

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИБРОДІАГНОСТИРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАННЯ

Свиридов В.И.,

Херсонская государственная морская академия,

Абдулаев А.А.,

Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова, г. Севастополь

Определение информативных коэффициентов K_i позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Дальнейшим продолжением в этом направлении является поиск алгоритмов по дополнительной идентификация, когда значения информативных коэффициентов лежат в одной области существования, для различных машин и механизмов.

Ключевые слова: частота вибрации, подшипник.

Актуальность проблемы. В настоящее время автоматизация вибродиагностирования различного оборудования сдерживается главным образом отсутствием соответствующего программного обеспечения. Отсутствие программ, в свою очередь, объясняется не столько сложностью программной реализации определенных методик и алгоритмов вибродиагностирования, сколько их несовершенством и обязательным участием оператора в анализе диагностической информации.

Подшипниковые узлы с подшипниками качения являются неотъемлемой частью большого числа различного оборудования. Спектр вибрации подшипниковых узлов лежит в широком диапазоне частот (от единиц до 20 000 Гц). В связи с этим при использовании прямого спектра вибрации или спектра огибающей (модуляционные характеристики) в диагностических целях приходится идентифицировать частоты их вибрации.

В прямом спектре вибрации всегда присутствуют гармонические составляющие и их гармоники от подшипников качения. В спектре огибающей вибрации подшипников качения наличие гармонических составляющих зависит от качества сборки подшипниковых узлов и глубины появившихся дефектов.

Наиболее сложно автоматизировать процесс идентификации частот вибрации подшипниковых узлов машин и механизмов. Поэтому, в настоящее время различные диагностические системы содержат огромную базу данных по типоразмерам подшипников, чтобы расчетным путем определять их информативные частоты вибрации. Однако в реальных условиях эксплуатации обслуживающему персоналу диагностической системы не всегда удается иметь информацию о типоразмере подшипников, которые установлены на том или ином механизме.

Результаты исследования. Авторы [1] разрешили данную проблему путем введения понятия информативных коэффициентов K_i , которые находятся путем деления информативной частоты вибрации F_i на частоту

вращения сепаратора F_c подшипника, на основании этих данных были рассмотрены все гармонические составляющие вибрации, причиной которых являются подшипники качения, имеют частоты, связанные с частотой вращения внутреннего кольца (ротора) $F_{вр}$ частотой вращения сепаратора F_c подшипника:

$$F_c = \frac{F_{вр} d_{ИК}}{2D_0} (1 - (-\cos\beta)), \quad (1)$$

где $F_{вр} = n/60$, Гц – частота вращения ротора; n – скорость вращения ротора, мин^{-1} ; $d_{тк}(d_{ш})$ – диаметр тел качения, мм; D_0 – диаметр сепаратора подшипника, т.е. диаметр окружности, проходящей через центры тел качения $D_0 = (d+D)/2$, мм; d и D – диаметры внутреннего и внешнего колец подшипника, соответственно, мм; β – угол контакта тел и дорожек качения, град.

Частота контакта точки тела качения с кольцами, Гц:

– наружным

$$F_{нк} = F_c(D_0/d_{тк} + \cos\beta); \quad (2)$$

– внутренним

$$F_{вк} = F_c(D_0/d_{тк} - \cos\beta); \quad (3)$$

–с наружным и внутренним

$$F_{тк} = 2F_c \times D_0/d_{тк}. \quad (4)$$

Частота перекатывания тел качения по наружному кольцу (частота изменения жесткости подшипника), Гц:

$$F_n = F_c \times Z, \quad (5)$$

где Z – число тел качения.

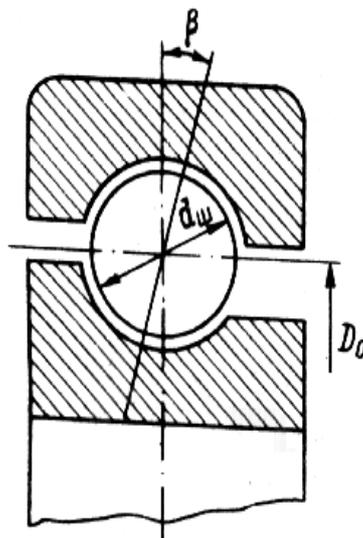


Рисунок 1 – К определению частоты вибрации дефектного подшипника

Частота перекаtywания тел качения по внутреннему кольцу подшипника, Гц:

$$F_v = (F_{вр} - F_c) \times Z. \quad (6)$$

Как видно из формул (1) - (6), исходной базисной характеристикой для расчета информативных частот вибраций подшипников является частота вращения сепаратора F_c или частота вращения ротора $F_{вр}$. Для всех типов подшипников качения соотношения геометрических параметров лежат в довольно узких пределах. Так, например, отношение $d_{тк}/D_o$ находится в пределах 0,17...0,25, а число тел качения обычно $Z = 6 \dots 14$, редко до 22...24. Поэтому значение F_c с достаточной для практики точностью можно рассчитать по упрощенной формуле:

$$F_c = (0,39 \dots 0,42)F_{вр} \sim 0,4F_{вр}. \quad (7)$$

Отсюда границы соотношений между информативными частотами и F_c можно представить в виде коэффициентов (значения коэффициентов уточнены с учетом результатов экспериментов):

$$\begin{aligned} K_{вр} = F_{вр}/F_c &= 2,38 - 2,63; K_H = F_H/F_c = 6 - 14; \\ K_B = F_B/F_c &= 9,31 - 22,4; K_{тк} = F_{тк}/F_c = 8 - 11,9; \\ K_{нк} = F_{нк}/F_c &= 5 - 6,9; K_{вк} = F_{вк}/F_c = 3 - 4,9. \end{aligned} \quad (8)$$

Области изменений значений коэффициентов, за исключением K_H , K_B и $K_{тк}$ не перекрывают друг друга, что позволяет сразу же определить принадлежность различных частот (полос частот) спектрограммы к интервалам изменения области существования соответствующих информативных частот. Для идентификации K_H , K_B и $K_{тк}$ целесообразно использовать устойчивую область изменения значений соотношения:

$$K_B/K_H = 1,3 \dots 1,6. \quad (9)$$

Алгоритм решения задачи выделения информативных частот в исследуемой спектрограмме при вибродиагностировании подшипниковых узлов показан на следующем примере:

При частоте вращения ротора $F_{вр} = 25$ Гц ($n = 1500$ мин⁻¹) снята спектрограмма (см. рис. 2) прямого спектра низкочастотной вибрации подшипника качения типа 8А32320Б1Ш2.

Первый шаг. Определение частот дискретных составляющих вибрации: 10; 25; 36; 50; 65; 119; 140; 200; 220 Гц.

Второй шаг. Расчет частоты вращения сепаратора подшипника и уточнение ее значения по спектрограмме:

$F_c = (0,39 - 0,42)F_{вр} = 9,75 - 10,5$; по спектрограмме $F_c = 10$ Гц.

Третий шаг. Расчет коэффициентов выделенных частот дискретных составляющих вибрации с помощью зависимостей (8):

1; 2,5; 3,6; 5; 6,5; 11,9; 14; 20; 22.

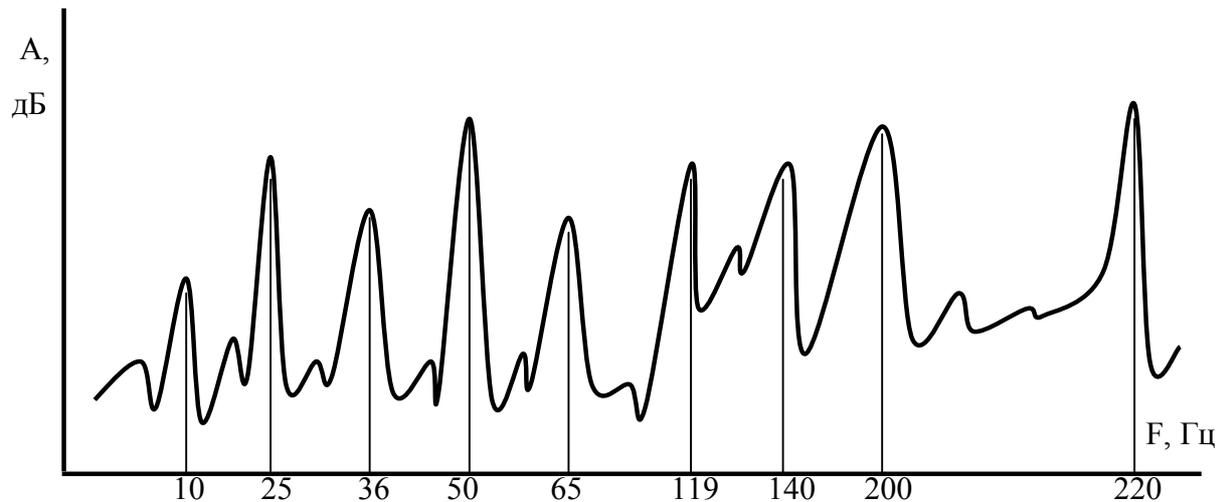


Рисунок 2 – Спектрограмма прямого спектра низкочастотной вибрации подшипника

Четвертый шаг. Сравнение полученных коэффициентов с интервалами их значений, соответствующими областям существования информативных частот, удобно вести в форме таблицы.

Ki	Область существования	Информативная частота
1	1	F_c
2,5	2,38 – 2,63	$F_{вр}$
3,6	3 – 4,9	$F_{вк}$
5,0	–	$2F_{вр}$
6,5	5 – 6,9	$F_{нк}$
11,9	7 – 22,4	$F_{н2}, F_{в2}, F_{нк}$
14,0	9,31 – 22,4	$F_{н2}, F_{в}$
20,0	9,31 – 22,4	$F_{в}$
22,0	9,31 – 22,4	$F_{в}$

Пятый шаг. Дополнительная идентификация коэффициентов 11,9 и 14 с помощью соотношения (9):

$$22 : 11,9 = 1,85 > 1,6; 20 : 11,9 = 1,68 > 1,6, \text{ следовательно, } F_{тк} = 119 \text{ Гц.}$$

$$22 : 14 = 1,57, \quad 1,3 < 1,57 < 1,6;$$

$$20 : 14 = 1,43, \quad 1,3 < 1,43 < 1,6, \text{ следовательно, } F_{н} = 140 \text{ Гц.}$$

Реализация алгоритма требует постоянной исходной информации небольшого объема об интервалах значений коэффициентов, определяющих существование информативных частот, и переменной информации о частоте вращения $F_{вр}$. Такой подход к оценке информативных частот обеспечивает сокращение трудоемкости расчетов и объема исходной информации по сравнению с традиционным методом решения в 5 раз.

Использование интервалов значений полученных коэффициентов для известных типоразмеров подшипников, применяемых на данном оборудовании, и определение соответствующих им областей существования информативных частот позволяет разработать достаточно простые

автоматические вибродиагностические устройства, единственным входным параметром которых будет частота вращения ротора. Схема такого устройства может предусматривать настройку его на определенный типоразмер подшипника. В этом случае точность оценки информативных частот существенно повысится. Желательно иметь следящий фильтр за частотой вращения ротора механизма, так как в реальных условиях эксплуатации оборудования наблюдается значительная ее флуктуация. Разработка таких диагностических устройств открывает широкие возможности для создания стационарных автоматизированных систем вибродиагностической оценки технического состояния подшипниковых узлов.

Усовершенствованный выше алгоритм автоматизированного диагностирования подшипниковых узлов с учетом диагностических признаков дефектов сборки и износа реализован автором в компьютерной программе «Подшипник».

Данный подход (по определению информативных коэффициентов K_i) позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Выводы:

1. Для идентификации частот вибраций требуется единственный входной параметр $F_{вр}$.

2. Данный подход (по определению информативных коэффициентов K_i) позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Перспективным дальнейшим продолжением в этом направлении является поиск алгоритмов по дополнительной идентификация, когда значения информативных коэффициентов лежат в одной области существования, для различных машин и механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулаев А. А., Маркитантов Б. С. Определение информативных частот при вибродиагностике подшипниковых узлов // Судоремонт флота рыбной промышленности. – 1985. – №59. – С. 35-37.

2. Абдулаев В. А., Абдулаев А. А. Вибродиагностирование электрических машин // Проблемные вопросы строительства ВМСУ, развития вооружения и войсковой техники : сб. научных трудов. – Севастополь : СВМИ, 1998. – Вып. №3.

3. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / [А. А. Александров, А. В. Барков, Н. А. Баркова, В. А. Шафранский]. – Л. : Судостроение, 1986. – 276 с.

4. Неразрушающий контроль : Справочник. Т. 7. – М. : Машиностроение, 2005. – 829 с.

5. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин – М. : Машиностроение, 2000. – 344 с.

6. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Рекомендации для пользователей систем диагностики – С.-Пб. : Издательство СПбГМТУ, 2000.

7. Абдулаев А. А. Вибродиагностика и мониторинг энергетических машин АЭС : учебное пособие. – Севастополь : СИЯЭ и П, 1999. – 202 с.

8. Свиридов В. И. Вибродиагностический метод прогнозирования остаточного ресурса судовых машин и механизмов / В. И. Свиридов, Ю. М. Воробьев, А. А. Абдулаев // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : матер. республік. научн.-практич. конф. – Херсон : Видавництво ХГМІ, 2010. – С. 109-111.

Свиридов В.І., Абдулаєв О.А. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Визначення інформативних коефіцієнтів K_i дозволяє повністю автоматизувати процес вібродіагностування будь-якого механізму. Подальшим продовженням у цьому напрямку є пошук алгоритмів по додатковій ідентифікації, коли значення інформативних коефіцієнтів лежать в одній області існування, для різних машин і механізмів.

Ключові слова: частота вібрації, підшипник.

Svyrydov V.I., Abdulaev A.A. AUTOMATION OF POWER PLANTS VIBRO DIAGNOSTICATION

Determination of informative factors K_i helps to automate completely the process of vibro diagnostics of any mechanism. Search of algorithms on additional identification when quantities of informative factors are in one domain of existence, for various cars and mechanisms makes the subject of further study.

Keywords: vibration frequency, bearing.