

Правоторова Е.А., Скворцов О.Б.

Прогнозирование вибрационного состояния сложного технического оборудования

Аннотация: Рассмотрены вопросы применения вибрационного мониторинга для прогнозирования состояния сложного технического оборудования в условиях длительной эксплуатации. Предложены механизмы прогнозирования в условиях немонотонного поведения трендов трендов параметров и использованием локальной эргодичности статистических параметров оценок вибрации.

Ключевые слова: вибрация, мониторинг, прогнозирование, тренд, циклическая прочность, эргодичность, погрешности

Прогнозирование состояния сложного технического оборудования по результатам его вибрационного мониторинга в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13381–1–2016 является одной из задач обеспечения надежной работы и предотвращения аварийных ситуаций. Мониторинг вибрационного состояния роторного оборудования в настоящее время в соответствии с действующими международными и российскими нормативными документами ориентирован на решение задач диагностики [1]. В основу такого мониторинга положено слежение за характеристиками интенсивности вибрации в заданных точках контроля. Случайных характер вибрационных процессов сложного оборудования предполагает использование статистических методов при определении доверительности получаемых оценок [2]. Основным методом прогнозирования дальнейшего поведения оборудования в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13381–1–2016 является оценка трендов оценок параметров вибрации. Данный подход предполагает наличие монотонного поведения функций тренда вибрационных параметров. Кроме статистического разброса таких оценок, связанного со случайным характером процессов вибрации, монотонность изменения параметров может нарушаться из-за изменения режимных параметров работы оборудования, что может быть учтено при анализе поведения параметров [3]. Немонотонный характер изменения параметров вибрации может быть связан и с особенностями развития дефектов в оборудовании, как это,

например, происходит с подшипниками качения. Представленная на рис. 1 зависимость среднего квадратичного уровня интенсивности вибрации по мере развития дефекта может сопровождаться как ростом, так и спадом оценок [4].

Изменения усредненных оценок ограничивает влияние случайных погрешностей. Конечные интервалы анализа при постоянных режимных параметрах не позволяет рассматривать процессы изменения вибрации как единый непрерывный эргодический процесс на всей длительности эксплуатации оборудования. Конечность всех подобных процессов показывает, что абсолютно эргодические процессы не встречаются, но на относительно коротких временных интервалах вибрационные процессы и процессы изменения их параметров можно рассматривать как эргодические и на этих интервалах вибрационные воздействия на оборудования можно считать постоянными.

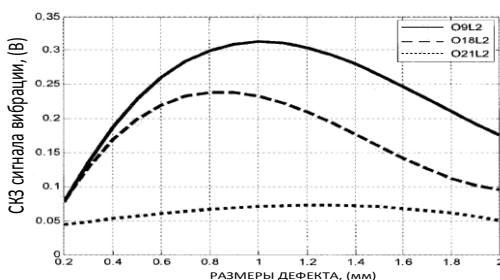


Рис. 1 – Изменение уровня интенсивности вибрации на опорах ротора в процессе развития дефекта

Для таких условий интегральное вибрационное воздействие на оборудование можно рассматривать как последовательность эргодических случайных вибрационных воздействий постепенно приводящих к износу оборудования. Такой износ может происходить относительно равномерно в условиях постоянной непрерывной эксплуатации или неравномерно, если режимы эксплуатации меняются и имеются значительные простои и если реализовано техническое обслуживание оборудования с учетом результатов диагностики по данным вибрационного мониторинга. При этом не является принципиальным, осуществляется ли

обслуживание в режиме планово-предупредительного ремонта или оно выполняется с учетом фактического состояния оборудования. Оценка вибрационных воздействий в виде учета действующих ускорений при этом может быть основана по аналогии с оценками циклической прочности [5].

На каждом локальном временном интервале для эргодических процессов вибрации ранее были получены [6] оценки доверительной вероятности P , точности ε и количества n необходимых выборочных значений в соответствии с выражениями:

$$\varepsilon = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

и

$$n = \frac{t_p^2 \sigma^2}{\varepsilon^2} \quad (2)$$

где t_p – определяется для заданной вероятности из значений нормального распределения;

σ - среднее квадратичное отклонение оценок.

Связь между статистическими параметрами таких оценок показана на рис. 2.

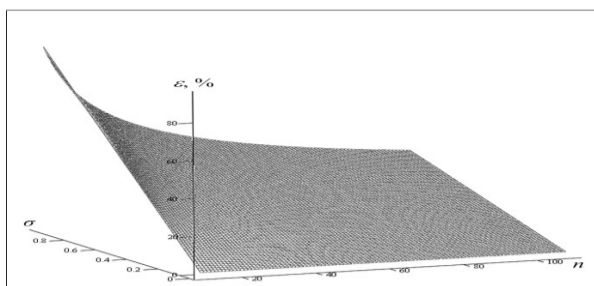


Рис. 2 – Зависимость погрешностей оценки для эргодического процесса от числа n выборок и их средних квадратичных отклонений σ

Кроме усредненных значений интенсивности вибрации при прогнозировании могут быть использованы и другие параметры, характеризующие вибрационные процессы в условиях развития дефектов. К таким параметрам можно отнести эксцесс, пик- и крест- факторы, параметры огибающей и спектров, экстремальные оценки интенсивности вибрации (пиковое значение и размах).

Такие параметры часто оказываются более чувствительными к появлению дефектов и позволяют получить меньшую дисперсию мгновенных оценок, а следовательно, повысить достоверность прогноза.

Такие параметры также являются случайными и, в большинстве случаев, хотя и не обязательно, характеризуются монотонной зависимостью от степени развития дефекта [4], на локальных временных интервалах соответствуют критериям эргодичности.

Практическая реализация прогнозирования системой вибрационного мониторинга предполагает выполнение измерений на продолжительных временных интервалах, накопления данных о таких измерениях в базе данных и последующий их анализ с использованием результатов методов оценки вибрационной прочности для аналогов контролируемого оборудования [7].

В заключении необходимо отметить, что процесс вероятностного прогнозирования связан с оценкой поведения случайных значений и не может быть строго детерминированным. Разброс оценок сопровождается погрешностями в получаемом прогнозе. Такой прогноз формируется с определенной достоверностью, которая не может достигать 100 % точности.

Литература:

1. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
2. Правоторова Е.А., Скворцов О.Б. Использование эргодической теории при решении задач оценки вибрации машин и механизмов // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: Труды [Электронный ресурс] 17-20 июня 2019 г. – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 2786–2790.
3. Pravotorova E. A. Skvortsov O. B. Modelling of vibration tests of winding elements of power electric equipment // Journal of machinery manufacture and reliability. – v.44. – № 5. – 2015. –P.479–484.
4. Rezaei A. Fault Detection and Diagnosis on the Rolling Element Bearing// Ottawa, Ontario. – September. – 2007. – 143 p.
5. Lenk A., Rehnitz J. VEB Verlag Technik. – Berlin, 1974. – 270 p.
6. Правоторова Е.А., Скворцов О.Б. Вопросы точности статистической оценки вибрационных сигналов при использовании эргодической теории // Научные труды 4-ой Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ

РАН, «Живучесть и конструкционное материаловедение» (ЖивКом-2018). – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – С. 222–224.

7. *Скворцов О.Б.* Вибрационная безопасность больших энергетических агрегатов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXVI международной конференции. 19 декабря 2018 г. – М.: ИПУ РАН, 2018. – С. 310–313.