

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Бранцевич П. Ю., Лапицкая Н. В., Леванцевич В. А.  
Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: branc@bsuir.edu.by, lapan@bsuir.by, lvn@bsuir.by

*Анализируются проблемы проведения метрологической аттестации и поверки виброизмерительного оборудования. Рассмотрена структурная схема системы поверки. Предложен подход моделирования вибрационных сигналов, основанный на фильтре Калмана и программное средство для его реализации. Описана методика проведения поверки и результаты работы программного средства.*

## ВВЕДЕНИЕ

Состояние производственного объекта характеризуется многими параметрами, имеющими различную физическую природу. При эксплуатации механизмов и агрегатов одними из важнейших параметров, отражающим их техническое состояние, являются интенсивность и спектральный состав вибрации.

Для контроля вибрационных сигналов используют различные стационарные и мобильные измерительно-вычислительные комплексы и приборы [1]. Для обеспечения достоверности работы контрольно-измерительного оборудования, его периодически подвергают метрологической аттестации или поверке. Поверка является сложной и трудоемкой процедурой, поэтому весьма актуальной является задача создания программно-аппаратных средств для автоматизации процесса поверки виброизмерительных приборов и вибропреобразователей.

## I. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

На рис. 1 приведен пример структурной схемы системы поверки виброизмерительного оборудования [2].

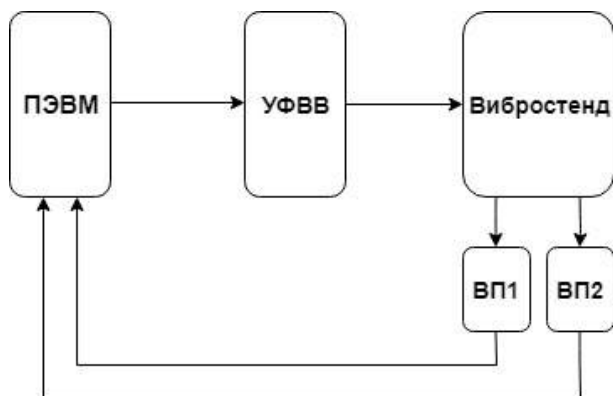


Рис. 1 – Структурная схема системы поверки виброизмерительного оборудования

Поверяемый вибропреобразователь ВП2 закрепляется на рабочем столе вибростенда. Вычислительная машина по специальным алгоритмам формирует управляющие команды, которые

поступают на устройство формирования вибрационного воздействия (УФВВ). УФВВ формирует вибрационный сигнал с заданной амплитудой и частотным спектром, который усиливается и поступает на вибростенд, что приводит к возвратно-поступательному движению стола вибростенда.

Эталонный вибропреобразователь ВП1 формирует сигнал, отражающий реальную частоту и амплитуду перемещения стола вибростенда. Сигналы с датчиков ВП1 и ВП2 поступают в ЭВМ, где оцифровываются и обрабатываются с помощью специализированного программного обеспечения, после этого можно сделать вывод о характеристиках поверяемого датчика. Так как основным элементом вибростенда является катушка возбуждения, обладающая собственной индуктивностью и емкостью, то его амплитудно-частотная характеристика неравномерна и, как следствие, движение стола вибростенда не будет соответствовать параметрам заданного сигнала вибрационного воздействия. Поэтому стоит задача формирования такого сигнала, который позволит компенсировать неравномерность АЧХ вибростенда.

## II. РЕАЛИЗАЦИЯ

Для компенсации неравномерности АЧХ вибростенда предлагается подход, основанный на рекурсивном фильтре Калмана. Математически алгоритм реализации фильтра Калмана в общем случае выражается формулой [3]

$$X_k = X_{k-1} + K_k (Z_k - X_{k-1}), (1)$$

где  $X_k$  - текущее значение формируемой величины на выходе фильтра Калмана;

$X_{k-1}$  - значение формируемой величины, полученное на предыдущем этапе с учетом предсказания;

$Z_k$  - измеренное в текущий момент значение измеряемой величины с датчика;

$K_k$  - коэффициент Калмана.

Коэффициент Калмана зависит от соотношения среднеквадратичной ошибки предсказания и ошибки измерения и с каждым шагом вы-

числения стабилизируется к определенному значению. С целью адаптации фильтра Калмана для коррекции амплитуд спектральных составляющих (1) было преобразовано в следующее выражение:

$$U_{j,i} = U_{j,i-1} \left( 1 + \alpha \left( \frac{A_{z,i}}{A_{izm,i-1}} - 1 \right) \beta \right).$$

где  $U_{j,i}$  - амплитуда сигнала на выходе устройства формирования вибрационного воздействия

$A_{z,j}$  - заданная амплитуда  $j$ -ой составляющей спектра вибрационного воздействия;

$A_{izm,i-1}$  - амплитуда измеренной  $j$ -ой составляющей вибрационного воздействия на  $(i-1)$ -ой итерации;

$\alpha_i = \alpha_{i-1} K_{osl}$  - коэффициент Калман,  $\alpha \leq 1$ ;

$K_{osl}$  - коэффициент ослабления, задается пользователем;

$\beta$ -коэффициент, учитывающий нелинейность выходной характеристики вибростенда,  $\beta=1$ ;

$j, i$  - номер гармоники и номер итерации соответственно.

Условием завершения алгоритма коррекции спектра является выполнение либо условия  $|A_{z,i} - A_{izm,j,i}| \leq \delta A_{z,j}$  для всех спектральных составляющих, где  $\delta$  - погрешность установки спектральной составляющей, либо  $i > i_{gr}$ , где  $i_{gr}$  - граничное значение числа итераций коррекции. После выхода на заданный общий уровень вибрационного воздействия, осуществляются действия по определению характеристик поверяемого ВП.

При таком подходе методика поверки ВП выглядит следующим образом:

1. Определяются значения параметров для поверки: диапазон частот; общий уровень мощности воспроизводимого вибросигнала в точке установки эталонного вибропреобразователя; равномерный спектр воспроизводимого вибросигнала; значения контрольных частот.

2. С помощью системы поверки виброизмерительного оборудования и программного обеспечения поверки[2] в точке крепления образцового ВП воспроизводится вибросигнал с заданными характеристиками.

3. Определяются характеристики принимаемого сигнала от поверяемого ВП и рассчитываются значения основных параметров: коэффициент преобразования в диапазоне частот, коэффициенты преобразования на контрольных частотах, АЧХ для коэффициента преобразования в заданном диапазоне частот.

4. Пункты 2-3 повторяются для нескольких значений мощности.

Разработаны алгоритмы и программное средство, поверки вибропреобразователей. Скриншоты работы программы приведены на рис. 2-4.

На рис. 2 показана форма полигармонического сигнала вибрационного воздействия, формирующего равномерный спектр. На рис. 3. приведен реальный, неравномерный спектр колебаний в точке крепления вибропреобразователя до коррекции, а на рис. 4 равномерный спектр, полученный в той же точке, после коррекции программой поверки.

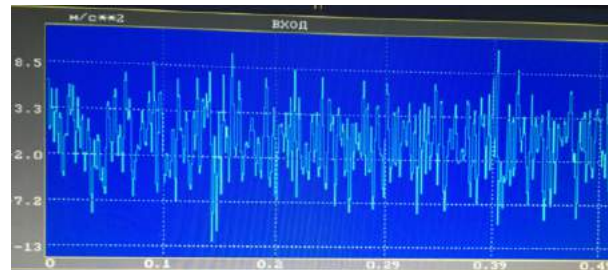


Рис. 2 – Исходный сигнал вибрационного воздействия

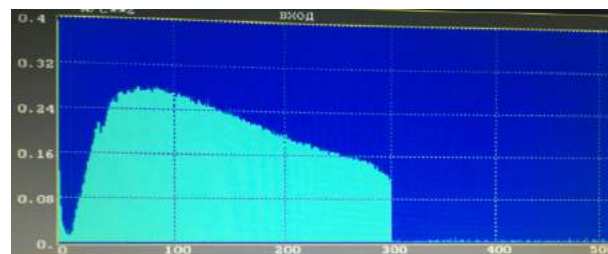


Рис. 3 – Неравномерный спектр сигнала в точке крепления вибропреобразователя до коррекции

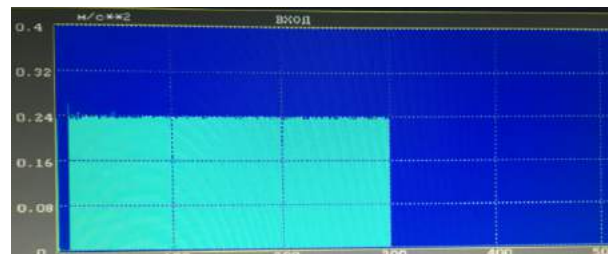


Рис. 4 – Равномерный спектр сигнала в точке крепления вибропреобразователя после коррекции

### III. ВЫВОДЫ

Применение разработанной методики и программного средства позволяет значительно сократить время поверки и повысить точность определения значений поверяемых параметров.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга Вибродиагностика /Ф.Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Бранцевич, П.Ю. Компьютерные вибродиагностические системы / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев, В.Э. Базаревский // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР: материалы конф. – Минск : БГУИР, 2014. – Ч. 1, – с. 430–431
3. Васильев, В.Н., Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам./В.Н. Васильев, И.П. Гуров.– СПб: БХВ, 1998.–22 – 250