

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ ДЛЯ  
ОБРАБОТКИ ЭХО-СИГНАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Чжан Юймин

Научный руководитель: зав.лаб. ОЭФ ИЯТШ, к.т.н. Гаранин Г.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [garaningv@tpu.ru](mailto:garaningv@tpu.ru)**APPLICATION OF THE METHOD OF LINE PREDICTION COEFFICIENTS FOR ECHO-SIGNAL  
PROCESSING FOR ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE TESTING**

Zhang Yuming

Scientific Supervisor: head. lab., k.t.n. Garanin G.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [garaningv@tpu.ru](mailto:garaningv@tpu.ru)

***Abstract.** At present, the method of linear prediction Coding coefficients is of great interest. Based on this model, systems for the analysis and synthesis of sound signals are built. The use of this model allows you to find differences and features when comparing audio signals. Its important advantage is the relative simplicity of parameter estimation using linear signal processing procedures. In this paper, we presented a method of linear prediction coefficients that allows us to analyze the ultrasonic signal from the point of view of its nonlinearity, which affects its time and frequency characteristics, in order to determine the dependence of the parameters of the method of linear prediction coefficients on the structural-phase state of the material under study - the titanium alloy VT6.*

**Введение.** В настоящее время, в области ультразвукового неразрушающего контроля, большой интерес вызывают различные методы обработки эхо-сигналов, позволяющие получать дополнительную информацию о состоянии материала объекта контроля. Одним из наиболее популярных в различных исследованиях является метод коэффициентов линейного предсказания или linear prediction coefficients (LPC). На основе данного метода часто строятся системы анализа и синтеза звуковых сигналов, применение данного метода позволяет находить отличия и особенности при сравнении звуковых сигналов. Важным достоинством метода LPC является относительная простота определения параметров исследуемых эхо-сигналов, для чего используются линейные процедуры обработки сигнала.

В данной работе представляется применение метода коэффициентов линейного предсказания, который позволяет проводить анализ ультразвукового сигнала с точки зрения оценки его нелинейности, влияющей на его временные и частотные характеристики, чтобы в дальнейшем определить зависимость параметров метода коэффициентов линейного предсказания от структурно-фазового состояния исследуемого материала – титанового сплава ВТ6.

**Постановка эксперимента.** Для сравнения возможностей различных алгоритмов обработки эхо-сигналов ультразвукового контроля, обработка результатов эксперимента была проведена несколькими методами в пакете программ MATLAB. Исходные данные для анализа эхо-сигналов были получены на

системе ультразвукового анализа твердого тела, исследовались отожженный образцы из титанового сплава ВТ6, диаметром 20 мм и толщиной 3 мм.

Основой временного метода (Time Of Flight – TOF) является измерение времени распространения ультразвукового сигнала при его взаимодействии с неоднородностями в материале. Это взаимодействие вызывает изменение времени распространения (пролета) волн в исследуемом объекте, для плоской пластины также этим методом можно определить скорость распространения продольной волны в материале:

$$V = \frac{T_{tof}}{2l} .$$

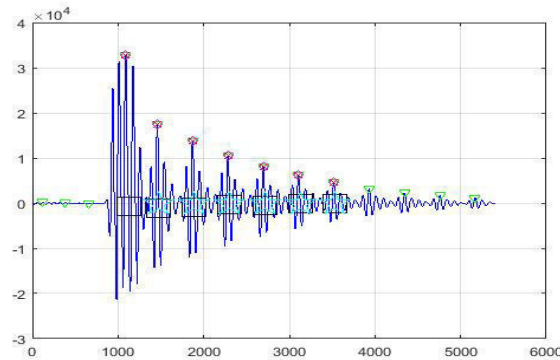


Рис. 1. Ультразвуковой сигнал в одной точке измерения, определение времени распространения и коэффициента затухания эхо-сигнала

Определение коэффициента затухания ультразвука (алгоритм DECAY) – по мере распространения ультразвуковой волны ее амплитуда, давление и интенсивность уменьшаются по закону экспоненты, что учитывается коэффициентом затухания  $\alpha$ , который зависит от свойств среды распространения ультразвука, её физико-механических характеристик. Коэффициент затухания  $\alpha$ , определяется соотношением для амплитуд двух соседних импульсов:

$$\alpha_t = -\frac{1}{t_n - t_{n-1}} \cdot \ln \left( \frac{A_n}{A_{n-1}} \right) .$$

соотношением для амплитуд двух соседних импульсов:

В методе коэффициентов линейного предсказания (LPC) для сигналов ультразвукового контроля реализуются алгоритмы линейного предсказания, с помощью которых при анализе эхо-сигнала определяются коэффициенты предсказания  $\{A_i\}$ , и среднеквадратичная ошибка предсказания сигнала. Для анализа эхо-сигнала методом LPC необходимо задать порядок полинома предсказания и временной интервал анализа сигнала.

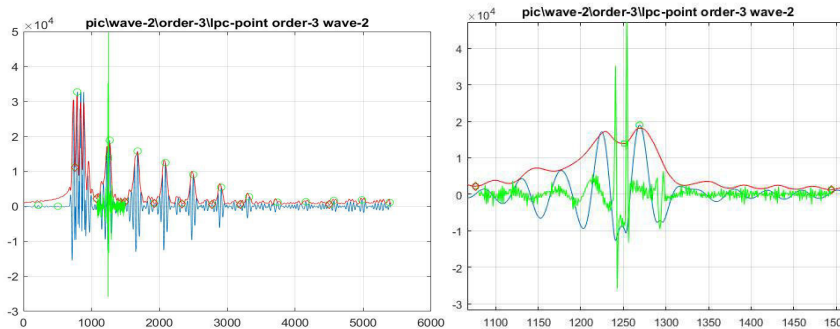


Рис. 2. Ультразвуковой сигнал в одной точке измерения, определение методом LPC ошибки предсказания ультразвукового сигнала

Результаты эксперимента представлены на рис. 3., здесь показаны определяемые методами TOF и DECAУ параметры ультразвукового сигнала для исследуемого образца. На левом графике показано время пробега сигнала в образце, пропорциональное скорости, на правом графике представлены значения коэффициента затухания, полученные при измерении параметров распространения ультразвука в множестве точек образца, при сканировании по сетке с шагом 0,5 мм.

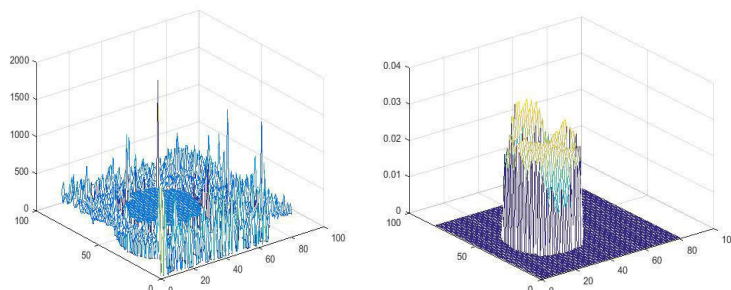


Рис. 3. Определяемые параметры ультразвукового сигнала при сканировании всего образца: время пробега, коэффициент затухания ультразвука

На рис. 4. а) показана значение среднеквадратичной ошибки предсказания. На рис. 1. б) и в) представлены значения коэффициентов предсказания  $\{A_i\}$ .

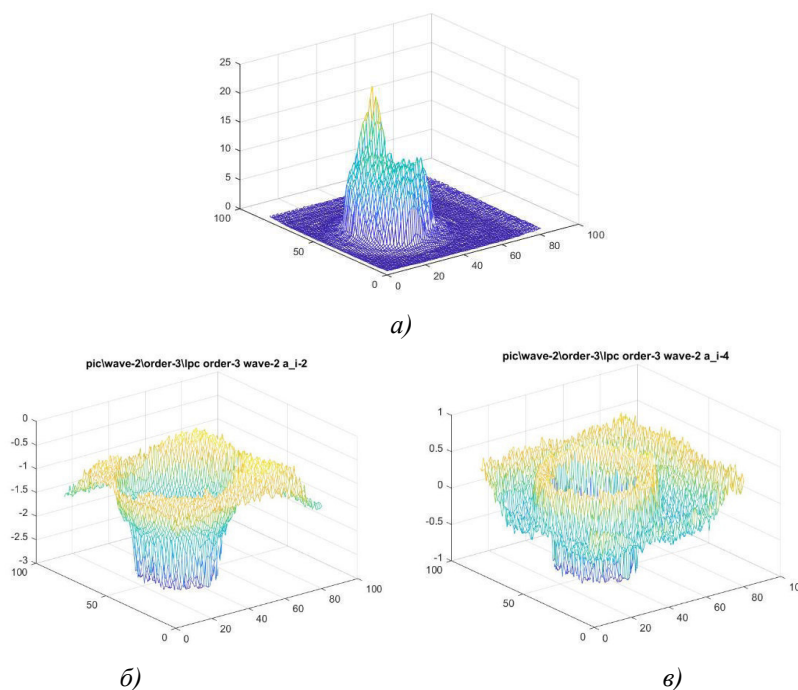


Рис. 4. Определяемые методом LPC параметры ультразвукового сигнала: а) – значение среднеквадратичной ошибки предсказания; б) и в) – значения коэффициентов предсказания  $\{A_i\}$

Применение метода коэффициентов линейного предсказания (LPC) для анализа ультразвукового сигнала позволяет получать изображение контролируемого объекта в координатах параметров метода LPC, что дает дополнительные количественные данные, которые можно использовать как интегральную оценку, и облегчает задачу сравнения нелинейности, временных и амплитудных характеристик эхо-сигналов, полученных в различных точках объекта.