

УДК 004.67

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ ФУНКЦИЙ  
ПРЕДСКАЗАНИЯ ПРОЦЕССОВ**

студент гр. 813802 Дановский В. Д.

**Научный руководитель - канд. техн. наук Ролич О. Ч.**Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

Линейное предсказание, основанное на теории линейных систем, находит широкое применение в сфере технического речеобразования и её анализа, в аудиокодеках, в обработке радиолокационных сигналов [1 – 3]. В данной работе предлагается применить метод линейного предсказания в прогнозировании вибрационных сигналов дизельных форсунок, функционирующих в квазистационарном режиме. Мерой прогнозирования выбрано среднеквадратичное отклонение (СКО) линейно предсказанной числовой последовательности от реального сигнала с учётом длины и шага окна предсказания. Также оценивается СКО спектрограммы линейно предсказанной числовой последовательности от её реального вида. В качестве исследуемой функции предсказания выступает *MathCAD*-функция *predict()*.

На рисунке 1 изображены исходный вибрационный сигнал *MEMS*-акселерометра *LIS3D*, закреплённого на дизельной форсунке испытательного стенда *CR Jet-4E*, и его спектрограмма, очевидно подчёркивающая работу форсунки в квазистационарном режиме [4]. В спектрограмме выделяются периодические квазистационарные процессы *A*, *B* и др. на различных частотах 99 Гц, 148 Гц, 198 Гц (вычислены исходя из периода дискретизации 630 мкс, длины прямоугольного окна  $N = 512$  и шага его перемещения  $step = 64$ ), повторяющиеся через 1400 мс, 690 мс.

Результаты исследований представлены на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 по одной из осей откладывается длина прямоугольного окна, по второй – шаг *step* перемещения и, соответственно, длина предсказываемой числовой последовательности, по третьей вертикальной оси – СКО. В качестве базовой числовой последовательности предсказания выбирается последний фрагмент из предсказанных на предыдущей итерации значений длиной, равной длине  $N$  окна.

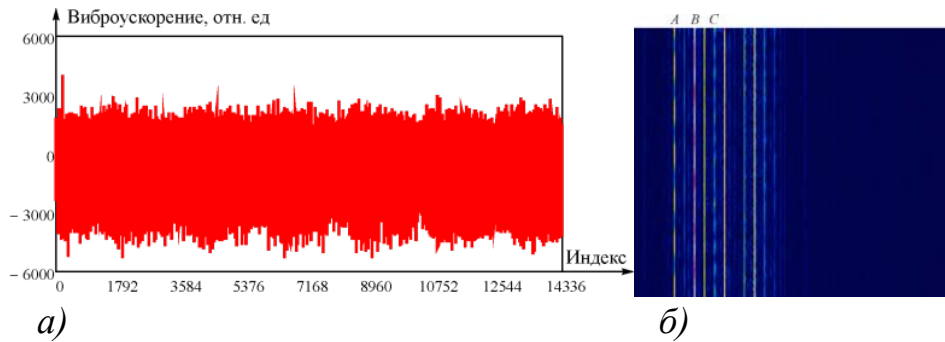


Рис 1. Вибрационный сигнал (а) и его спектрограмма (б) для давления впрыска 158 бар

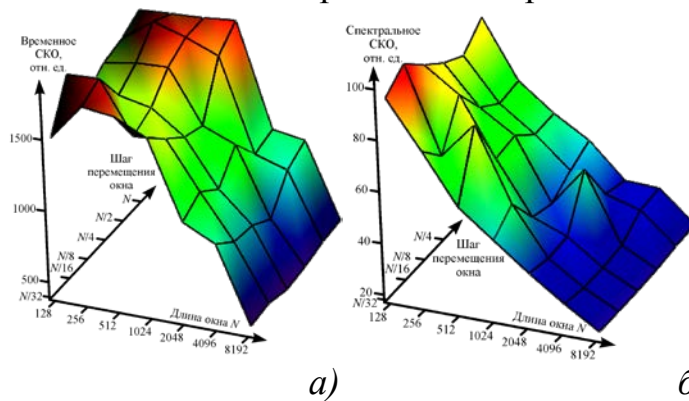


Рис 2. Зависимости временного (а) и спектрального (б) СКО от длины прямоугольного окна и шага *step* его перемещения

В графиках время-спектральных СКО очевидна обратная зависимость от длины окна, причём удовлетворительной длиной принято значение более 2048, а рекомендуемой 8192.

В отличие от размера окна зависимость СКО от шага *step* его перемещения и, соответственно, от длины предсказываемой числовой последовательности не настолько очевидная. Но как показывают исследования, время вычислений при увеличении размера предсказываемого участка в два раза сокращается также примерно вдвое и практически не зависит от длины окна. Поэтому, с точки зрения быстродействия следует использовать длину предсказываемого участка либо равную длине окна, либо её половине.

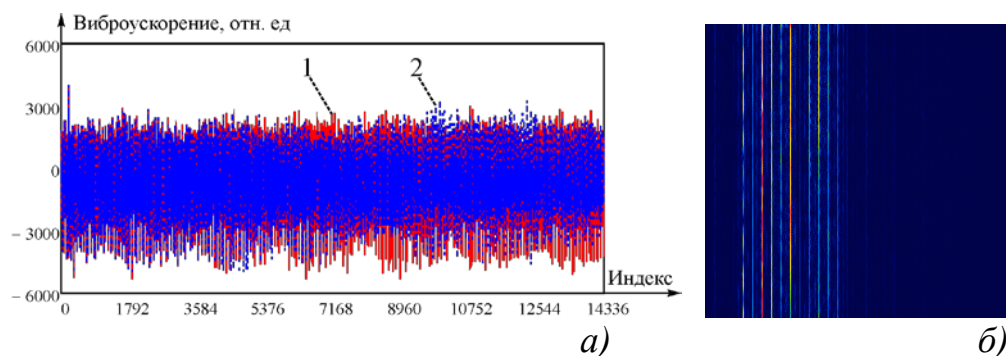


Рис 3. Графики (а) оригинального и предсказанного сигналов и спектрограмма (б) предсказанного сигнала

На рисунке 3, (а) изображены оригинальный вибрационный сигнал 1, совпадающий с сигналом на рисунке 1, (а), и линейно предсказанный сигнал 2 с параметрами предсказания  $N = 4096$  и  $step = N = 4096$ . Результирующая спектрограмма для линейно предсказанного сигнала с учётом прямоугольного окна приведена на рисунке 3, (б) с целью её визуального сравнения со спектрограммой оригинального сигнала на рисунке 1, (б).

В результате исследований *MathCAD*-функции *predict()* линейного предсказания можно сделать следующие выводы:

1. Рекомендуемая минимальная длина окна  $N = 2048$ .
2. Рекомендуемый диапазон длины предсказываемой числовой последовательности и шага *step* перемещения окна:

$$(N / 4) \leq step \leq N.$$

3. Время вычислений зависит, главным образом, от шага *step* перемещения (он же равен длине предсказываемого участка) и практически не зависит от длины  $N$  окна.

4. Увеличение размера предсказываемого участка в два раза приводит к снижению времени вычислений также примерно вдвое.

5. Для длины окна  $N \leq 256$  даже визуальный результат спектрограммы линейно предсказанного сигнала имеет неудовлетворительный вид. Для  $N = 512, 1024$  и  $2048$  невозможно сделать однозначных выводов, и визуальное спектрограмма зависит от шага *step* перемещения окна; результат заметно улучшается с увеличением значения *step* и, соответственно, с увеличением длины предсказанного участка.

### Литература

1. Нгуен, К. Х. Разработка методики анализа и синтеза речевых сигналов на основе линейного предсказания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.16 / К. Х. Нгуен; БГУ. – Минск, 1991. – 15 с.
2. Максимов, М. И. Принципы работы и практическая реализация речевого кодека на основе метода линейного предсказания с возбуждением

от кода / М. И. Максимов, Н. А. Сидорова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2008. – № 5. – С. 75 – 81.

3. Григорян, Д. С. Сверхразрешение по дальности при обработке радиолокационных сигналов с линейной частотной модуляцией когерентным методом линейного предсказания вперед-назад с прореживанием данных / Д. С. Григорян, С. М. Семченков // Журнал радиоэлектроники. – 2011. – № 8. – С. 1 – 16

4. Жешко, А. А. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А. А. Жешко, В. Е. Тарасенко, О. Ч. Ролич, А. В. Дунаев // Технический сервис машин. – 2021. – Т. 59 – № 1 (142) – С. 55 – 64.