

УДК 620.179.17

Формирование моделей информационных составляющих для оценки спектрально-статистических характеристик и влияние параметра фильтров на точность измерения сигналов акустической эмиссии

Алтай Е. Федоров А.В., Степанова К.А.

(Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н. Федоров А.В.

Аннотация. В данном докладе представлены результаты формирования моделей информационных составляющих сигналов акустической эмиссии для оценки эффективности методов обработки по точности измерения. Для анализа и последующей настройки методов обработки получены результаты оценок характеристик сигналов, а также влияние полиномиальных методов фильтрации на точность измерения параметров сигналов акустической эмиссии.

Введение. Актуальность данной работы обусловлена тем, что на сегодняшний день в неразрушающем контроле практически в каждом акустико-диагностическом комплексе для повышения достоверности получаемых результатов измерений широко применяются методы компьютерной обработки, основанные на способах и алгоритмах цифровой фильтрации. Использование цифровой фильтрации позволяет ослабить влияние аддитивных помех на составляющие сигналов акустической эмиссии (АЭ), вызванных различными факторами среды. Учитывая это, к настоящему времени, базируясь на методах цифровой обработки измерительной информации, было опубликовано значимое количество научных работ, направленных на разработку математических моделей, алгоритмического и программного обеспечения для обработки результатов регистрации сигналов АЭ.

Аналитический обзор научных работ, опубликованных в базах данных e-Library, Scopus, Web of Science, РГБ, Google Scholar с 22-х летней ретроспективностью показал, что научный задел, сформированный на основе работ авторов С.А. Бехера, Л.Ю. Степановой, В.А. Барат, В.И. Иванова, И.С. Ясникова, L. Zhao, Z.S. Joanna и других позволяет решить актуальную научную задачу, способствующую повышению достоверности получаемых результатов АЭ контроля при мониторинге. Большинство исследований было направлено на применение теории вейвлет пакетной обработки с различными материнскими функциями и уровнем разложения, методов кластерного анализа, метода Хуанга-Гильберта и других. Однако разработка алгоритмического обеспечения метода полиномиальной фильтрации для высокоточной обработки, максимального ослабления помех при минимальных искажениях параметров сигналов АЭ не получило должной проработанности, что также показывают научные работы за последние 5 лет.

В силу отсутствия базы данных экспериментально-тестовых сигналов АЭ для обоснования и выбора метода полиномиальной фильтрации с целью совершенствования алгоритмического обеспечения системы обработки измерительной акустико-эмиссионной информации имеется большая необходимость формирования моделей информационных составляющих сигналов. Формирование моделей составляющих сигналов дает значимое преимущество, заключающееся в возможности синтезировать помехи и формировать их аддитивные модели для получения расчетно-теоретических результатов при оценке эффективности методов цифровой обработки сигналов АЭ. Однако для такой оценки в первую очередь необходимо оценить характеристики обрабатываемых измерительных сигналов для дальнейшего их применения. Поэтому в данном докладе рассматриваются результаты оценки спектрально-статистических характеристик сигналов АЭ и вносимых искажающих воздействий фильтрами рассматриваемого класса.

Основная часть. Исследование проводилось в два этапа. **Этап 1.** Формирование моделей информационных составляющих осуществлялось регистрацией сигналов АЭ в максимально-благоприятной обстановке, то есть при отсутствии каких-либо искажающих факторов среды.

Зарегистрированные таким образом АЭ сигналы были подвергнуты оценке спектральных и статистических характеристик. Результаты спектрального анализа показали, что в сигналах присутствует лишь низкочастотная дрейфовая составляющая с невысокой амплитудой. Частотная составляющая данной шумовой помехи расположена ниже диапазона частот информационных сигналов АЭ и поддается к устранению фильтрами верхних частот (ФВЧ). Для синтеза ФВЧ выбран полином Баттерворта, имеющий максимально-гладкую характеристику на полосе пропускания сигнала и подавления помех, а для его настройки выбран нижний диапазон частот информационных сигналов АЭ по результатам спектрального анализа. Результаты обработки показали, что шумовая помеха отфильтрована, а частотный диапазон сформированных сигналов идентичен с исходными характеристиками сигналов АЭ. Получение идентичных характеристик сигналов с исходными сигналами позволяет отметить, что форма сигнала информационной составляющей при минимальных искажениях была отфильтрована для последующих этапов исследования. Статистический анализ показал значительную лево/правостороннюю асимметрию результатов измерений до и после обработки, что подтверждается вычисленными показателями асимметрии и эксцесса. Для оценки гистограммы распределения получены значения критериев W -статистики Шапиро-Уилка и D -статистики Колмогорова-Смирнова-Лиллиефорса. Результаты оценки показали, что значение p -value для рассчитанных статистик составило менее порога 0,05. Это позволяет отметить, что вероятностная модель сигналов АЭ имеет негауссовое распределение. **Этап 2.** Результаты оценки влияния класса полиномиальных фильтров Бесселя, Чебышева, Баттерворта от 1 до 7 порядка на точность измерения сигналов АЭ. Для этой оценки рассчитан показатель среднеквадратичного отклонения (СКО) между экспериментально-тестовым и отфильтрованным (не зашумленным) сигналом, то есть между входом и выходом фильтров. Такой анализ позволяет оценить вносимое искажающее воздействия фильтров и в дальнейшем учесть при фильтрации зашумленных модельных сигналов АЭ. Полученные результаты позволяют установить следующее. Фильтры Бесселя, Чебышева, Баттерворта с низким порядком в наименьшей степени искажают форму сигналов АЭ, чем фильтры с высокими порядками. Если по точности обработки сравнить эффективность трех методов фильтрации между собой, то расчетное СКО на выходе фильтров Баттерворта намного меньше, чем для других рассматриваемых способов фильтрации. Это позволяет отметить, что фильтры Баттерворта при минимальных искажениях позволяют отфильтровать форму информационных составляющих сигналов АЭ.

Выводы. Полученные результаты исследования позволяют сделать следующий вывод. Сигналы АЭ обладают статистиками, информационные составляющие и параметры характеризуются значительной вариабельностью от сигнала к сигналу, а также вероятностная модель сигналов имеют негауссовое распределение. Все это характеризует индивидуальную особенность сигналов АЭ. Результаты оценки влияния параметра полиномиальных фильтров показали, что наименьший порядок фильтров Баттерворта в наименьшей степени вносят собственные искажения на параметры сигналов АЭ при фильтрации, чем способы фильтрации, аппроксимированные полиномами Бесселя и Чебышева.