

05, май 2016

УДК 621.81, 621.822.6

Метод измерений и диагностики подшипника качения

Ружицкая Д.Д., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

Научный руководитель: Комшин А.С., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

bauman@bmstu.ru

По опыту эксплуатации двигателей газовых турбин (ГТД) известно, что одним из компонентов, ограничивающих ресурс двигателей, являются подшипники роторов, отказы которых приводят к авариям на объектах. Поэтому актуальной является задача обеспечения эффективного контроля и диагностики подшипниковых узлов в эксплуатации. Своевременное обнаружение зарождающихся дефектов предотвращает возникновение аварий.

Подшипники качения ГТД, являются одними из наиболее ответственных узлов, определяющих работоспособность и долговечность двигателя. Распределение неисправностей ГТД представлено на рис. 1. По статистике, доля отказов из-за неисправностей подшипникового узла составляет до 40 %.

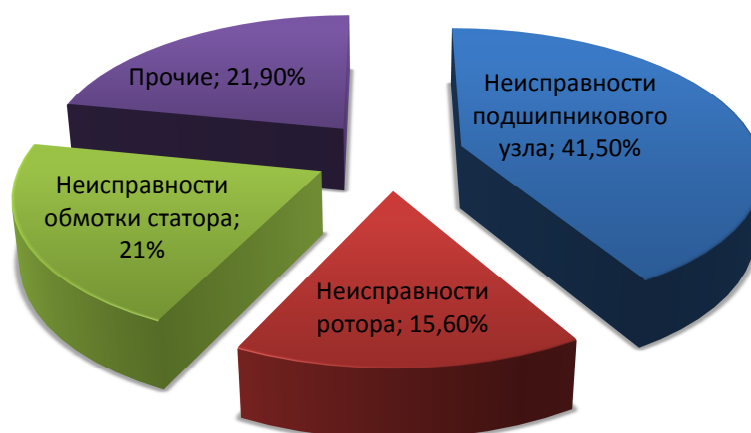


Рис. 1. Виды неисправностей ГТД

При разрушении подшипников качения двигатель необходимо заменить, что значительно сказывается на работе предприятия, так как ремонт двигателя осуществляет завод – изготовитель.

Отличительной особенностью разрушения подшипника ГТД является внезапность, так как подшипник разрушается без видимых признаков разрушения. Это влечет за собой остановку двигателя и, следовательно, потери перекачиваемого газа, не запланированные трудозатраты, связанные с аварийными остановками, сбои в работе компрессорных станций, высокую стоимость ремонта [1].

Указанная особенность, а также её последствия, обуславливают актуальность проблемы раннего диагностирования состояния подшипников ГТД методами безразборной диагностики.

Кроме того, решение проблемы раннего диагностирования подшипников ГТД позволит решить задачу обоснованного прогнозирования сроков безотказной работы двигателей и назначения их гарантийного ресурса при выпуске в соответствии с фактическим состоянием подшипниковых узлов.

В настоящее время для оценки технического состояния подшипниковых узлов широко применяются методы вибрационной диагностики. Вибрационные параметры определяются условиями работы исследуемого объекта. В связи недостаточным метрологическим уровнем результаты измерений не обеспечивают получение информации, достаточной для принятия решений о текущем техническом состоянии диагностируемого объекта в автоматизированном режиме и требуют экспертной оценки, на что затрачивается значительное время [2].

Для получения достоверной информации о техническом состоянии подшипникового узла ГТД необходим системный подход, включающий:

- разработку методов испытаний, построенных на единых научных принципах для всех этапов жизненного цикла объекта;
- применение минимальной номенклатуры измеряемых физических величин;
- создание единого методологического подхода к оценке текущего технического состояния опор качения [3].

Для непрерывного информационно-метрологического сопровождения этапов жизненного цикла машин и механизмов с минимальной номенклатурой измеряемых физических величин (т. е. в едином формате), дает новые возможности применение фазохронометрического метода на базе прецизионного хронометрического анализа фазы рабочего цикла [4].

Предлагаемый подход к обеспечению эксплуатации и диагностики подшипников качения в основе включает измерение интервалов времени, соответствующих перемещению тел качения на одно заданное расстояние и интервалов времени, соответствующих полному повороту вращающегося кольца подшипника или его повороту на заданный угол. При этом формируют ряд из интервалов времени, являющихся разностью между интервалом времени, соответствующим перемещению тела качения, и интервалом времени, соответствующим повороту вращающегося кольца, и сравнивают значения характеристики этого ряда интервалов времени с заданными диапазонами значений. Устройство диагностики включает датчик перемещения тел качения или элементов сепаратора, блок измерения интервалов времени между импульсами, поступающими от датчика, блок анализа рядов интервалов времени, датчик опорного сигнала, соответствующего полному обороту вращающегося внутреннего кольца подшипника.

Схема диагностики подшипника приведена на рис. 2 [5].

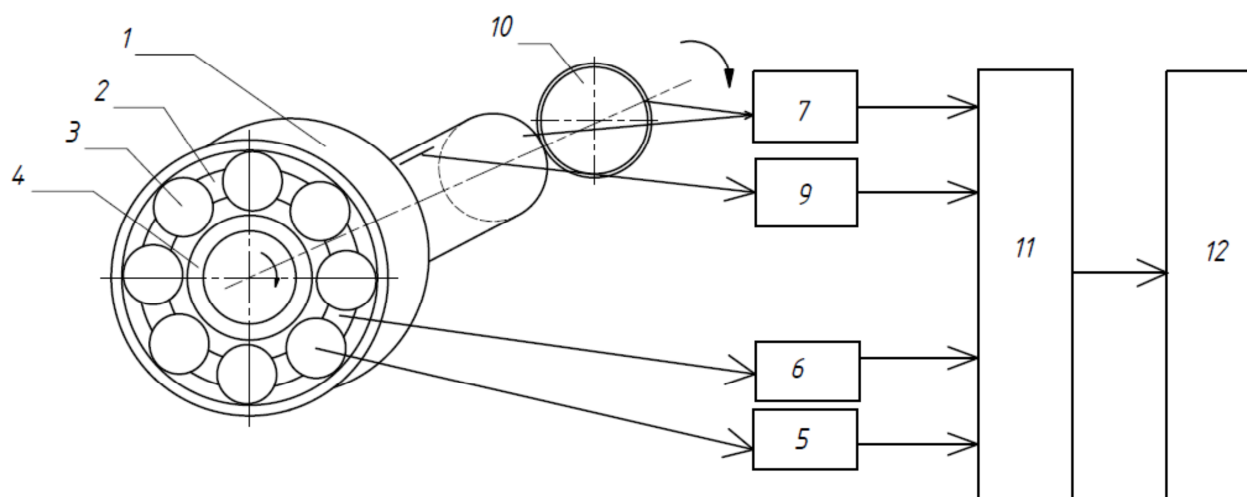


Рис. 2. Устройство диагностики подшипника: 1 – наружное кольцо; 2 – сепаратор; 3 – тела качения; 4 – внутреннее кольцо; 5,6 – датчики движения; 7 – датчик поворота вращающегося внутреннего кольца; 8 – вал; 9 – датчик опорного сигнала; 10 – информационные элемент; 11 – блок измерения интервалов времени; 12 – блок анализа рядов интервалов времени.

Устройство диагностики подшипника качения включает датчики 5 и 6, формирующие электрические импульсы при прохождении перед ними, соответственно, тел качения и элементов сепаратора (например, заклепок сепаратора). В качестве датчиков

5 и 6 могут использоваться, например, оптические, индуктивные, индукционные датчики. Устройство диагностики подшипника качения также включает датчик 7 поворота вращающегося внутреннего кольца 4, установленного на валу 8, и датчик 9 опорного сигнала, соответствующего полному обороту вращающегося внутреннего кольца и открывающего таймер общего счета. Датчик 7 регистрирует прохождение информационных меток, например пазов или штрихов, нанесенных непосредственно на вал 8, или на информационный элемент 10 с метками, размещаемый на вал и жестко связанный с ним. Импульсы от датчиков 5, 6, 7 и 9 поступают в блок 11 измерения интервалов времени между импульсами, где преобразуются в измерительные импульсы, выполняется измерение интервалов времени, их кодирование и передача в блок формирования и анализа рядов интервалов времени 12 [5].

На рис. 3 представлена функциональная схема испытательного стенда для прецизионных исследований процессов деградации опор качения на базе фазохронометрического метода. При вращении подшипника регистрируются интервалы времени, соответствующие углам поворота вала и сепаратора. При подключении дополнительных пьезоэлектрических датчиков, на ЭВМ также будет поступать информация о вибрациях подшипника. В качестве самых информативных параметров можно рассматривать виброперемещение и виброускорение [6].

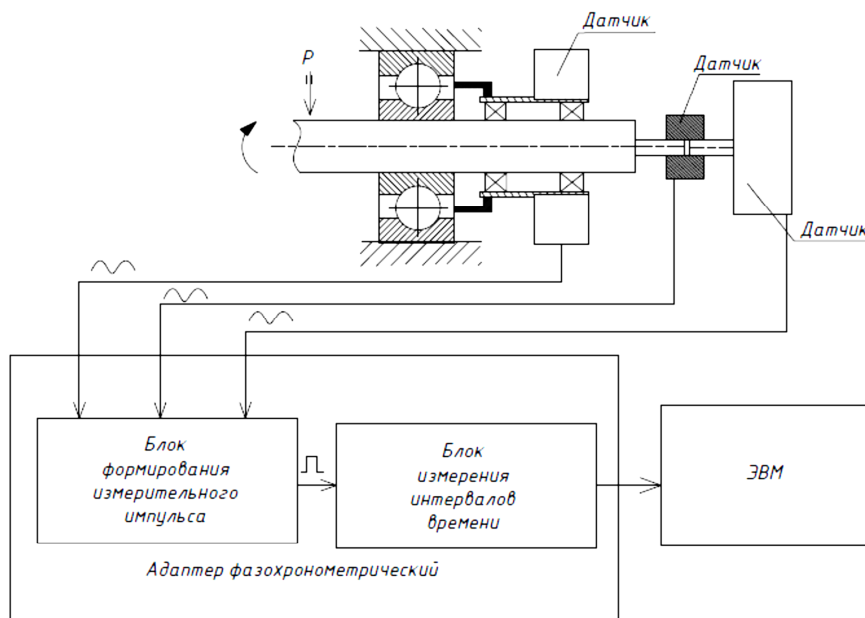


Рис. 3. Функциональная схема испытательного стенда для прецизионных исследований процессов деградации опор качения

Оценку количества информации, получаемой от представленного испытательного стенда можно дать, используя понятие энтропии. Энтропия объекта диагностики определяет степень его незнания и определяется выражением:

$$I_{\text{КДК}}(K) = H(A) - H(A_{\text{НЕДИАГ}}), \quad (1)$$

где $I_{\text{КДК}}(K)$ – количество информации, которое получается о состоянии объекта A ;

$H(A) = \sum_{i=1}^5 P(A_i) \log_2 \frac{1}{P(A_i)}$ – начальная энтропия объекта, которая рассчитывается из

данных эксплуатации о всех возможных диагнозах объекта и вероятностей их появления;

$H(A_{\text{НЕДИАГ}}) = \sum_{i=1}^{N_{\text{НН}}} P(A_i) \log_2 \frac{1}{P(A_i)}$ – энтропия диагностики, для тех состояний, которые не

диагностируются оцениваемым комплексом;

$P(A_i)$ – вероятность, с которой объект может находиться в определенном состоянии [7].

Для оценки информативности полученного комплекса, использованы состояния, представленные в таблице 1. Исследование параметров рабочего цикла несет наиболее полную информацию.

Таблица 1

Состояние подшипникового узла двигателя в эксплуатации

Неисправность	A_i	$P(A_i)$
Разрушение подшипника	A1	0,02
Течь масла	A2	0,01
Заклинивание ротора	A3	0,06
Появление трещины	A4	0,01
Неравномерность вращения	A5	0,12

Результаты оценки информативности по формуле (1) приведены в таблице 2. Оценка метода проводилась с использованием следующих параметров: $H(A)$ – начальная энтропия узла; $I_{\text{Вибр}}$ – информационная ёмкость метода вибродиагностики; $I_{\text{ФХМ}}$ – информационная ёмкость фазохронометрического метода; $I_{\text{совм}}$ – информационная ёмкость совместного применения методов вибродиагностики и ФХМ.

Оценка информационной ёмкости испытательного стенда

$H(A)$	$I_{\text{Вибр}}$	$I_{\text{ФХМ}}$	$I_{\text{совм}}$
0,86 бит	0,5 бит	0,8 бит	0,86 бит

Сравнение показывает, что фазохронометрический способ диагностики обладает большей информативностью, чем вибрационная диагностика, однако оба этих способа не удовлетворяют требованиям идеального испытательного комплекса. Совместное применение этих способов дает возможность оценки всех диагностируемых параметров.

Заключение

1. Разработанный метод является основой для проведения исследований и создания измерительно-вычислительного мониторинга технического состояния опор качения в составе функционирующих объектов на новом метрологическом уровне.
2. Представлена функциональная схема испытательного стенда для прецизионных исследований процессов деградации опор качения.
3. Совместное применение вибродиагностики и ФХМ обеспечивает повышение информационной ёмкости метода в 1,7 раз.
4. Дальнейшее улучшение представленного способа диагностики будет заключаться в создании математической модели, которая позволит автоматизировать процесс диагностики. На рисунке 4 приведен один из результатов математического моделирования, спектр вибрации бездефектного подшипника качения.

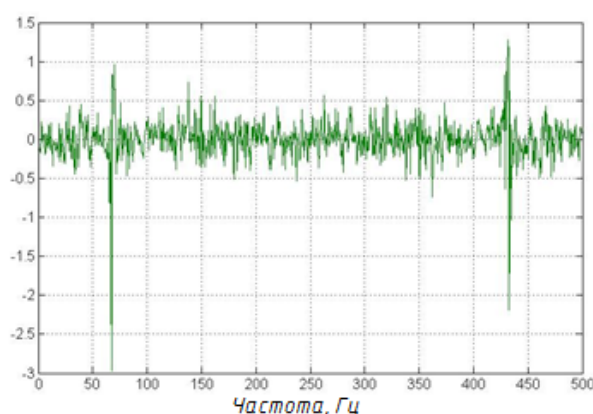


Рис. 4. Расчетный спектр вибрации бездефектного подшипника качения

Список литературы

- [1]. Смирнов В.А. Вибрационная диагностика подшипников качения двигателя НК-12СТ газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3. Режим доступа: <http://www.vibration.ru/12nks/12nks.shtml> (дата обращения 20.12.2015).
- [2]. Киселёв М.И., Пронякин В.И. Перспективы применения фазохронометрии в машиностроении // Одиннадцатая сессия международной научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов». Сборник материалов. СПб.: Art-Xpress, 2013. С. 47 – 49.
- [3]. Киселёв М.И., Пронякин В.И. Проблема точности при метрологическом обеспечении производства и эксплуатации машин и механизмов// Проблемы машиноведения: точность, трение и износ , надежность, перспективные технологии/ Под ред. В.П. Булатова. СПб.: Наука, 2005. С. 7-24.
- [4]. Комшин А.С. Мониторинг оборудования в сфере энергетики – требование безопасности // Стандарты и качество. 2014. №2 (919). С. 24-27.
- [5]. Пронякин В.И., Киселев М.И., Комшин А.С., Кудрявцев Е.А. Способ (варианты) и устройство диагностики подшипника качения: пат. 2536797 Российская Федерация. 2014 Бюл. № 36. С. 1 – 10.
- [6]. Ружицкая Д.Д., Комшин А.С. Обеспечение эксплуатации и диагностика подшипников качения объектов машиностроения // МИКМУС – 2015 (Москва, 2 – 4 декабря 2015: материалы конференции М: Изд-во ИМАШ РАН, 2015. С. 28 – 29.
- [7]. Бирюков Р.В., Киселев Ю.В. Определение информативности контрольно – диагностических комплексов авиационной техники с использованием энтропийной оценки // Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (Одесса, 19-30 марта 2013 г): сб. научных трудов SWorld. Одесса: Издательство Куприенко С.В., 2013. С. 91 – 98.