

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ

Комаров В.А.

Омский государственный университет путей сообщения, г.Омск

Ключевые слова: погрешность, виброакустический сигнал, контроль, статистические характеристики.

Аннотация. В статье приведена методика определения статистических погрешностей оценок характеристик виброакустического сигнала: математического ожидания, среднеквадратического отклонения и плотности распределения. Статистическая погрешность, наряду с инструментальной и методической погрешностями, оказывает влияние на точность обнаружения дефектов системой виброакустического контроля. Представляется целесообразным использование методики как при настройке системы, указав количество накоплений периодических сигналов для обеспечения заданной статистической погрешности, так и при обработке результатов эксперимента, определив фактическую погрешность оценки характеристик по заданной выборке сигналов.

DETERMINATION OF ERRORS IN EVALUATING SIGNAL CHARACTERISTICS IN CONTROL SYSTEMS

Komarov V.A.

Omsk State Transport University, Omsk

Keyword: error, vibroacoustic signal, control, statistical characteristics.

Abstract. The article presents a method for determining statistical errors in estimates characteristics of a vibroacoustic signal: mathematical expectation, standard deviation and distribution density. Statistical error, along with instrumental and methodological errors, affects the accuracy of defect detection by vibroacoustic control system. It seems appropriate to use the method both when setting up the system, specifying the number of periodic signals accumulations to ensure a given statistical error, and when processing the results of experiment, determining the actual error in evaluating characteristics of given signals sample.

При активном виброакустическом контроле основным носителем информации является упругое колебание. Вследствие затухания по мере его распространения на вход приемника поступает случайный процесс с низким отношением сигнал/помеха. Регистрируемый приемником сигнал оказывается соизмерим либо меньше среднеквадратического отклонения сопутствующих помех. В связи с этим для обнаружения поступающих сигналов вводится операция по увеличению отношения сигнал/помеха. В качестве такой операции используется накопление сигналов. Для классификации изменений в объекте контроля, системой вычисляются статистические характеристики модуля накопленного сигнала: математическое ожидание m , среднеквадратическое отклонение σ , плотность распределения f [1-3]. При оценке данных характеристик возникают статистические погрешности. Статистическая погрешность, наряду с инструментальной и методической погрешностями, оказывает влияние на точность обнаружения дефектов системой виброакустического контроля.

Приведем пример расчета статистических погрешностей на основе результатов натурального эксперимента, проведенного на трубопроводе.

В результате эксперимента получена выборка реализаций виброакустических сигналов конечной длины. Для каждого состояния трубопровода было получено по 1000 реализаций сигналов, длительность каждой реализации составила $T_r=0,1$ с. Имитировались состояния «норма», «шурф», «врезка». Условия проведения эксперимента позволили сохранить записи с незначительной зашумленностью. Вычислим статистическую ошибку оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Приведем формулы [4], связывающие число усреднений сигнала N со статистической ошибкой оценки характеристики:

$$N_m = \frac{1}{\varepsilon_m^2} \left(\frac{\sigma_x}{m_x} \right)^2; \quad N_\sigma = \frac{1}{2\varepsilon_\sigma^2}.$$

Вычислим ошибку оценки характеристик при числе реализаций сигнала $N = 1000$ и оценками характеристик для одной реализации $m_x = 0,113$, $\sigma_x = 0,128$:

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_x}{m_x} \sqrt{\frac{1}{N_m}} = \frac{0,128}{0,113} \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0,035, \quad (1)$$

$$\varepsilon_\sigma = \sqrt{\frac{1}{2N_\sigma}} = \sqrt{\frac{1}{2000}} = 0,022. \quad (2)$$

На основании расчетов (1)-(2) делается вывод, что статистическая ошибка оценки характеристик сигналов натурального эксперимента не превышает 4%.

Вычислим статистическую ошибку оценки плотности распределения. Приведем формулу [4], связывающую число накоплений сигнала N со статистической ошибкой оценки характеристики:

$$N_f = \frac{1}{Wf\varepsilon_f^2}, \quad (3)$$

где W – ширина интервала при построении плотности распределения, f – плотность распределения случайной величины, ε_f – статистическая ошибка оценки плотности распределения.

Получим выражение для ошибки оценки исходя из формулы (3)

$$\varepsilon_f = \sqrt{\frac{1}{WfN_f}}.$$

Проведем расчет ошибки с параметрами $N_f = 1000$, $W = 0,05$, $m_x = 0,113$, $\sigma_x = 0,128$. При этом аналитическое выражение плотности распределения модуля нормально распределенной случайной величины имеет вид [5]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \left[e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x+m_x)^2}{2\sigma^2}} \right].$$

По результатам расчета минимальные статистические ошибки соответствуют амплитудам с наибольшей частотой присутствия в сигнале и составляют $6\% \leq \varepsilon_f \leq 13\%$.

В результате предложена методика определения статистических погрешностей при оценивании характеристик виброакустических сигналов: математического ожидания, среднеквадратического отклонения, плотности распределения. Разработанную методику возможно использовать как при настройке системы, указав количество накоплений периодических сигналов для обеспечения заданной статистической погрешности, так и при обработке результатов эксперимента, оценив фактическую погрешность вычисления характеристик по заданной выборке сигналов.

Список литературы

1. Патент №2626853 РФ. Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки трубопровода и окружающей его среды / Епифанцев Б.Н., Комаров В.А., Нигрей Н.Н., Ищак Е.Р. – №2016135127; заявл. 29.08.2016; опубл. 28.07.2017, Бюл. № 22.
2. Комаров В.А. Модельные исследования влияния внешних факторов на процесс обнаружения дефектов магистральных трубопроводов / В.А. Комаров, Л.А. Денисова // Автоматизация в промышленности. –2019. – №11. – С. 38-43.
3. Комаров, В.А. Обнаружение дефектов магистральных трубопроводов системами виброакустического контроля / В.А. Комаров, А.А. Федотов, Л.А. Денисова // Омский научный вестник. –2019. – №4. – С. 89-96.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М: Мир, 1989. – 540 с.
5. Горяинов В.Т. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи / В.Т. Горяинов, А.Г. Журавлев, В.И. Тихонов. – М.: Советское радио, 1980. – 544 с.

Сведения об авторе:

Комаров Владимир Александрович – аспирант, ОмГУПС, г. Омск.