

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОТКАЗА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИГНАЛОВ ВИБРАЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Кечик Д. А.

Воробьев В. И. – с. н. с. НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР, к.т.н., доцент

Исследована эффективность применения авторегрессионных и полиномиальных методов предсказания временных рядов для прогнозирования момента выхода из строя машинного оборудования по статистическим характеристикам сигналов вибрации.

Неразрушающий контроль технического состояния машинного оборудования широко используется в производстве и позволяет экономить значительные средства. Актуальной задачей является выявление дефектов на ранней стадии их развития и оценки остаточного ресурса оборудования.

В виброакустической диагностике выводы о наличии и степени развития дефекта узла машины делаются на основе анализа сигнала вибрации. Текущее состояние характеризуется набором показателей. Отслеживание их трендов позволяет диагностировать износ, неправильную установку или ненадлежащий режим эксплуатации [1]. Появление трендов указывает на зарождающийся дефект. В случае их обнаружения необходимо оценить время выхода из строя машины для составления графика ремонта [1, 2].

Существующие стандарты устанавливают критические уровни показателей вибрации, при достижении которых требуется остановка агрегата и ремонт. Задача системы диагностики – спрогнозировать развитие трендов показателей и оценить дату достижения ими критического уровня. Прогнозирование временного ряда целесообразно проводить аппроксимацией его полиномиальными либо авторегрессионными (АР) моделями.

Одна из важнейших задач авторегрессионного анализа – выбор порядка АР-модели. Для этого нужно оценить степень взаимосвязи между последовательными значениями ряда. Оценка осуществляется по отсчетам частной автокорреляционной (ЧАКФ) функции. Отсчеты ЧАКФ являются величинами, обратными коэффициентам линейного предсказания [3]. Порядок модели выбирается по номеру последнего отсчета ЧАКФ, превышающего уровень статистической значимости [4]. В проведенных опытах такой выбор порядка подтверждается зависимостью среднеквадратичной ошибки предсказания от порядка модели.

На рисунке 1 приведен пример исследованного в работе временного ряда и первые 20 отсчетов его ЧАКФ. Нарастающий с насыщением тренд появляется, начиная с сотого отсчета, что свидетельствует о появлении зарождающегося дефекта.

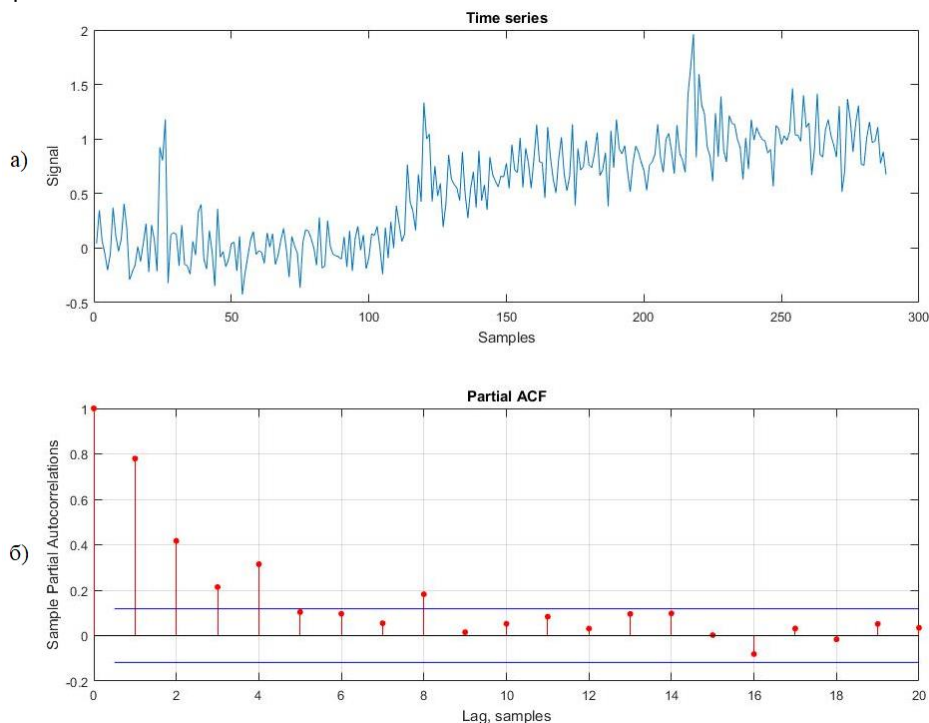


Рисунок 1 – Временной ряд (а) и его ЧАКФ (б)

Для сравнения различных моделей были использованы детерминированные ряды, зашумлённые аддитивным белым гауссовым шумом, моделирующие изменение показателей при развитии дефекта оборудования, так и реальные значения, полученные при анализе вибрационных сигналов деградирующего узла, записанных в разное время. Для сравнения различных способов прогнозирования составлялись модели усечённого исходного ряда. Далее рассчитывалась среднеквадратичная ошибка предсказания и строилась

зависимость её от длительности интервала анализа. Рассчитывалась так же величина интервала, на котором спрогнозированная последовательность достигает конечного уровня исходного ряда. Результаты использования АР модели и полиномиальной первой и второй порядков иллюстрируются рисунком 2.

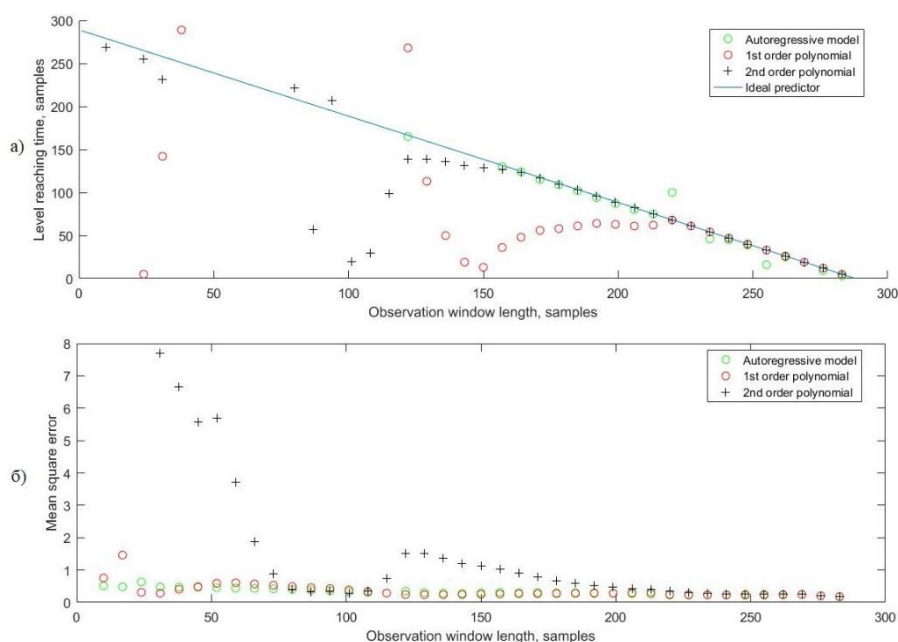


Рисунок 2 – К анализу момента достижения спрогнозированной последовательностью конечного уровня исходного ряда (а) и зависимость среднеквадратичной ошибки предсказания от величины интервала анализа (б)

Вследствие изменений режима работы оборудования и действия множества случайных факторов для временных рядов показателей вибросигнала характерны резкие изменения и выбросы, что значительно снижает точность предсказания.

Работа основывается на экспериментах на 54 модельных сигналах и 50 последовательностях статистических характеристик сигналов вибрации. Установлено, что методы предсказания, основанные на АР-модели, менее чувствительны к выбросам и скачкообразным изменениям. Показано, что аппроксимация полиномом второго порядка обеспечивает более высокую эффективность на более длинных сроках предсказания.

Список использованных источников:

1. Scheffer, C. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance / C. Scheffer, P. Girdhar. – Elsevier, 2004. – 263 p.
2. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьёв. – М. : Наука, 1996. – 276 с.
3. Марпл.-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. / С.Л. Марпл.-мл. – М. : Мир, 1990. – 584 с.
4. Волосенков, А.В. Способ определения параметров модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего / А.В. Волосенков // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. – 2010. – Т. 9, № 2.