

УДК 620.179.12

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ И ТУРБОАГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУСКА-ВЫБЕГА

П.Ю. БРАНЦЕВИЧ, Е.Н. БАЗЫЛЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 20 января 2015

Основными этапами решения задачи выявления развивающихся дефектов по параметрам вибрации, являются [1, 2]:

- формулирование множества дефектов, требующих обнаружения, для конкретного механизма;
- определение множества информативно значимых признаков (параметров), характеризующих техническое состояние объекта;
- установка базовых значений, соответствующих исправному состоянию исследуемого объекта, для каждого из параметров;
- определение одного или группы информативно значимых признаков для каждого дефекта, по которым можно идентифицировать его развитие;
- выбор решающих функций и определение их настроечных коэффициентов для каждого дефекта.

Важную информацию об изменении технического состояния механизма можно получить путем сравнительного анализа вибрационных характеристик, получаемых с помощью современных систем виброконтроля, при пусках или остановках турбоагрегата [3].

Стандартами предусматривается контроль вибрационного состояния механизмов роторного типа в единицах виброскорости (мм/с) [4]. Однако в большинстве современных систем вибрационного контроля в качестве первичных преобразователей применяются пьезоэлектрические акселерометры, осуществляющие преобразование виброускорения в электрический сигнал, поэтому для перехода к единицам виброскорости требуется интегрировать исходный сигнал.

Для слежения за частотой вращения вала используются датчики, реагирующие на метку, зафиксированную на вращающемся роторе. Сигналы от датчика датчиков вибрации и датчика фазовой метки принимаются синхронно (рис. 1), а затем производится их обработка и вычисляются параметры вибрации [5].

При остановке механизма или при его пуске частота вращения вала изменяется от номинального значения до нуля или наоборот. На рис. 2 показан пример, отражающий изменение СКЗ виброскорости для вертикального направления подшипниковых опор турбоагрегата при стационарном режиме работы и при остановке турбоагрегата. Также часто вычисляют СКЗ или амплитуды частотных составляющих, кратных частоте вращения вала (порядковый анализ) и их начальные фазы [6]. На рис. 3 представлен пример изменения таких параметров.

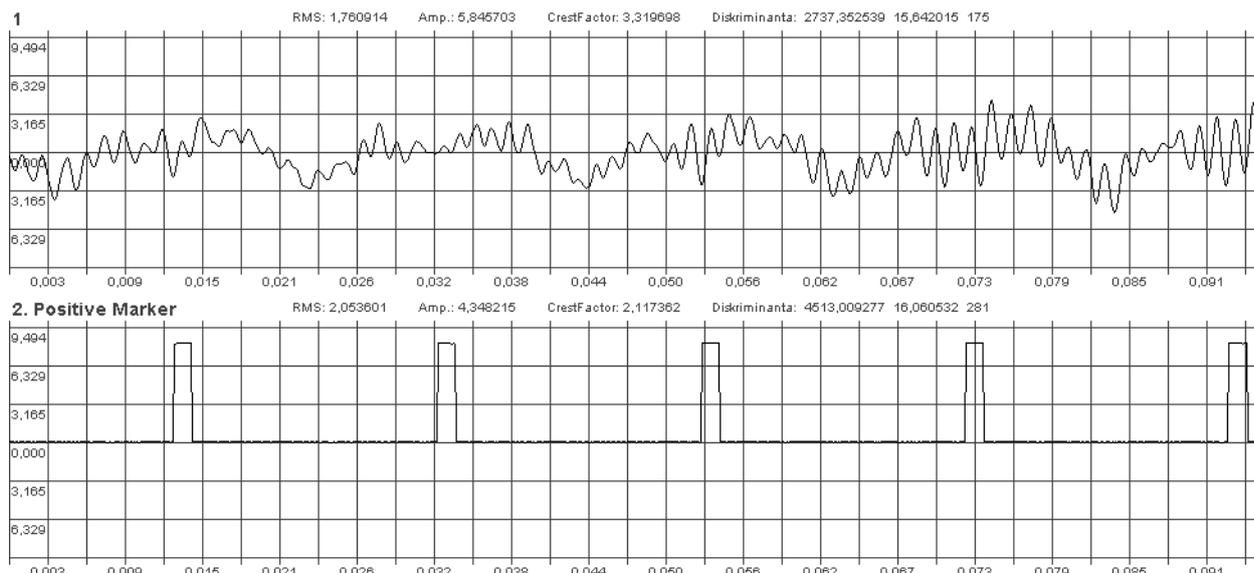


Рис. 1. Сигналы от датчиков вибрации и фазовой метки

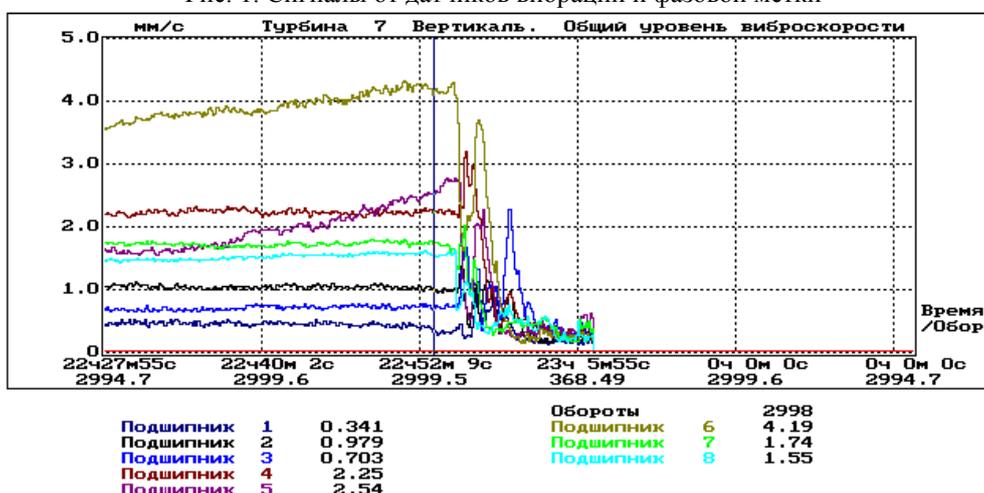


Рис. 2. Изменение СКЗ виброскорости подшипниковых опор турбоагрегата в стационарном режиме работы и при выбеге

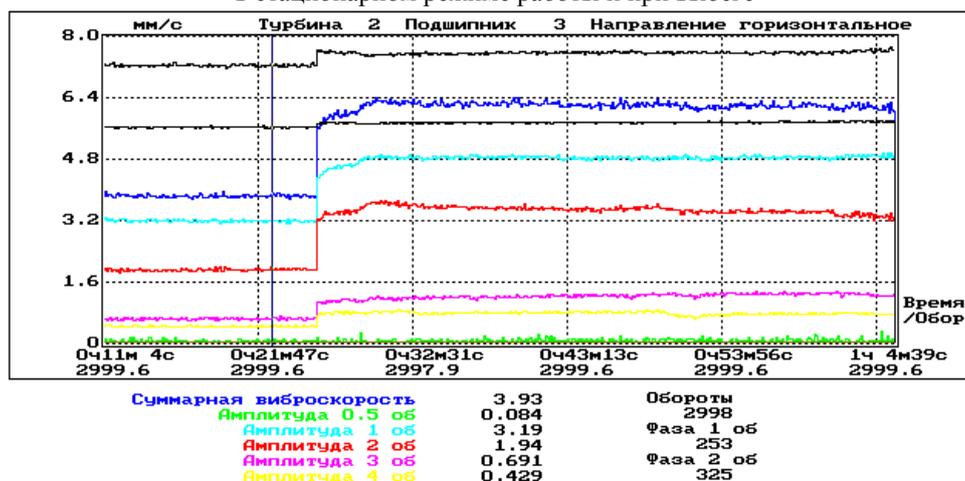


Рис. 3. Изменение СКЗ виброскорости оборотных составляющих вибрации подшипниковой опоры турбоагрегата

На переходном режиме работы можно определить вибрационную характеристику выбега (пуска), представляющую зависимость изменения параметра вибрации (СКЗ или амплитуды, а также начальной фазы) оборотной составляющей от частоты вращения вала. Такие характеристики обычно строятся для единиц виброперемещения (рис. 4, где ось

абсцисс – частота вращения вала в оборотах в минуту). Вибрационные характеристики выбега более точно, по сравнению с характеристиками пуска, отражают вибрационное состояние технического объекта, так как получаются при свободном замедлении частоты вращения ротора.

Вид вибрационных характеристик выбега достаточно разнообразен, причем существенные отличия наблюдаются даже для одноименных подшипников разных турбоагрегатов одного и того же типа. Однако для переходных вибрационных характеристик имеются и некоторые закономерности, например, наличие максимумов (глобального и локальных), которые по форме напоминают параболу, а также плавность изменения характеристик, по крайней мере в какой-то частотной зоне.

Для специалистов в области вибрации интерес представляет изменение переходных вибрационных характеристик, полученных для одного и того же подшипника в разное время, так как их причиной может быть, например, смещение в частотной области значений собственных частот, или изменение величины дисбаланса ротора, или какие-то еще причины.

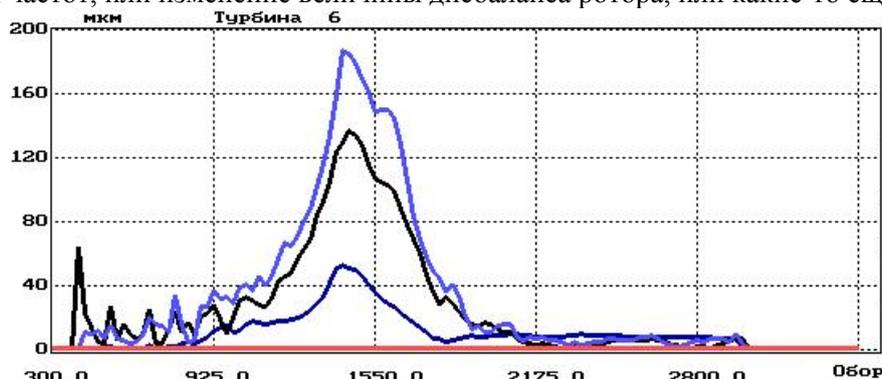


Рис. 4. Вибрационные характеристики выбега для вертикального направления подшипниковой опоры турбоагрегата, полученные в разное время

Но проводить сравнение переходных вибрационных характеристик, полученных непосредственно контрольно-измерительными приборами или системами, может быть достаточно сложно, так как они могут содержать помеховые составляющие и приборные погрешности. Поэтому представляется целесообразным провести аппроксимацию исходных характеристик, а сравнительный анализ выполнять по аппроксимированным характеристикам.

Форма вибрационных характеристик выбега позволяет сделать предположение, что они успешно могут быть аппроксимированы некоторым числом гармонических составляющих, параметры которых вычисляются с помощью дискретного преобразования Фурье. На рис. 5 приведен пример такой аппроксимации двадцатью гармоническими составляющими.

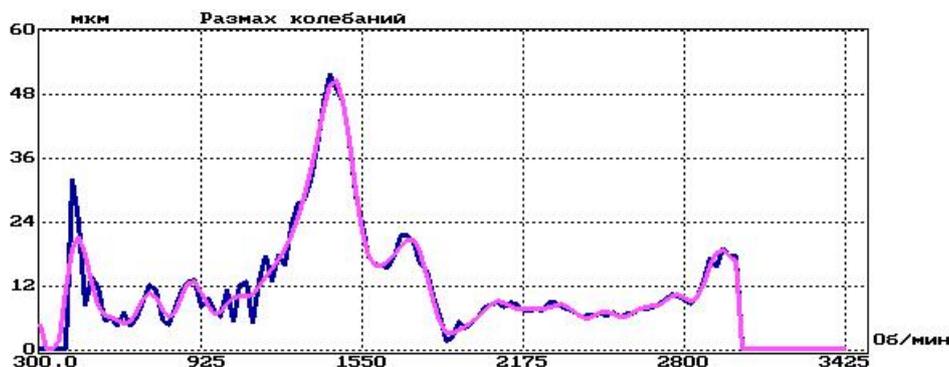


Рис. 5. Аппроксимация вибрационной характеристики выбега

Визуально можно заметить, что аппроксимирующая кривая, полученная с помощью двадцати гармонических составляющих, с практической точки зрения достаточно хорошо представляет исходную вибрационную характеристику выбега, так как наблюдается их близкое совпадение по значению частот и амплитуд, в точках, где фиксируется большинство локальных максимумов, и лишь незначительные отклонения по амплитудам для островершинных локальных экстремумов.

Для реализации алгоритмов сравнительного анализа вибрационных характеристик выбега, следует сформировать для каждой из них массив информативных параметров. Предлагается ряд параметров вычислять для исходной характеристики, а ряд – для аппроксимированной. При выборе типов параметров следует учитывать, что при сравнении характеристик выбега важны различия их амплитуд и форм. Поэтому используются следующие параметры: постоянная составляющая; максимум размаха виброперемещения; частота вращения вала, соответствующая максимуму размаха виброперемещения; коэффициент амплитуды; начальные и центральные моменты от 1-го до 4-го; среднее квадратическое отклонение частоты вращения вала от среднего значения; коэффициент асимметрии; коэффициент островершинности [7].

Для нахождения локальных максимумов и минимумов используются первая и вторая производные аппроксимированной характеристики выбега, а затем производится их упорядочивание по убыванию и возрастанию, соответственно. В алгоритмах сравнительного анализа представляется целесообразным учитывать значения трех-четырех локальных максимумов и двух-трех локальных минимумов. В качестве информативно-значимых параметров также используются амплитуды и фазы первых трех-четырех аппроксимирующих гармоник.

В результате функционирования систем непрерывного вибрационного контроля на достаточно длительном промежутке времени накапливаются данные о вибрационных характеристиках выбега. На этапе предварительной обработки проводится их нормализация и вычисляются векторы информативно-значимых параметров.

Специалист в области вибрационной диагностики, проводя визуальный анализ этих характеристик, может сделать выводы об изменении технического состояния механизма. Но, вместе с тем, актуальной является задача автоматизации процессов такого анализа.

При сравнении характеристик (функций) выбега одна из функций принимается за базовую, а вторая – за сравниваемую. Амплитудные свойства характеристики предлагается оценивать с помощью следующих параметров: амплитуды трех первых (по величине) максимумов аппроксимирующей функции (локальных максимумов); амплитуды четырех первых гармонических составляющих аппроксимирующего разложения; основного максимума.

Форма функции характеризуется такими параметрами: частота максимума функции; частоты трех первых максимумов аппроксимирующей функции; фазы четырех первых гармонических составляющих аппроксимирующего разложения; коэффициент амплитуды; коэффициент асимметрии; коэффициент островершинности.

Заключение о подобии сравниваемых характеристик, базовой и текущей, и формулирование выводов о развитии тех или иных дефектов принимается на основе решающих функций, которые, к примеру, могут иметь следующий вид [8]:

$$FR(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq X_1; \\ 0,25, & \text{если } X_1 < x \leq X_2; \\ 0,5, & \text{если } X_2 < x \leq X_3; \\ 0,75, & \text{если } X_3 < x \leq X_4; \\ 1, & \text{если } X_4 < x; \end{cases} \quad (1)$$

где x – параметр, относительно которого определяется значение решающей функции; X_j – значения пороговых уровней, причем $X_1 < X_2 < X_3 < X_4$. Их количественные значения выбираются на основе экспертных оценок и накапливаемых экспериментальных данных.

В качестве обобщающего, при сопоставлении характеристик выбега, предлагается параметр, вычисляемый в соответствии с выражением

$$r = \frac{d(V_i, V_j)}{A_{\text{прив.},i}}, \quad (2)$$

где $d(V_i, V_j)$ – расстояние по Манхеттену между двумя функциями, базовой V_i и текущей V_j , представленными векторами (массивами) значений, приведенное к одному отсчету и вычисляемое как [9]; $A_{\text{прив.},i}$ – приведенная амплитуда базовой функции.

Применение решающей функции (1) к параметру r позволяет сделать смысловые выводы о степени подобия сравниваемых характеристик. Если $FR(r) < 0,25$, то следует вывод «очень похожи», если $0,25 \leq FR(r) < 0,5$, то – «похожи, но есть и отличия», если $0,5 \leq FR(r) < 0,75$, то – «существенно отличаются», если $0,75 \leq FR(r) < 1$, то – «сильно отличаются», если $1 \leq FR(r)$, то – «совершенно не похожи». На основе значений этих решающих функций делаются уточняющие выводы о подобии сравниваемых характеристик выбега.

Применение рассмотренной системы позволяет автоматизировать процесс обработки вибрационных характеристик выбега, сократить время технических специалистов на принятие правильного решения, расширить функциональные возможности современных виброизмерительных систем.

Список литературы

1. Бранцевич П.Ю. // Труды четвертого международного симпозиума «Интеллектуальные системы». Москва, 2000. С. 244–247.
2. Бранцевич П.Ю. // Матер. междунар. науч.-технич. конф. «Наука и технологии на рубеже XXI века», Минск, 2000. С. 259–264
3. Бранцевич П.Ю., Базылев Е.Н. // Материалы 5-й междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Могилев, 2014. С. 213–215.
4. ISO 10816. Mechanical vibration. Evolution of machine vibration by measurements on non- rotating parts. Part 1–5.
5. Бранцевич П.Ю. // Сб. статей II междунар. заоч. науч.-технич. конф. «Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях», Тольятти, 2014. С. 63–71.
6. Бранцевич П.Ю. // Сб. статей I междунар. заоч. науч.-технич. конф. «Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях». Ч. 2, Тольятти, 2013. С. 236–243.
7. Бранцевич П.Ю. // Энергетика и ТЭК. 2009. № 12 (81). С. 20–23.
8. Бранцевич П.Ю. // Матер. I междунар. конф. «Информационные системы и технологии». Ч. 1. Минск. 2002. С. 117–121.
9. Фор А. Восприятие и распознавание образов. М., 1989.