

## ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### THE PROBLEM OF MEASURING HIGHLY DYNAMIC PROCESSES IN ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

S. Zhambalova  
V. Shpenst

#### Annotation

This article is about problems of measurement and representation of highly dynamic processes in electromechanical systems. The definition of these processes is given. There are analyzed the general principles and approaches to the measurement of highly dynamic processes, as well as consider three basic levels of information use. The necessity of the use of numerical modeling is proved. On the basis of the study authors the necessity of developing a new method which will improve the accuracy of information-measuring systems for highly dynamic processes.

**Keywords:** highly dynamic processes in electromechanical systems, measurement of highly dynamic processes, mathematical model of highly dynamic processes.

**Жамбалова Сарюна Цыренжаповна**

Аспирант, Национальный  
минерально-сырьевой университет "Горный",  
Санкт-Петербург

**Шпенст Вадим Анатольевич**

Д.т.н., профессор, Национальный  
минерально-сырьевой университет "Горный",  
Санкт-Петербург

#### Аннотация

В данной статье рассмотрены проблемы измерения и представления высокочастотных процессов в электромеханических системах. Дано определение данным процессам. Проанализированы общие принципы и подходы при измерении высокочастотных процессов, а так же рассмотрены три основных уровня их информационного использования. Обоснована необходимость использования численного моделирования. На основе проведенного исследования авторами обосновывается необходимость разработки нового метода, который позволит повысить точность информационно-измерительных систем для высокочастотных процессов.

#### Ключевые слова:

Высокочастотные процессы в электромеханических системах, измерение высокочастотных процессов, математическая модель высокочастотных процессов.

Работа электромеханических систем сопровождается акустическими шумами, вибрациями, переменными давлениями, при этом параметры этих процессов существенно зависят от времени. Данные процессы широко используются в задачах идентификации, контроля и диагностики; несут богатую информацию о динамических свойствах самой машины, дефектах, возникающих при ее эксплуатации [1,2,4,5,7]. Понятие высокочастотных процессов используют для описания вибрации, пульсации давления газа и топлива, акустическое излучение машины, колебание деталей и узлов т.е. сигналов электромеханических систем. Данное понятие так же используется для описания сигналов и в других видах систем: технических, мониторинговых, биомедицинских, геофизических и т.д. [1,2,4,5].

Важной отличительной особенностью исследуемых процессов является то, что им присущ случайный характер распространения, они характеризуют динамические свойства системы, т.е. обладают чувствительностью к дефектам, возникающим при ее эксплуатации. Это опре-

деляет их использование для контроля и диагностики технического состояния машин. При измерении высокочастотных процессов в качестве чувствительных элементов информационно-измерительной системы используют различные по своей физической природе датчики.

Для описания различных высокочастотных процессов применяют математическое моделирование, его рассматривают как инструмент для изучения исследуемых процессов, которые сопровождают работу системы, путем их замены на процессы более удобные для исследования, заменяемые процессы сохраняют основные требуемые свойства оригинала в зависимости от поставленной задачи. Применение численного моделирования при исследовании высокочастотных процессов в электромеханических системах представляется эффективным, потому что параметры этих процессов имеют случайный характер; процессы в машинах зависят от многих внешних факторов; очень часто модель процесса приходится идентифицировать по экспериментальным данным

[4]. Из всех имеющихся характеристик лишь спектральная наиболее полно описывает исследуемый сигнал [6]. При анализе процессов используются такие спектральные и статистические характеристики как: корреляционная функция, гистограмма, математическое ожидание, дисперсия и т.д. При измерении, обработке и анализе высокочастотных процессов можно выделить три основных уровня их информационного использования [4,5].

*Задачей всех трех уровней является разработка математической модели, метода и средства для параметрического описания сигнала датчиков, но между уровнями есть существенные отличия.*

1. На первом уровне при разработке математической модели не учитывают физические особенности процесса, важно получение обобщенной формы измеряемого сигнала.

2. На втором уровне исследуют взаимосвязь между несколькими процессами, и на основе критериев взаимосвязи сигналов составляют математическую модель взаимодействия процессов.

3. Математические модели третьего уровня используют для имитационного моделирования сложных высокочастотных процессов. Математическое описание третьего уровня информационного использования основывается на применении интегральных и дифференциальных уравнений.

Особенности данных процессов вызывают трудности в реализации численных моделей, требуется большое количество экспериментальных данных для их обработки в реальном масштабе времени, это связано с тем, что параметры исследуемого процесса имеют случайный характер [6]. При регистрации процесса, средства измерения фиксируют измеряемую величину не непрерывно, а лишь через определенный интервал времени, что увеличивает погрешность измерительной системы.

Обычно модель строится следующим образом. На основе априорной информации об объекте устанавливается подходящий класс математических функций, параметры которых количественно уточняются по экспериментальным данным. Будучи математической абстракцией, модель является лишь приближением к реальному процессу. Точность приближения (адекватность модели) зависит от уровня априорных знаний, объема и достоверности информации, получаемой от эксперимента. Важным также является то, чтобы модель описывалась с помощью хорошо разработанного и достаточно простого для применения математического аппарата.

Высокочастотные процессы в электромеханических системах следует рассматривать как случайные процес-

сы и для их анализа использовать соответствующий математический аппарат. Однако от модели требуется, чтобы она отражала те свойства процессов, которые представляются наиболее важными при решении конкретной задачи. В общем случае – чем сложнее задача, тем сложнее модель.

Из анализа источников высокочастотных процессов в сложных механизмах может быть предложена следующая модель: процесс рассматривается как комбинация узкополосных составляющих с широкополосным шумом. Частотный диапазон сигналов от 1 до 20 кГц и выше. Свойства высокочастотных процессов такие как амплитуда и частота узкополосных составляющих претерпевают изменения с течением времени, однако, у бездефектных машин эти изменения протекают небыстро и в основном зависят от технического состояния и режима работы электромеханической системы. При таких условиях задача выявления отклонений в функциональности сложных технических объектов может быть сведена к обнаружению моментов изменения свойств случайного процесса, имеющих вышеописанную структуру. Под изменением структуры сигнала применительно к высокочастотным процессам понимается: существенное изменение амплитуд дискретных составляющих, перераспределение энергии по частотам, рост шумовой компоненты, появление гармоник или субгармоник основной частоты возбуждения и т.п.

Изменения свойств высокочастотных процессов также отличаются в зависимости от поведения во временной реализации, можно выделить три случая:

1. характеристика высокочастотного процесса изменяется на короткий промежуток времени, по окончании которого она возвращается к первоначальному состоянию;

2. характеристики сигнала датчиков изменяются скачкообразно;

3. изменение характеристики сигнала происходит плавно, в связи с этим чаще всего анализируемые процессы представляются в виде кусочно-стационарного случайного процесса [3,5].

Ниже рассмотрим модели случайных временных реализаций процессов, используемых для имитационного моделирования. Сложность оператора, описывающего математическую модель системы и число определяющих его параметров, обусловлена требуемой точностью результатов моделирования и возможностью получения необходимых исходных данных для проведения численных расчетов. Для большинства инженерных задач, связанных с анализом случайных процессов в электромеханических системах приемлемыми являются линейные модели [6].

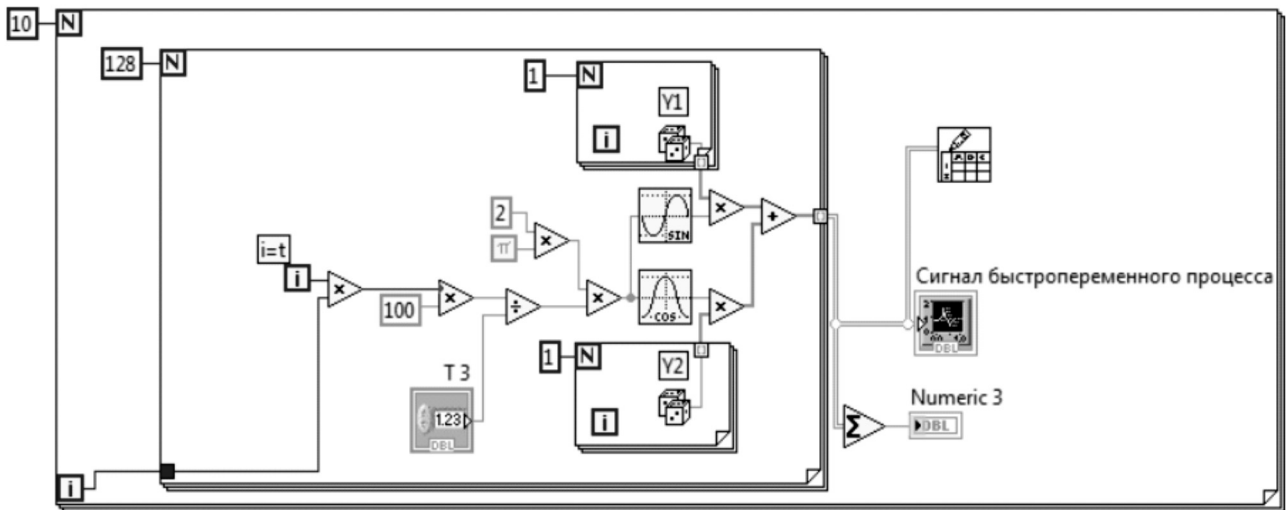


Рис. 1. Структурная схема временной реализации высокودинамического процесса по модели Райса (построено с помощью пакета Lab View).

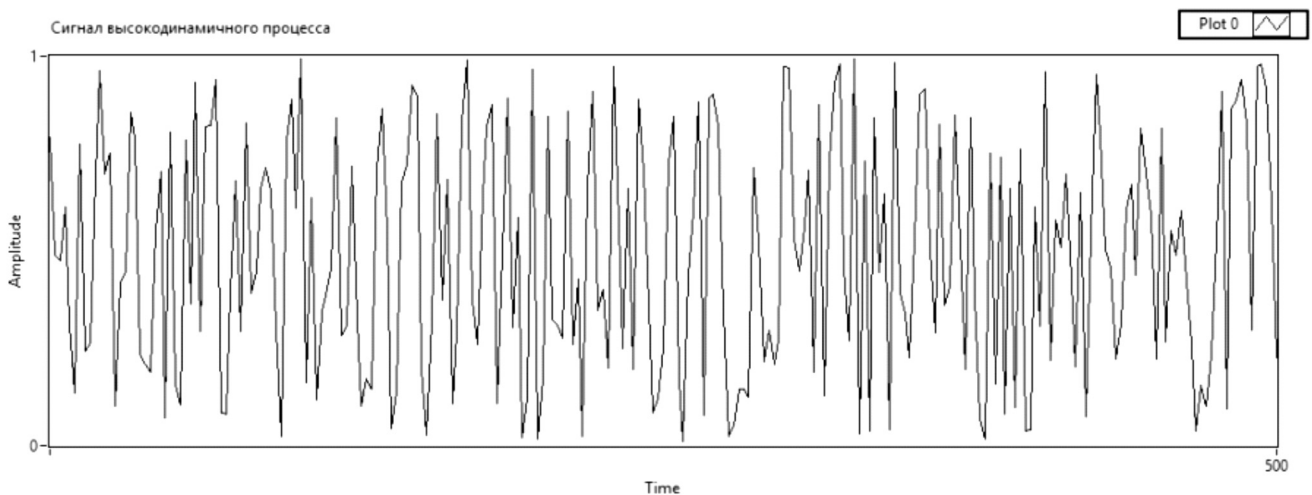


Рис. 2. Случайный сигнал высокودинамического процесса по модели Райса.

Стационарные процессы с ограниченным спектром частот в виде периодических случайных реализаций могут быть представлены случайными колебаниями по Райсу (рис. 1,2) [8].

Временная реализация задается выражением (1):

$$y'(t) = \sum_{i=1}^M \tilde{Y}_i^I \cos\left(2\pi \frac{it}{T}\right) + \tilde{Y}_i^{II} \cos\left(2\pi \frac{it}{T}\right) \quad (1)$$

Где  
 T – временной интервал;

$\tilde{Y}_i^I, \tilde{Y}_i^{II}$  – независимые случайные величины, характеризующиеся функциями плотности вероятности нормального распределения;  $i = 1, 2, 3$ .

Фактически модель Райса описывает временную периодическую реализацию с периодом T посредством гармонического ряда Фурье со случайными амплитудами и фазами составляющих гармоник. Важной является заключенная в самой модели фундаментальная связь между числом гармоник и интервалом периодичности T. Статистические характеристики этого процесса осреднен-

ные по ансамблю реализаций, могут быть сколь угодно приближены к значениям, имеющим место у реального процесса, за счет бесконечного увеличения числа составляющих модель гармоник.

Измерение высокочастотных процессов электро-механических систем применяют для контроля и диагностики их технического состояния. Данные процессы в основном имеют волновой характер распространения, параметры этих процессов имеют случайный характер, указанные особенности затрудняют идентифицировать законы распределения данных процессов с достаточной степенью точности. Экспериментальные данные о высокочастотных процессах ограничены ввиду необходимости их регистрации в реальном масштабе времени, а также следует отметить, что датчики фиксируют измеряемую величину не непрерывно, а лишь через определенный интервал времени, что увеличивает погрешность измерительной системы.

Из проведенного исследования следует, что необходимо минимизировать погрешность информационно-измерительной системы, т.е. повысить точность измерения высокочастотных процессов в электромеханических системах.

*Для этого необходимо:*

- ◆ провести анализ существующих методов повышения точности информационно-измерительных систем;
- ◆ рассмотреть пути уменьшения погрешности измерения, а именно усовершенствовать математическую модель временной реализации высокочастотного процесса;
- ◆ рассмотреть методы представления или отображения считываемых с регистрирующих датчиков данных, которые визуализируются на средствах отображения для индивидуального пользования оператора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берестень М.П. Выявление аномальностей в структуре выбросов. Методы и средства измерения механических параметров в системах контроля и управления: Тез. Докл. Всесоюзная конф. – Пенза, ПДНТП, 1989. – 152 с.
2. Берестень М.П. Инженерная методика цифрового моделирования случайных сигналов с широким классом корреляционно-спектральных характеристик. Цифровое моделирование сложных технических систем: Тез. Докл. – Пенза ПДНТП, 1983. – 62–63 с.
3. Максимов, В. П. Измерение, обработка и анализ высокочастотных процессов в машинах. Москва: Машиностроение, 1987. – 208 с.
4. Мясникова Н.В., Берестень М.П. Экспресс-анализ сигналов в технических системах// Монография – Пенза: ПГУ, 2012. – 152с.
5. Осадчий, Е. П., Берестень М.П., Мясникова Н.В., Строганов М.П. Анализ высокочастотных процессов в сложных технических системах. Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1996. – 64 с.
6. Чугаевский Ю.В. Элементы теории нелинейных и высокочастотных волновых процессов /АН МССР. Ин-т математики с Вычислит. центром. – Кишинев : Штиинца, 1974. – 183 с
7. Яманин А. И. Расчет высокочастотных процессов в среде ANSYS/LS-DYNA. Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2011. – 92 с.
8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Москва.:Советское радио, 1974.– 752с.

© С.Ц. Жамбалова, В.А. Шленст, ( Zhsaryuna@ya.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

