

ВИБРАЦІЯ

ПОДШИПНИКОВ

КАЧЕННЯ

В общем случае для авиационного ГТД можно выделить **несколько видов источников возникновения вибрации:**

- роторная вибрация;
- вибрация аэродинамического происхождения;
- вибрация, возбуждаемая процессами, происходящими в газоздушном тракте;
- вибрация, возбуждаемая редукторами и зубчатыми передачами;
- вибрация подшипниковых узлов;
- колебания лопаток и дисков компрессора и турбины

Подшипник качения является, пожалуй, наиболее распространенным элементом конструкции любого роторного механизма и, в то же время, наиболее уязвимым элементом. Подшипники осуществляют пространственную фиксацию вращающихся роторов и, следовательно, именно подшипники воспринимают большую часть статических и динамических усилий, возникающих в работающем механизме. Состояние подшипников является важнейшей составляющей технического состояния механизма, его исправности и работоспособности.

Вибродиагностика состояния подшипников качения является в настоящее время одной из наиболее развитых, разработанных областей виброметрии как в теоретическом плане, так и в плане практической аппаратурной реализации.

Пример временного сигнала вибрации подшипника с дефектом



Вибрация подшипниковых узлов

Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения - следствие геометрических погрешностей, зазоров и переменной податливости элементов подшипников. Например, разностенность внутреннего кольца подшипника приводит к вибрации с частотой первой гармоники ротора, овальность – с частотой второй гармоники. Вибрацию вызывают также волнистость беговых дорожек и тел качения, различные размеры тел качения, искажение формы сепаратора. Например, **частота вибраций из-за волнистости колец**

$$f = (D_0 \pm d) \cdot z_{\text{в}} \cdot z_{\text{ш}} \cdot n_c / (2 \cdot D_0 \cdot q),$$

где D_0 - диаметр окружности, проходящей через оси тел качения (шариков или роликов); d - диаметр тел качения; $z_{\text{в}}$ - число волн; $z_{\text{ш}}$ - число тел качения; q - наибольший общий делитель между $z_{\text{в}}$ и $z_{\text{ш}}$; n_c - секундная частота вращения ротора.

При волнистости внешнего кольца ставится знак «+», внутреннего кольца - «-».

При огранке тел качения

$$f = (D_0^2 - d^2) \cdot z_{\text{в}} \cdot z_{\text{ш}} \cdot n_c / (2 \cdot D_0 \cdot d),$$

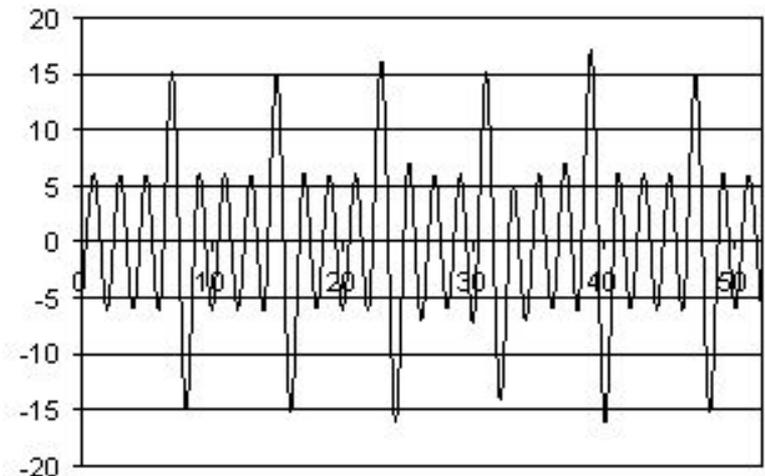
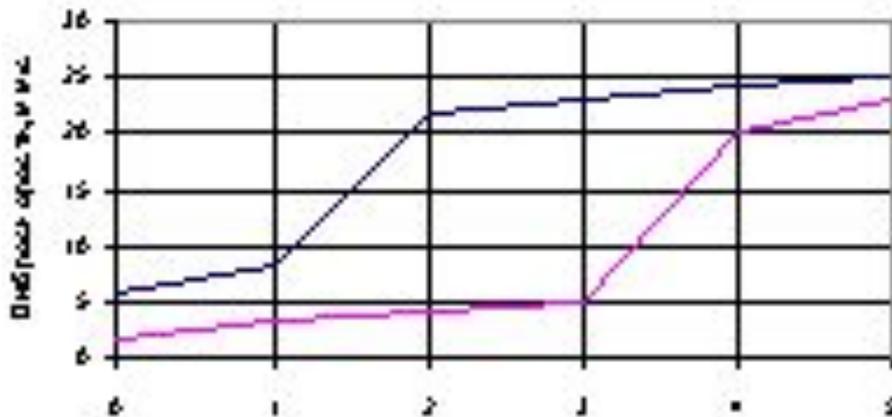
где $z_{\text{в}}$ - число граней на поверхности тела качения.

Вибрация, возникающая **вследствие упругих деформаций** обоймы и переменной контактной податливости из-за неравномерного распределения нагрузки на тела качения, имеет основную частоту, равную частоте прокатывания по внешнему кольцу:

$$f = (D_0 - d \cdot \cos\beta) \cdot z_{ш} \cdot n_c / (2 \cdot D_0),$$

где β - угол контакта.

Амплитуда такой вибрации зависит от соотношения нагрузки и радиального зазора. В рабочих условиях процесс выхода из строя подшипника складывается из последовательного разрушения нескольких элементов: разрушения сепаратора, износа тел качения, проворачивания наружной обоймы в корпусе и т.д. Соответственно этому, процесс разрушения отображается на спектрограммах изменением амплитуд целого ряда составляющих



Вибродиагностика подшипников качения является прекрасной иллюстрацией того, как можно диагностировать один и тот же узел различными методами, основанными на различных вибрационных процессах, генерируемых дефектами этого узла.

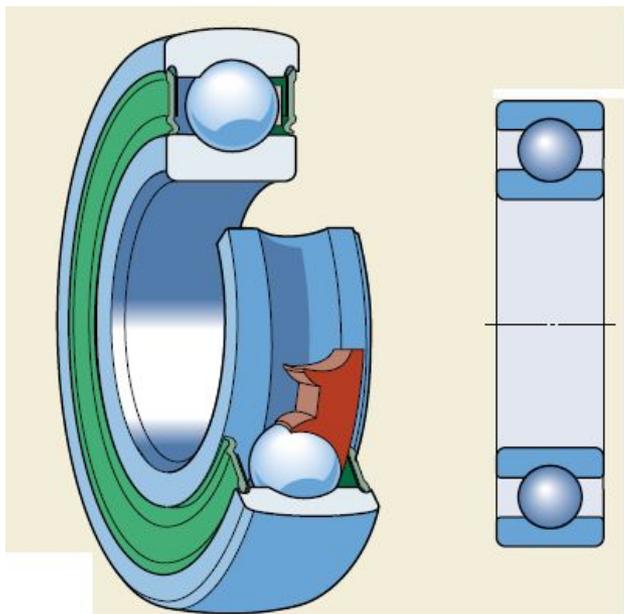
В настоящее время в вибродиагностике используются несколько методов оценки технического состояния подшипников качения:

- **диагностика по общему уровню вибрации;**
- **метод ПИК-фактора;**
- **метод прямого спектра;**
- **метод спектра огибающей.**

Вибродиагностика подшипников качения является прекрасной иллюстрацией того, как можно диагностировать один и тот же узел различными методами, основанными на различных вибрационных процессах, генерируемых дефектами этого узла.

В настоящее время в вибродиагностике используются несколько методов оценки технического состояния подшипников качения:

- **диагностика по общему уровню вибрации;**
- **метод ПИК-фактора;**
- **метод прямого спектра;**
- **метод спектра огибающей.**

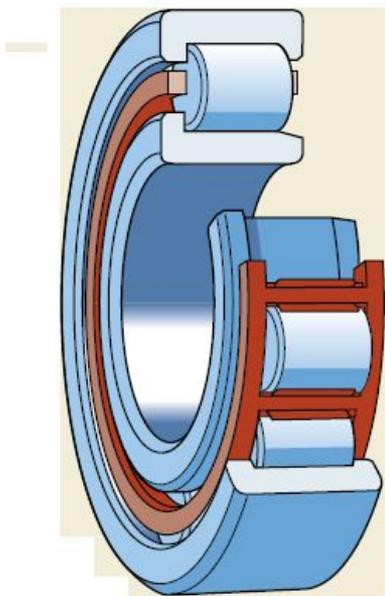


Шариковый подшипник:

число шариков – 10

диаметр шарика – 9,52 мм

диаметр по оси тел вращения – 46 мм



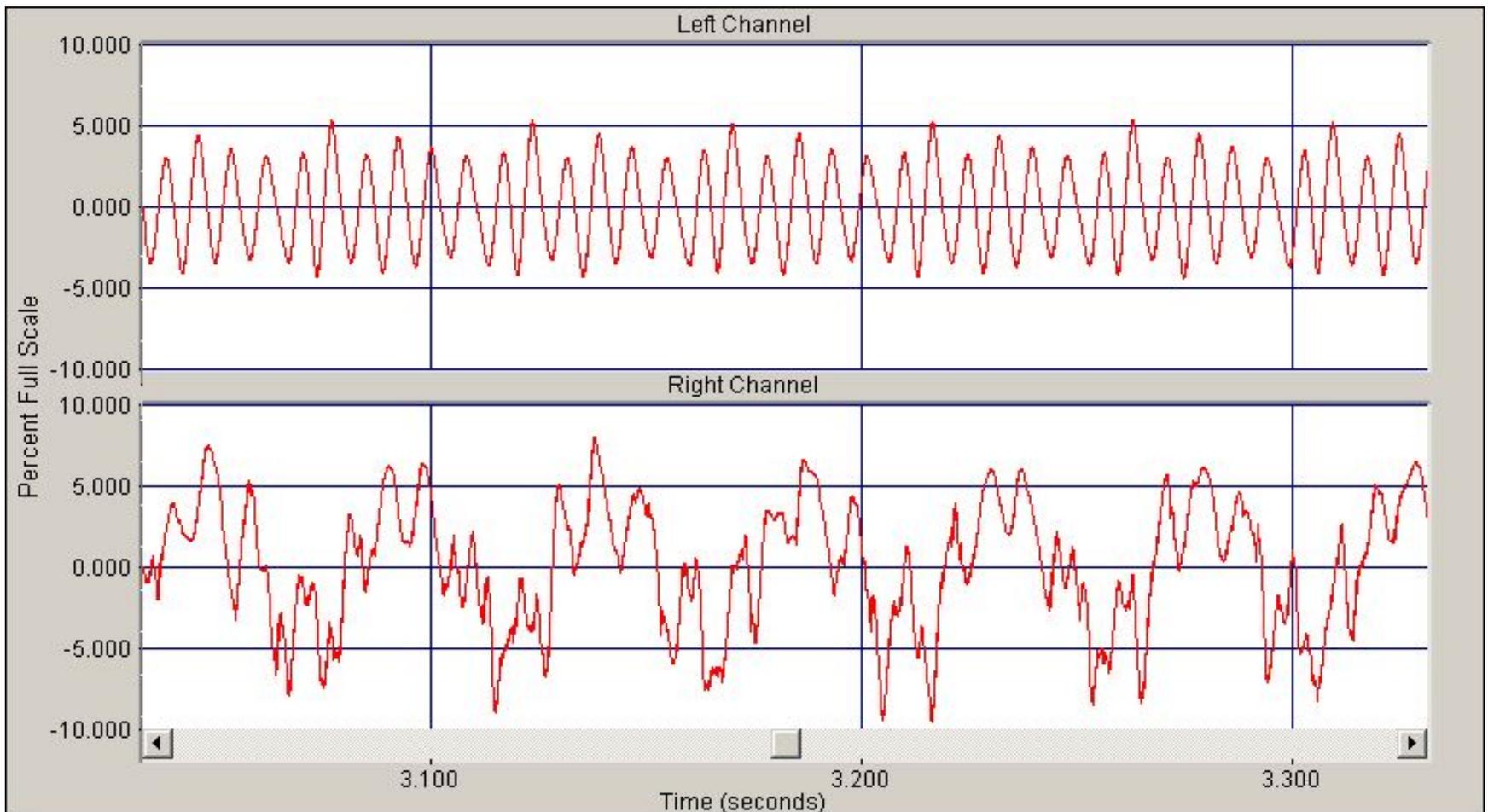
Роликовый подшипник:

число роликов – 10

диаметр ролика – 5,0 мм

диаметр по оси тел вращения – 25 мм

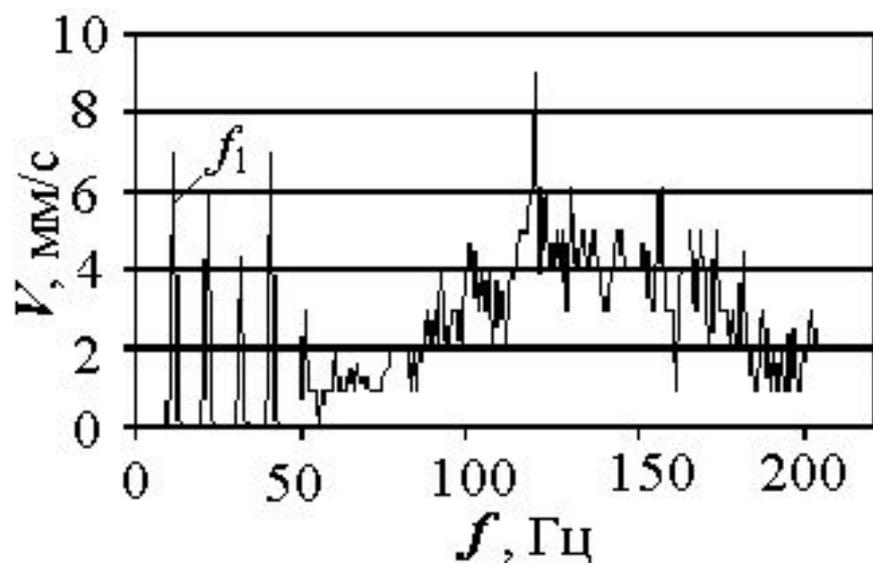
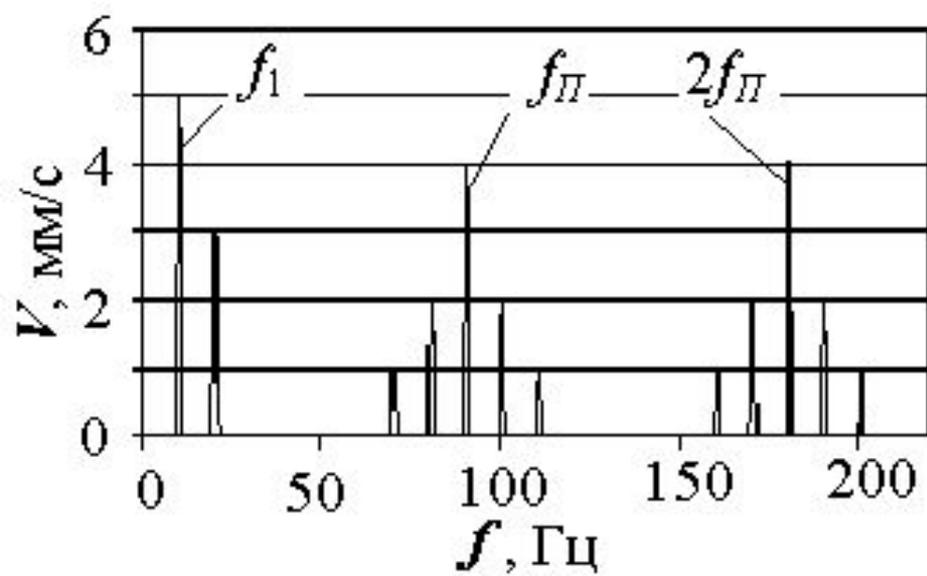
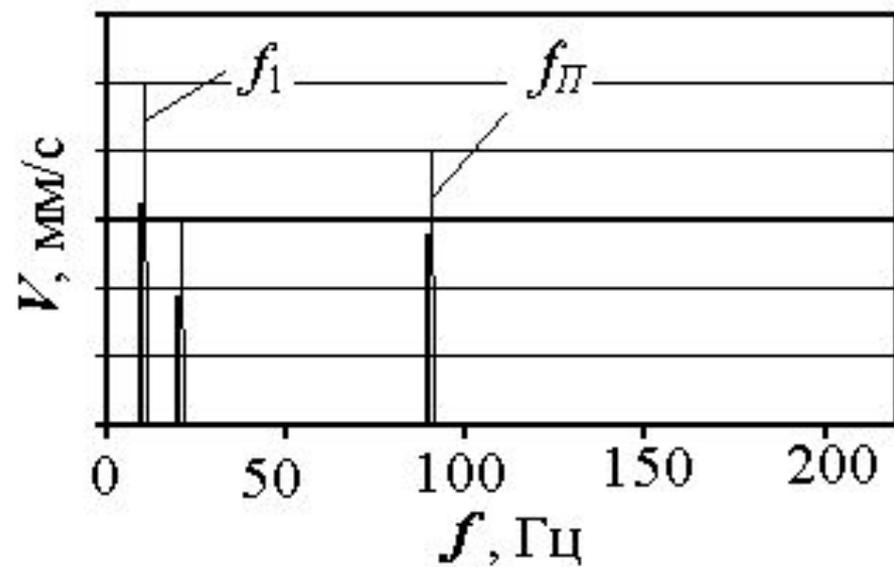
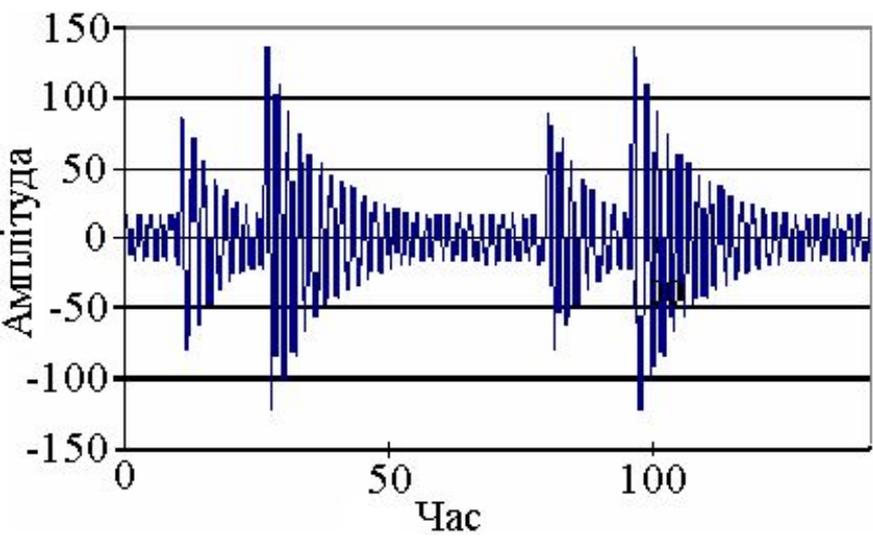
Сигналы с датчика частоты вращения и вибродатчика



Вибродиагностика подшипников качения является прекрасной иллюстрацией того, как можно диагностировать один и тот же узел различными методами, основанными на различных вибрационных процессах, генерируемых дефектами этого узла.

В настоящее время в вибродиагностике используются несколько методов оценки технического состояния подшипников качения:

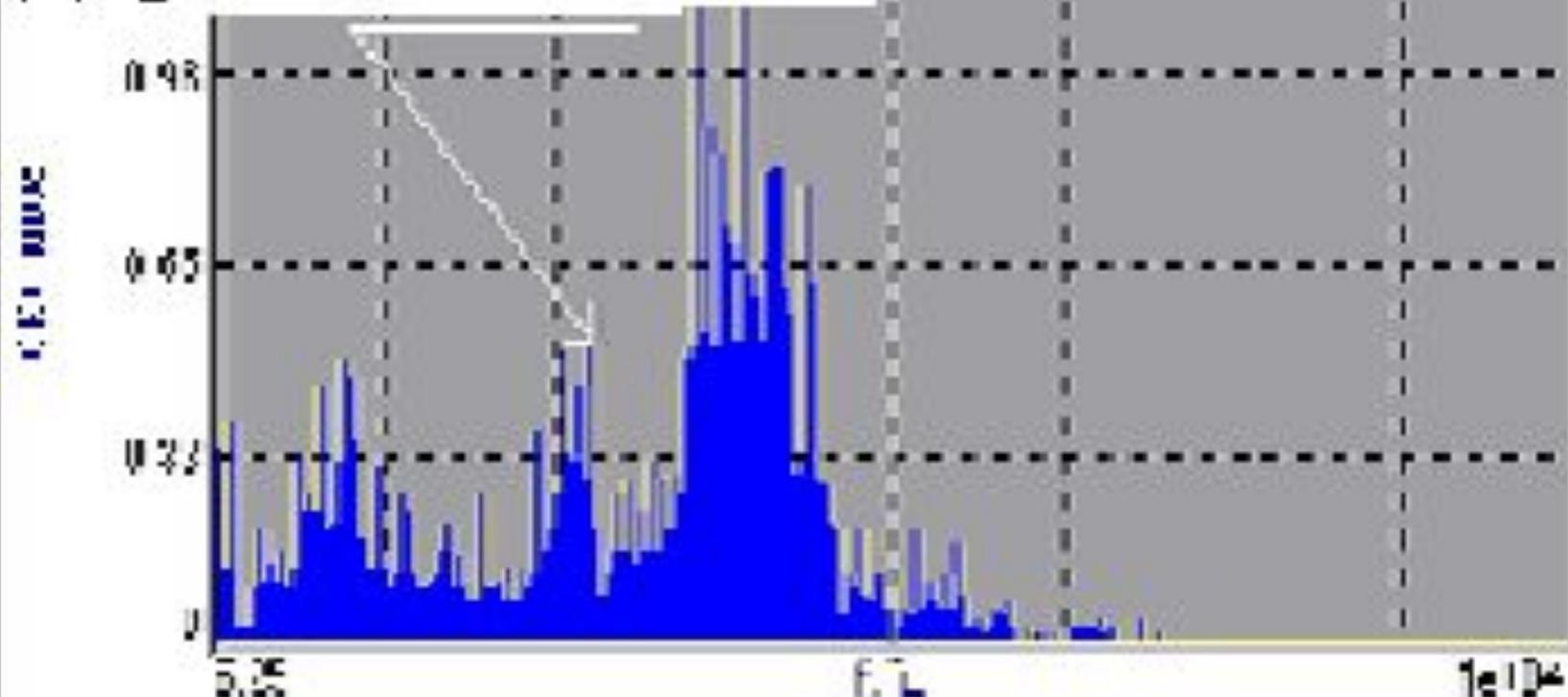
- **диагностика по общему уровню вибрации;**
- **метод ПИК-фактора;**
- **метод прямого спектра;**
- **метод спектра огибающей.**



Г.п.э.тр

ES Шенярун Н ТУРА-ГОРЬЕВМ *0 Т.м.а.а *94 00000 1 10 2001 *8 2 м.а.а БН

Дефект підшипника



1.02

5.1058

← < > →

Частота перекачивания тел качения по внешней обойме
(в иностранной литературе часто обозначается ВРФО)

$$f = n_c \frac{z_T}{2} \left(1 - \frac{d_k}{D_0} \cos\beta \right)$$

Частота перекачивания тел качения по внутренней обойме (в
иностранной литературе часто обозначается ВРФИ)

$$f = n_c \frac{z_T}{2} \left(1 + \frac{d_k}{D_0} \cos\beta \right)$$

Частота сепаратора (FTF)

$$f = \frac{n_c}{2} \left(1 \pm \frac{d_k}{D_0} \cos\beta \right)$$

Частота вращения тел качения (BSF)

$$f = n_c \frac{D_0}{2d_k} \left(1 \pm \left(\frac{d_k}{D_0} \cos \beta \right)^2 \right)$$

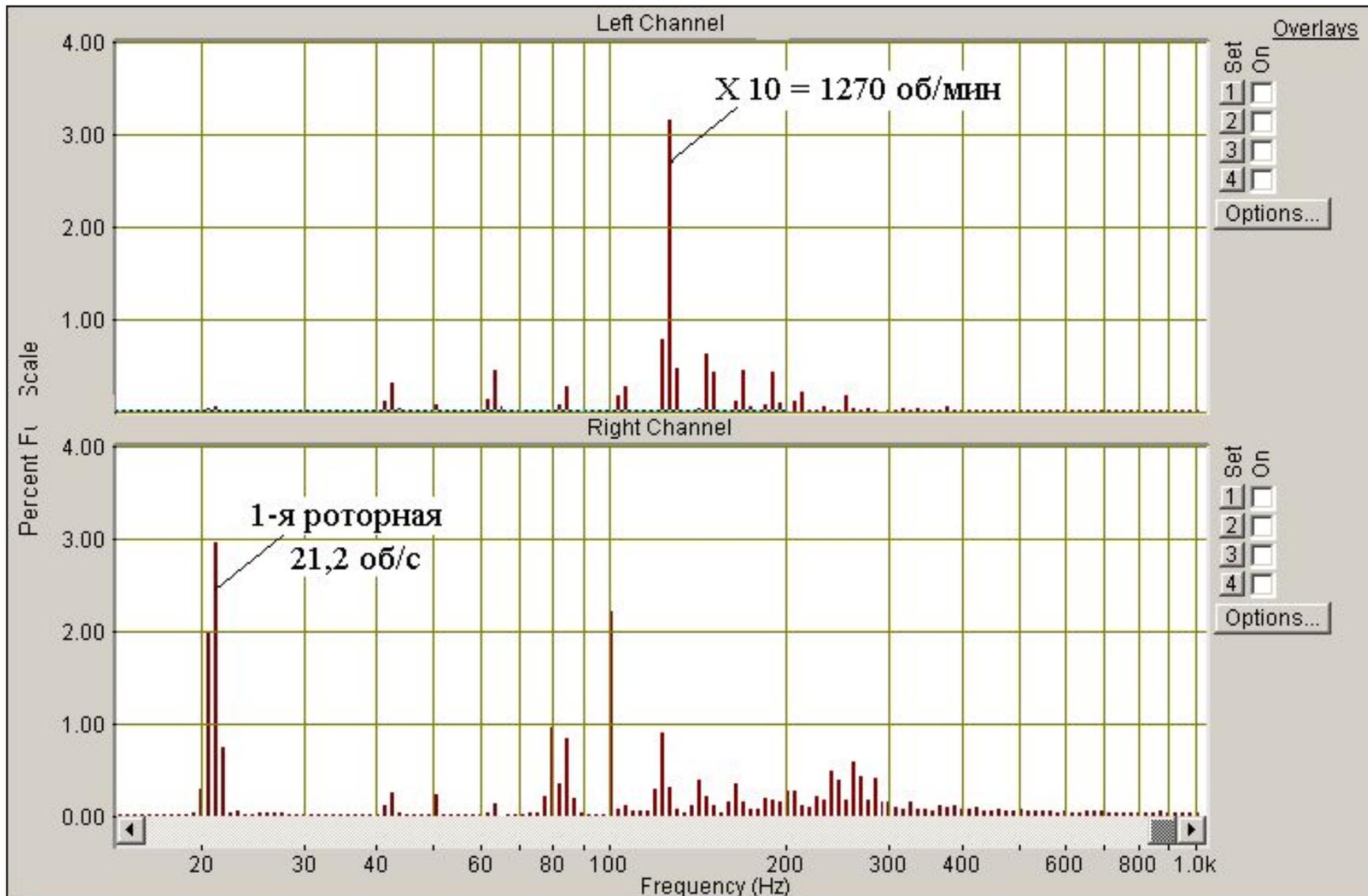
Овальность колец подшипников

$$f = 2n_{с\text{ТК}}$$

Срабатывание сепаратора и увеличение зазоров в гнездах установки тел качения

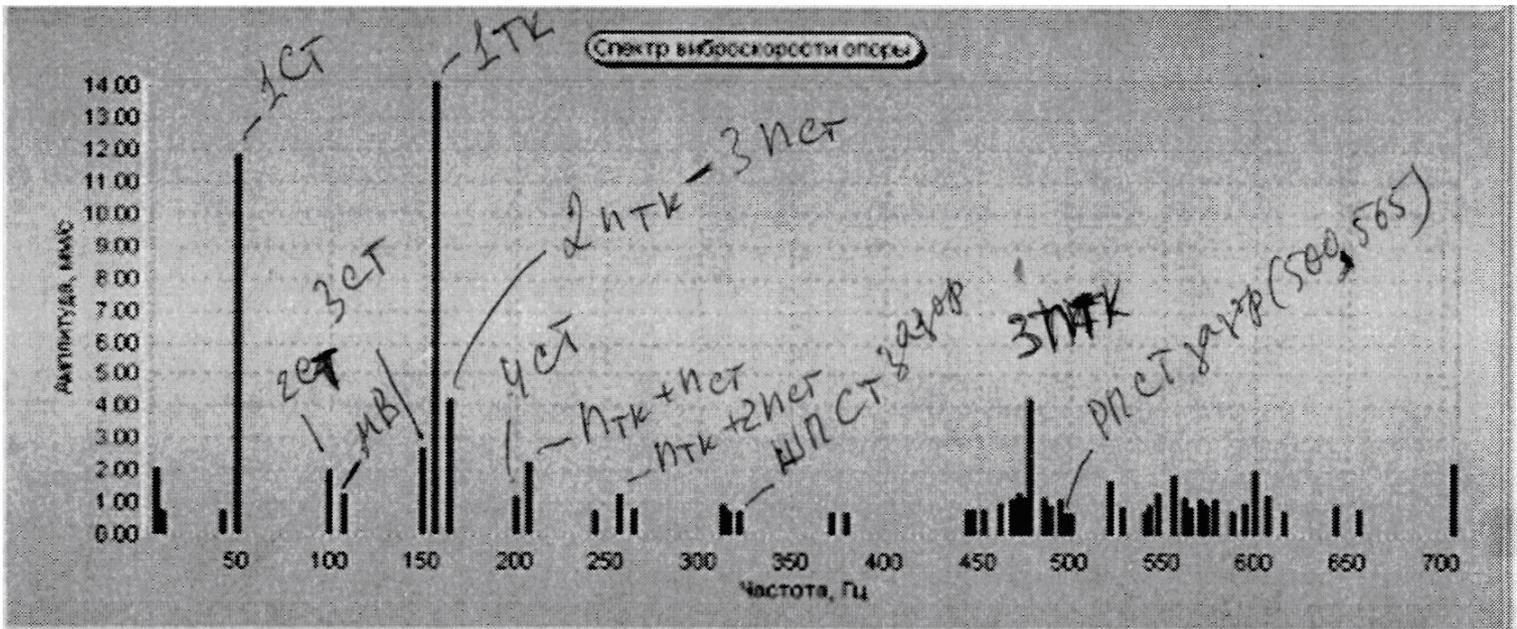
$$f = \frac{n_{с\text{ТК}} i}{2} \left(1 - \frac{d}{D_0} \right)$$

Гармоническое разложение сигналов с датчика частоты вращения и вибродатчика



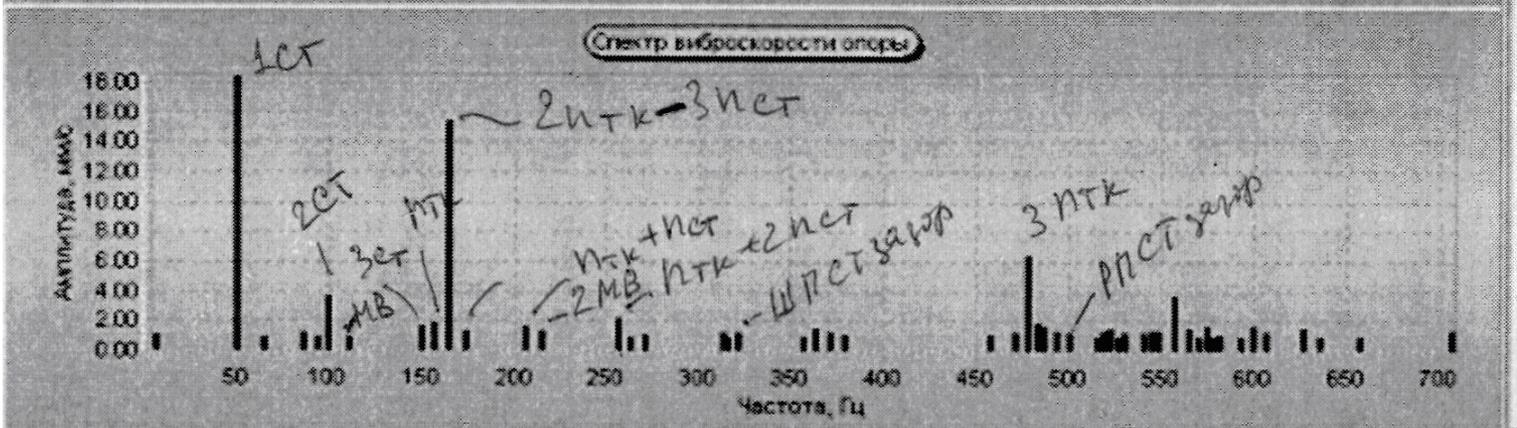
Гармонические составляющие вибраций ПОДШИПНИКОВ





Комп
монитор

Скорость Лог. шкала Спектр 0.00: 0.00 0.00 СКЗ: 0.00 Печать



Комп
регистр

Скорость Лог. шкала Спектр 0.00: 0.00 0.00 СКЗ: 0.00 Печать

Частоты «подшипниковых» вибраций

№ Частота Причина

- 1 ω - неуравновешенность, разностенность и перекос внутреннего кольца
- 2 2ω - овальность внутреннего кольца
- 3 $K\omega$ ($K = 3, 4, 5, \dots$) - некруглость дорожки качения внутреннего кольца
- 4 $\omega_c = K_1\omega$ - неуравновешенность сепаратора
- 5 $Z\omega_c$ - нериодическое изменение жесткости при групповом вращении тел качения
- 6 $K_2\omega Z$ - единичные дефекты на дорожках качения внутреннего кольца
- 7 $K_1\omega Z$ - единичные дефекты на дорожках наружного кольца
- 8 $K_2\omega Zn$ - волнистость n -го порядка дорожки качения внутреннего кольца
- 9 $K_1\omega Z$ - огранка n -го порядка тел качения
- 10 $\omega_{ш} Z_n$ - волнистость n -го порядка дорожки качения наружного кольца

где ω - частота вращения ротора;

ω_c - частота вращения сепаратора;

$\omega_{ш}$ - частота вращения тела качения;

Z - количество тел качения;

n - количество волн, укладываемых по длине окружности дорожки качения

Все эти источники возбуждают и кратные гармоники, но их интенсивность меньше, чем у основных гармоник.

Вибросигналы, возбуждаемые подшипниками, намного слабее прочих вибросигналов, возбуждаемых в ГТД.

На стационарных газотурбинных установках (например, на газоперекачивающих агрегатах) и на поршневых двигателях ротор часто устанавливается на подшипники скольжения (подшипники жидкостного трения). При применении таких подшипников может возникнуть субсинхронная неустойчивость – колебания ротора с частотой, несколько меньшей половины частоты вращения. Самовозбуждение вибрации ротора возникает в этом случае из-за неустойчивости подшипников, известной под названием вихревого движения или биения на масляной пленке. Повышают восприимчивость ротора к субсинхронным неустойчивостям вращение ротора с частотой выше первой критической, высокое выходное давление в компрессоре, слабая нагрузка на подшипники, пульсации давления и акустические резонансы, высокая жесткость подшипников по сравнению с изгибной жесткостью вала, неудачная конструкция уплотнений и т.д. Основное отличие субсинхронных резонансов от роторных вибраций состоит в том, что они не синхронны с частотой вращения ротора и могут возникать в широком диапазоне частот вращения.