

МЕТОД ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Алтай Ельдос^{1*}, А.В. Федоров^{1**}, К.А. Степанова^{1***}, Д.О. Кузиванов^{1****}

¹ – Университет ИТМО, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект д. 49.

* - aeldos@inbox.ru, ** - avfedorov@itmo.ru, *** - ledy.xs93@yandex.ru,
**** - kuzivanovdmitry@gmail.com

На сегодняшний день в неразрушающем контроле для повышения точности измерения сигналов акустической эмиссии (АЭ) актуальной научной задачей является разработка помехоустойчивых методов обработки измерительной информации. Данная актуальность обусловлена тем, что помехоустойчивые методы во многом позволяют противостоять искажающему действию помех, возникающих при регистрации сигналов АЭ и повысить точность измерения при выделении информационных составляющих. В практических условиях точность измерения информационных составляющих сигналов АЭ значительной степени снижается тогда, когда влияет помеха, вызванного сварочным производством [1]. Наличие такой помехи в рассматриваемом наборе измерений приводит к искажению амплитудно-временных параметров сигнала АЭ и снижает их точностных характеристик и, следовательно, данные измерений становится непригодным даже для визуальной оценки акустических событий. В работе [2] для ослабления и идентификации формы сигнала данной помехи синтезирован и предложен помехоустойчивый метод обработки сигнала, основанный на двунаправленном алгоритме фильтров Баттерворта. Использование таких полиномиальных фильтров позволяют производить их настройку в зависимости от характеристик сигналов АЭ для дальнейшего выделения информационных составляющих из аддитивной смеси помехи. Результаты апробации предложенного метода показали, что сочетание методов спектрального анализа и оптимизирующей настройки параметров синтеза полиномиальных фильтров позволяет максимизировать отношения акустического сигнала к влияющей помехе на выходе системы обработки.

Однако, в отличие от [2], в данном докладе рассматриваются результаты оценки эффективности методов полиномиальной фильтрации Баттерворта, Чебышева, Бесселя на помехоустойчивость и точность при использовании экспериментально-тестовых моделей сигналов АЭ и помех. Такое исследование дает значимое преимущество, заключающееся в возможности синтезировать помехи и формировать их аддитивные модели для получения расчетно-теоретических результатов между входом и выходом системы обработки сигналов АЭ.

Целью рассматриваемого доклада является оценка расчетных показателей отношения сигнал/помеха и погрешности фильтрации, выработанного при реализации методов полиномиальной фильтрации для обоснования цифрового фильтра.

Постановка задачи исследования. Сформулируем задачу обработки сигнала АЭ для полиномиальной фильтрации аддитивной помехи, вызванного сварочным производством. Формулируемая задача обработки сигнала АЭ в первую очередь направлена на выделение информационных составляющих компонент $s(q)$ из аддитивной смеси сигналов АЭ и высокочастотной помехи $\xi(q)$, описываемого в виде (1). Ставится задача выделения информационного сигнала $s(q)$ путем полиномиальной высокочастотной и низкочастотной фильтрации анализируемого сигнала $x(q)$, регистрируемого в дискретные моменты времени $q=q_1, \dots, q_n$, от искажающей помехи $\xi(q)$.

$$x(q) = s(q) + \xi(q), \quad (1)$$

где $s(q)$ – сигнал АЭ, $\xi(q)$ – высокочастотная помеха. Модель сигнала информационной составляющей получены из [3], а в качестве модели помехи рассматриваются характеристики идентифицированной формы сигнала электромагнитной помехи, изменяющейся в широком диапазоне частоты 800кГц [2].

$$\xi_{\text{эл}}(q) = \sum_{i=1}^m A_i \sin\left(2\pi \frac{f_i}{f_d} k + \varphi_i\right), \quad (2)$$

где m – число гармоник помехи, A_i – амплитуда i -ой гармоники помехи, f_i – частота помехи, f_d – частота дискретизации помехи, k – порядковый номер отсчетов помехи, φ_i – начальная фаза сигнала i -ой гармоники помехи.

Базируясь на аппарат передаточных функций для решения поставленной задачи (1) и ослабления влияние помехи (2) получены результаты синтеза, настройки полиномиальных фильтров верхних и нижних частот (ФВЧ и ФНЧ) Баттерворта, Чебышева, Бесселя и изучены их вырабатываемые свойства для фильтрации.

Результаты исследований. При различных значениях зашумленности сигналов АЭ оценивалась помехоустойчивость системы обработки и погрешность фильтрации. Результаты сравнения показателей, характеризующих качества системы обработки сигналов АЭ при фильтрации помехи представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	ОСП после, дБ			СКО, мВ		
	ФНЧ в [2]	ФНЧ Бесселя	ФНЧ Чебышева	ФНЧ Баттерворта	ФНЧ Бесселя	ФНЧ Чебышева
ОСП_до, дБ						
-10	55,9866	26,0380	19,7332	0,00029	0,0046	0,0061
-5	50,9737	16,6756	18,2825	0,00035	0,0022	0,0059
0	47,8142	14,2940	16,4388	0,00039	0,0065	0,0050
5	42,2212	11,3280	13,9640	0,00043	0,0064	0,0055
10	38,5917	9,2708	7,5650	0,00050	0,0013	0,0061
ОСП_до, дБ						
	ФВЧ в [2]	ФВЧ Бесселя	ФВЧ Чебышева	ФВЧ Баттерворта	ФВЧ Бесселя	ФВЧ Чебышева
-10	71,1891	25,0885	28,9426	0,00020	0,0028	0,0043
-5	58,7505	24,6672	19,5249	0,00029	0,0029	0,0058
0	45,5076	23,6069	19,1447	0,00032	0,0032	0,0061
5	41,2702	22,2834	13,9796	0,00051	0,0030	0,0055
10	35,8920	21,9811	7,7510	0,00058	0,0032	0,0055

Полученные результаты сравнительной оценки показывают, что при использовании алгоритма [2] помехоустойчивость системы обработки сигнала АЭ возрастает (показатель ОСП), следовательно, меньше искажает форму сигнала (показатель СКО), чем при использовании фильтров Чебышева и Бесселя. Это позволяет сделать вывод о том, что при обработке сигналов АЭ алгоритм обработки [2] вырабатывает наименьшее значение собственной ошибки, обусловленной их свойствами и характеристиками. Если сравнить ОСП и СКО для ФВЧ и ФНЧ оцениваемого алгоритма между собой, то высокочастотная фильтрация на основе ФВЧ позволяет повысить качества обработки сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Степанова К.А.* Разработка методики акустико-эмиссионного контроля дефектообразования в процессе формирования соединения сваркой трением с перемешиванием: автореф. канд. тех. наук: 05.11.13 / Степанова Ксения Андреевна. – СПб, 2020. - 20 с.
2. *Altay Y.A., Fedorov A.V., Stepanova K.A.* Acoustic emission signal processing based on polynomial filtering method // Proceedings of the 2022 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. 2022. P. 1320 – 1326.
3. *Алтай Е., Федоров А.В., Степанова К.А.* Формирование моделей информационных составляющих для оценки спектрально-статистических характеристик и влияние параметра фильтров на точность измерения сигналов акустической эмиссии // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. 2022.