядом с дефектом сплошности.

Амплитуда акустико-эмиссионного сигнала на рис.3а составляет около 18 дБ, при этом величина отношения сигнал/шум равна примерно 9 дБ.

В распределении коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига на рис.3б отношение сигнал/шум возрос до уровня 19 дБ, что является

а)



б)

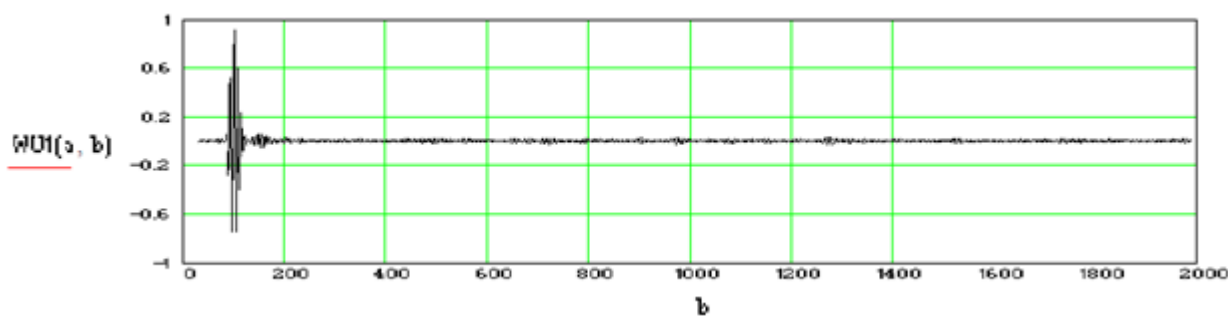


Рис.3. Сигнал акустической эмиссии от трещины в металле (а) и распределение коэффициентов вейвлетного преобразования по параметру сдвига (б)

достаточным при акустическом контроле промышленного оборудования и металлоконструкций.

Можно заметить, что на рис.1б-3б, в результате вейвлетного преобразования акустических сигналов явно проявляются более слабые, или более удаленные источники акустической эмиссии

---

в металле, которые были неразличимы в исходном, зашумленном сигнале акустической эмиссии металла на рис.1а –3а.

Этот положительный фактор, присутствующий в результатах вейвлетного преобразования сигналов акустической эмиссии металла, делает акустико-эмиссионный контроль промышленного оборудования и металлоконструкций более информативными за счет возможностей выявления большинства протекающих физических процессов в металле.