

Вибрации и колебания в машинах и механизмах



CSI 2140
Machinery Health Analyzer



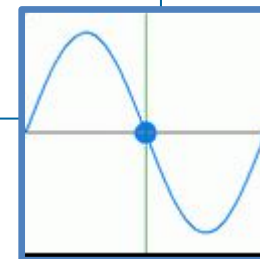
BALTECH
RELIABILITY TECHNOLOGIES

Директор по маркетингу и сбыту, к.т.н. Романов Р.А.

Вибрации и колебания в машинах и механизмах.

Вибрацией - (от лат. vibratio - колебание) называют механические колебания в машинах или механизмах.

Колебание - движение или изменение состояния, обладающие той или иной степенью повторяемости или периодичностью.



Вибрация - эффективный диагностический сигнал

- ✓ колебательные силы возникают непосредственно в месте появления дефекта, а машина «прозрачна» для вибрации
- ✓ вибрация содержит максимальный объём диагностической информации
- ✓ диагностировать можно на месте, без разборки и остановки оборудования

ГОСТ 24346-80

Вибрация: термины и определения

Единицы измерения

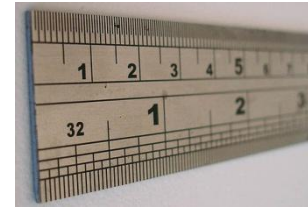


Вибрация – движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин.

Механические колебания – колебания значений кинематической или динамической величины, характеризующей механическую систему

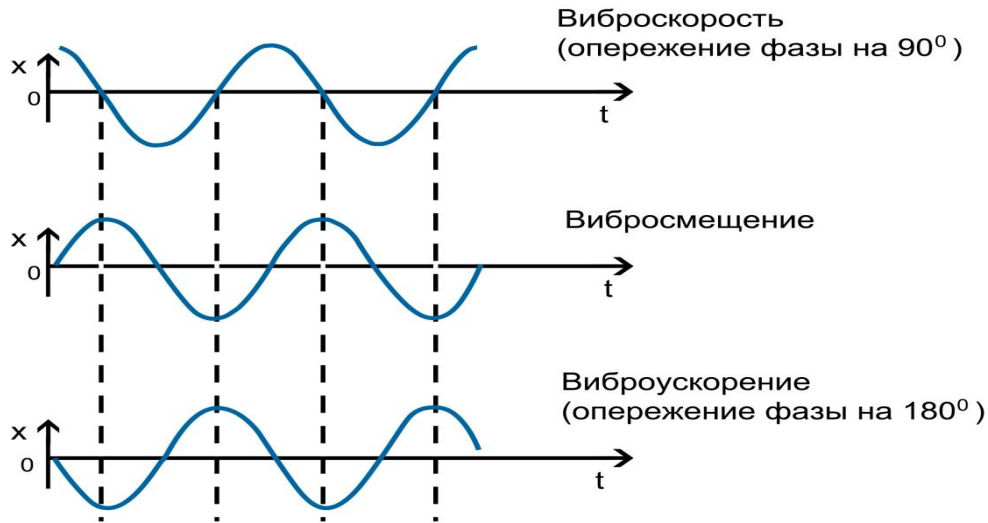
- **Виброперемещение (мкм)** - составляющая перемещения, описывающая вибрацию
- **Виброскорость (мм/с)** - производная виброперемещения по времени
- **Виброускорение (м/с²)** - производная виброскорости по времени

Международные единицы измерения



ИЗМЕРЕНИЕ	ЕДИНИЦЫ		ПРИМЕЧАНИЕ
	ЕВРОПА	США	
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ D	мкм – СКЗ	мил – пик-пик, mils – peak to peak	Перемещение машины, конструкции или ротора связано с <u>напряжением</u>
СКОРОСТЬ V	мм/с – СКЗ (пик)	дюйм/с – пик или СКЗ in./sec – peak or RMS	Скорость движения во времени связана с <u>усталостью</u> узлов машины
УСКОРЕНИЕ A	м/с ² – СКЗ м/с ² (g) – СКЗ	g – пик или СКЗ	Ускорение связано с <u>силами</u> , действующими в узлах машины

Параметры вибрации



$$x \quad \text{Вибросмещение}$$

$$x = dx/dt \quad \text{Виброскорость}$$

$$x = d^2x/dt^2 \quad \text{Виброускорение}$$

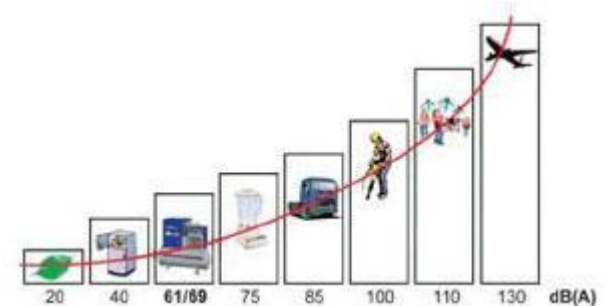
Величины смещения, скорости и ускорения в стандартных международных единицах связаны следующими уравнениями:

$$1 \text{ м/с}^2 = 120 \text{ дБ виброускорения}$$

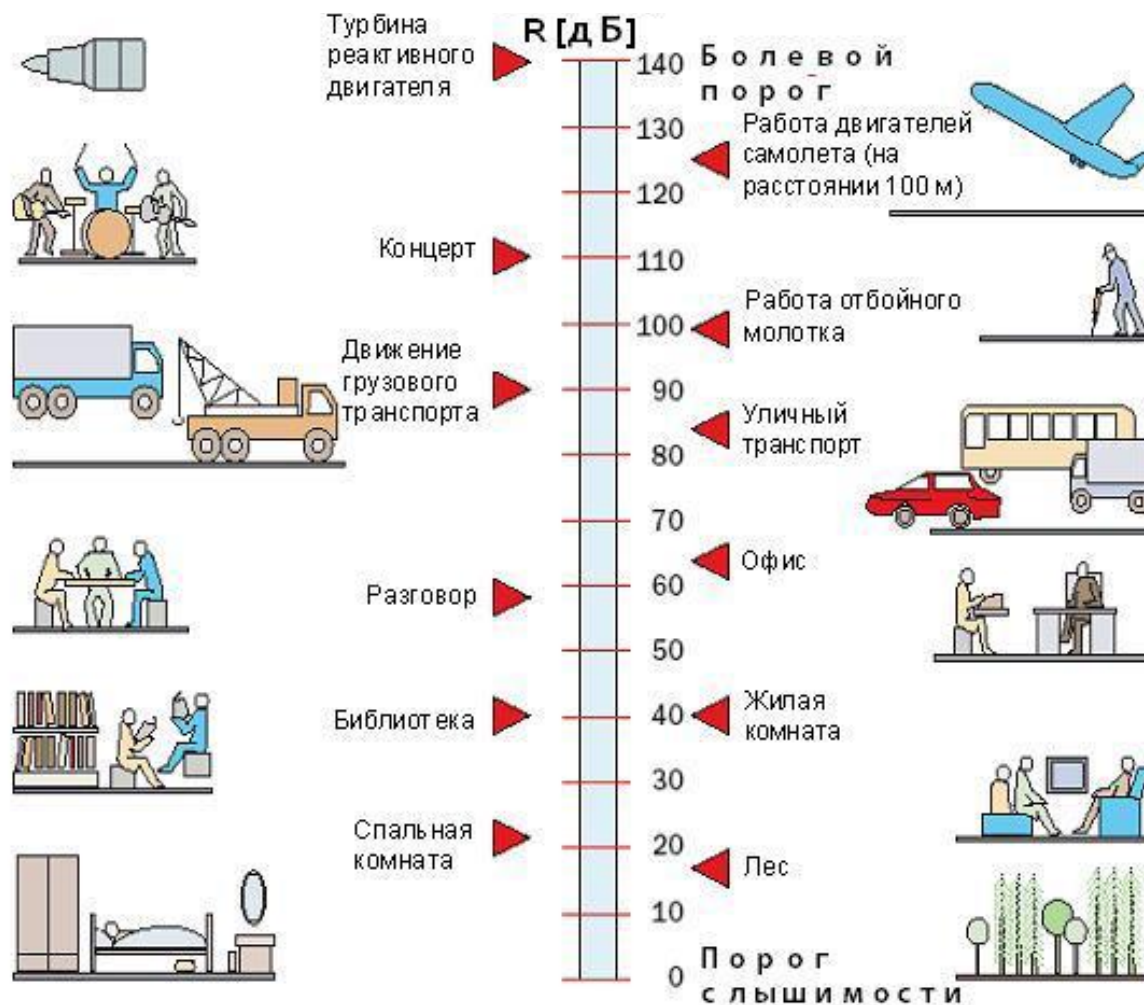
$$1 \text{ мм/с} = 120 \text{ дБ виброскорости}$$

$$1 \text{ мкм} = 120 \text{ дБ вибросмещения}$$

$$20 \text{ Па} = 120 \text{ дБ звукового давления}$$



Сила звука (R, дБ)



Логарифмические единицы

дБ – дециБел = 0.1 Бел
 специальные единицы представления различных физических величин, пришедшие из акустики. Децибелы – аддитивная величина и по определению разница в 20 дБ означает то, что одна величина превышает другую в 10 раз.

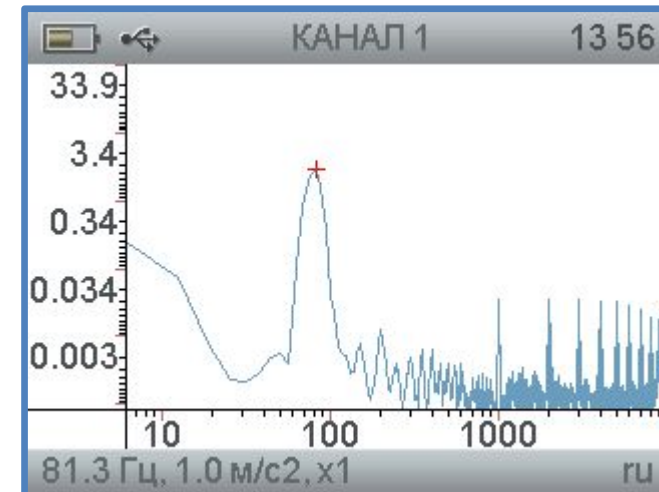
Разность в дБ	коэффициент
1	1.12
3	1.41
6	2
10	3
20	10
40	100

Шкала виброскорости в мм/сек и дБ



Логарифмические шкалы и децибелы

В технической практике часто применяется логарифмическая шкала частоты, обеспечивающая расширение области низких частот и сжатие области высоких частот и, следовательно, идентичное относительное разрешение по **частоте**. Логарифмическая шкала также эффективна при графическом представлении **амплитуд** механических колебаний и к ее преимуществам относится возможность применения относительных единиц при сравнении уровней этих колебаний. Наиболее распространенной относительной единицей, относящейся к логарифмической шкале, является децибел (дБ), определяемый отношением определенного и опорного значений соответствующей величины механических колебаний. Отметим, что для вычисления абсолютных значений из уровней в дБ необходимо определение соответствующего опорного значения.



Определение уровней в дБ

Отношения амплитуд:

$$N(\text{дБ}) = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{a_0} \right)$$

Измеренное значение (под a)
 Опорное значение (под a_0)
 Число децибелов (под $N(\text{дБ})$)

Опорные значения для определения уровней в дБ (ИСО 1683)

Отн. амплитуд	Величина	Определение	Опор. значение
	Уровень ускорения	$L_a = 20 \log_{10}(a/a_0)$ дБ	$a_0 = 10^{-6}$ м/с ²
	Уровень скорости	$L_v = 20 \log_{10}(v/v_0)$ дБ	$v_0 = 10^{-8}$ м/с
	Уровень силы	$L_F = 20 \log_{10}(F/F_0)$ дБ	$F_0 = 10^{-6}$ Н

Уровень виброскорости в дБ обозначают как $V_{дБ}$, и определяют его следующим образом:

$$L_v = 20 \lg (V/V_0), \text{ или } L_v = 20 \lg \{V/(5 \times 10^{-8} \text{ м/с})\}$$

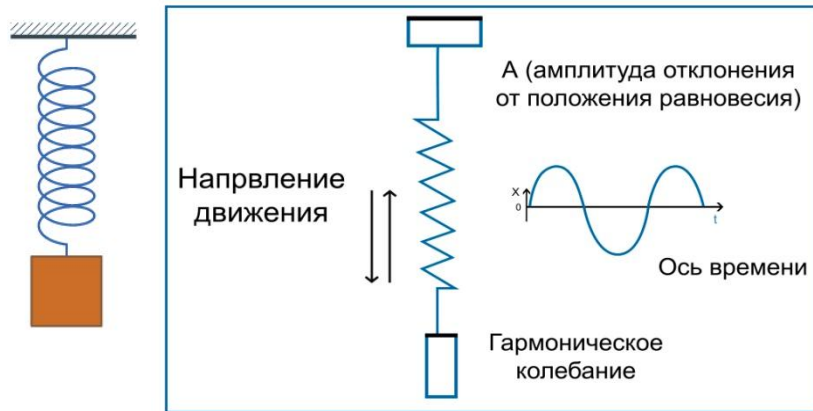
Опорный уровень в 10^{-9} м/с достаточен для того, чтобы все измерения вибраций машины в децибелах были бы положительными. Указанный стандартизованный опорный уровень соответствует международной системе СИ.

Однако он признается в качестве стандарта не во всех странах. Например, в США в качестве опорного берется значение 10^{-8} м/с. Это приводит к тому, что американские показания для той же виброскорости будут на **20 дБ** ниже, чем в СИ.

В российских стандартах используется опорный уровень виброскорости 5×10^{-8} м/с, поэтому российские показания L_v еще на **14 дБ** ниже американских.

Таким образом, децибел - это логарифмическая относительная единица амплитуды колебаний, которая позволяет легко проводить сравнительные измерения. Любое увеличение уровня на **6 дБ** соответствует удвоению амплитуды, независимо от исходного значения. Аналогично, любое изменение уровня на **20 дБ** означает рост амплитуды в десять раз.

Вибрация - это механические колебания тела.



Простейшее гармоническое колебание

Самый простой вид *вибрации* - это колебание или повторяющееся движение объекта около положения равновесия. Этот тип вибрации называется *общей вибрацией*, потому что тело перемещается как единое целое и все его части имеют одинаковую по величине и направлению скорость. Положением равновесия называют такое положение, в котором тело находится в состоянии покоя или положение которое оно займет, если сумма действующих на него сил равна нулю

Колебательное движение твердого тела может быть полностью описано в виде комбинации шести простейших типов движения: поступательного в трех взаимно перпендикулярных направлениях (x , y , z в декартовых координатах) и вращательного относительно трех взаимно перпендикулярных осей (Ox , Oy , Oz). Любое сложное перемещение тела можно разложить на эти шесть составляющих. Поэтому о таких телах говорят, что они имеют шесть степеней свободы.

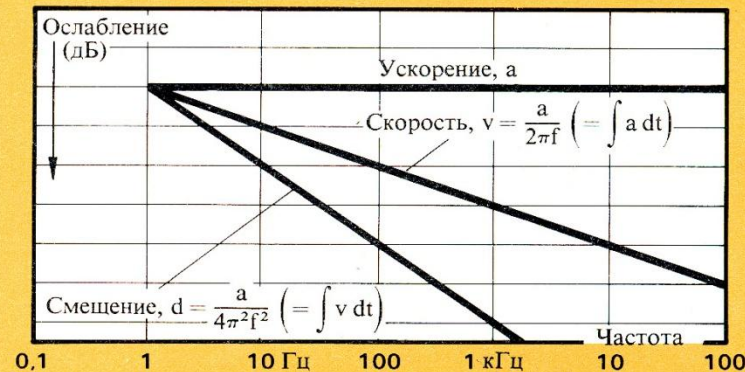
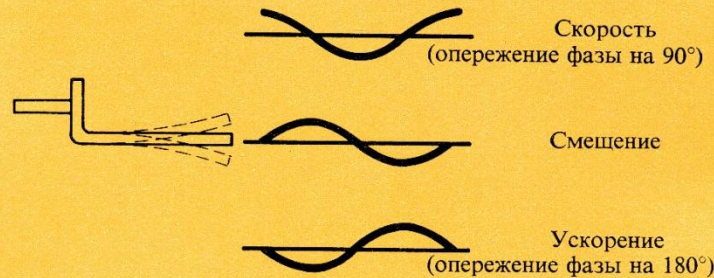
Параметры вибрации

Перемещение – контроль низкооборотных механизмов

Виброскорость – мониторинг, нормы вибрации широкого класса механизмов.

Конструкционные дефекты

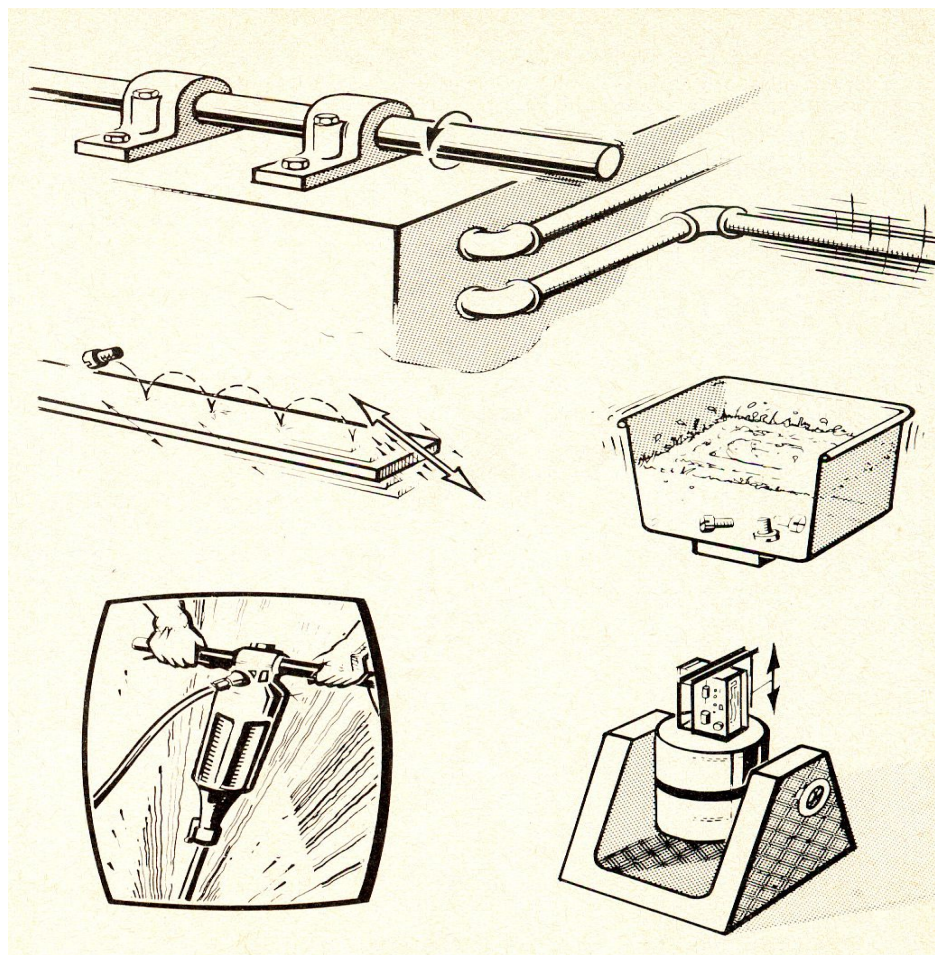
Ускорение – контроль и диагностика подшипников, высокооборотные машины



Единицы по рекомендации ИСО 1000

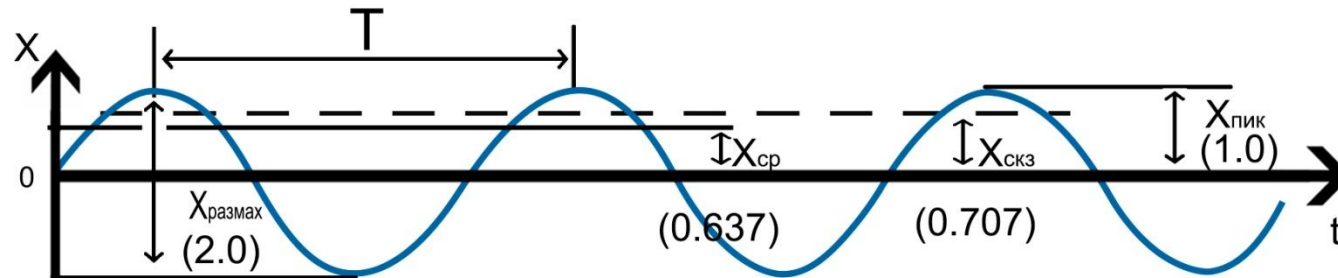
Смещение	м, мм, мкм
Скорость	м/с, мм/с (мс^{-1} , ммс^{-1})
Ускорение	м/с^2 (мс^{-2}) (Примечание: $1 g = 9,81 \text{ м/с}^2$)

Вибрация в технике



Колебательные силы в механизмах.

СИЛА	ИСТОЧНИК
1. МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ	
Центробежная	Неуравновешенность ротора
Кинематическая	Неровность поверхности
Параметрические	Флуктуации жесткости вала, подшипников и т.д.
Силы трения	Узлы трения качения и скольжения
Удары	Дефектные поверхности трения
2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ	
Магнитные	Флуктуации объёма воздушного зазора в магнитопроводе
Электродинамические	Переменные составляющие тока или потока
Магнитострикционные	Эффект магнитострикции в железе
3. ГИДРО (АЭРО) ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ	
Подъёмные (обтекания)	Движение лопасти в неоднородном потоке или группы неодинаковых лопастей в однородном потоке
Силы трения	Граница потока и неподвижных частей
Пульсации давления	Турбулентность потока, срыв вихрей, кавитация



Период колебаний - наименьший интервал времени, через который при периодических колебаниях (вибрации) повторяется каждое значение колеблющейся величины (характеризующей вибрацию). В зависимости от быстроты колебаний, период измеряют в секундах или миллисекундах.

Частота колебаний - величина обратная периоду, определяет количество циклов колебания за период, она измеряется в герцах (1Гц= 1/секунду). Когда рассматриваются вращающиеся машины, то частота основного колебания соответствует частоте вращения, которая измеряется в об/мин (1/мин) и определяется как:

T - период колебаний.

F - частота колебаний, $= 1/T$.

$$\omega = F \times 60,$$

где F - частота в Гц, т.к. в минуте 60 секунд.

Соотношения между параметрами

Номограмма

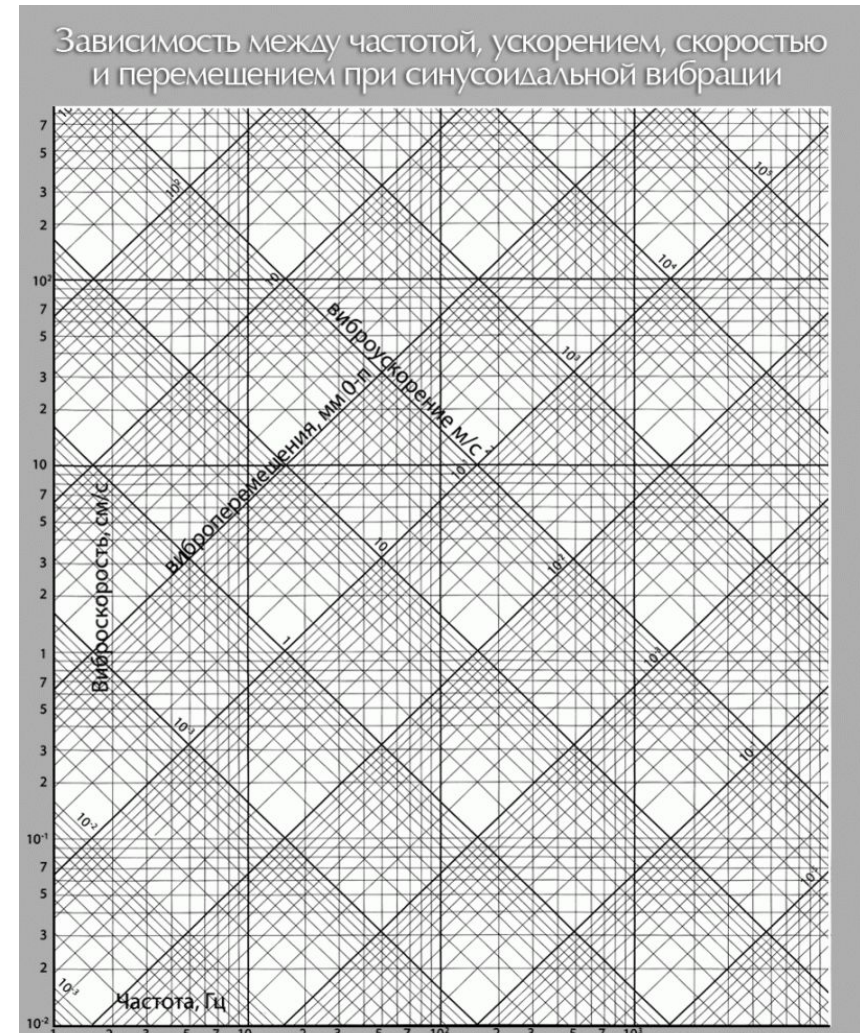
Соотношения для синусоидальной вибрации между перемещением, скоростью и ускорением

- $S = S_m \sin(\omega t)$
- $V = S_m \omega \cos(\omega t)$
- $A = -S_m \omega^2 \sin(\omega t)$

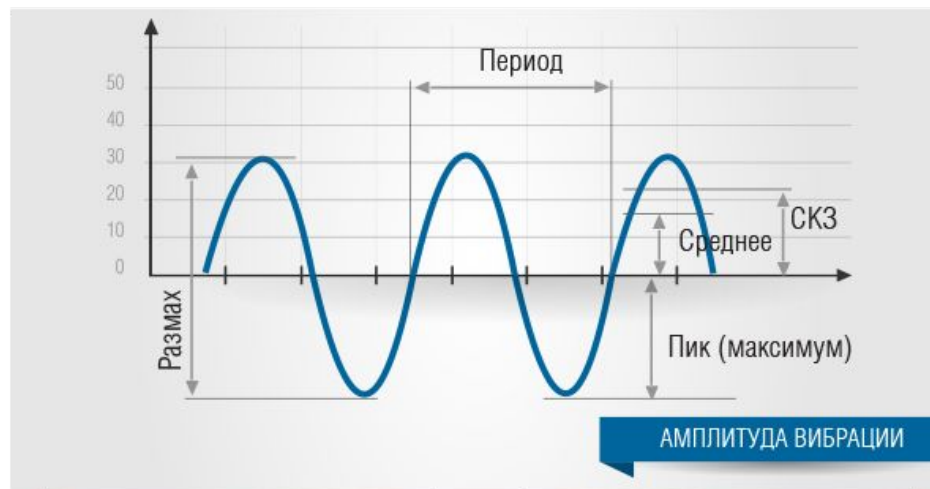
где $\omega = 2\pi F$ – угловая частота

Пример.

На частоте 50 Гц перемещению $S=1\text{мм}$ соответствует скорость $V=31\text{см/с}$ и ускорение $A=99\text{м/с}^2$.



ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИИ



Для описания и измерения механических вибраций используются следующие понятия:

Максимальная Амплитуда (Пик) - это максимальное отклонение от нулевой точки, или от положения равновесия. ($X_{\text{пик}}$)

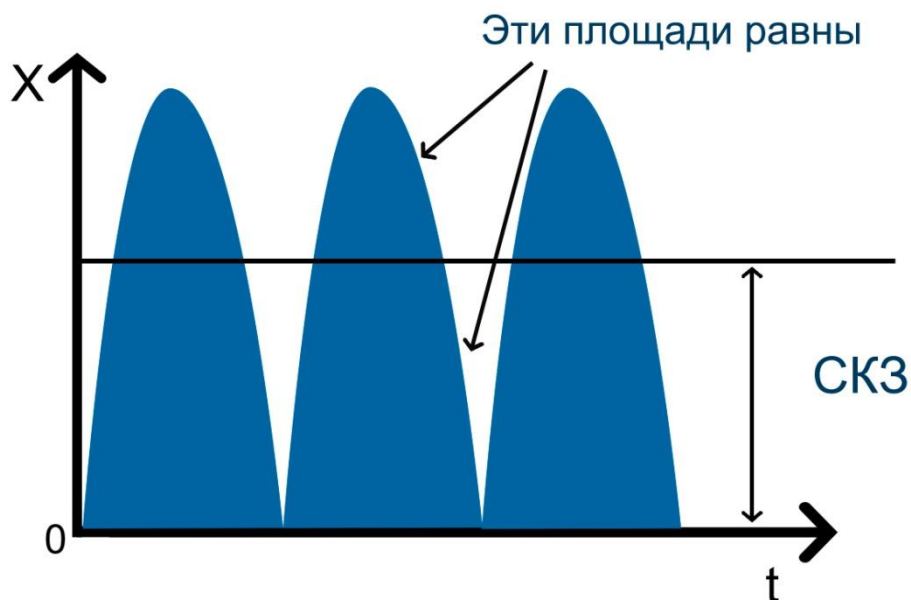
Размах (Пик-Пик) - это разница между положительным и отрицательным пиками ($X_{\text{размах}}$). Для синусоидального колебания размах в точности равен удвоенной пиковой амплитуде, так как временная реализация в этом случае симметрична.

Среднеквадратическое значение амплитуды (СКЗ) равно квадратному корню из среднего квадрата амплитуды колебания. Для синусоидальной волны СКЗ в 1,41 раза меньше пикового значения, однако такое соотношение справедливо только для данного случая.

Параметры вибрации

Среднеквадратическое значение амплитуды (СКЗ)

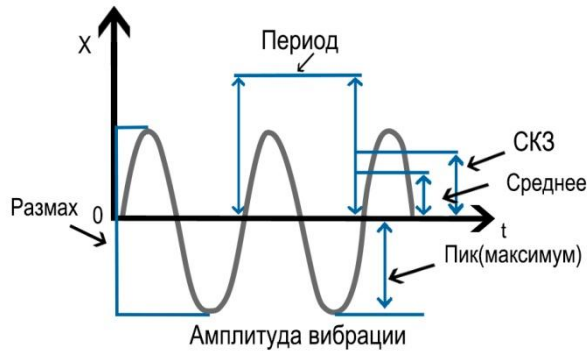
равно квадратному корню из среднего квадрата амплитуды колебания



$$X_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt}$$

$$X_{СКЗ} = X_{пик} / \sqrt{2}$$

Для синусоидальной волны СКЗ в 1,41 раза меньше пикового значение, однако такое соотношение справедливо только для данного случая.



Для описания и измерения механических вибраций используются следующие понятия:

$$X_{\text{сред}} = \frac{1}{T} \int_0^T |X| dt$$

- **Среднее значение**, связанное с временным развитием механических колебаний

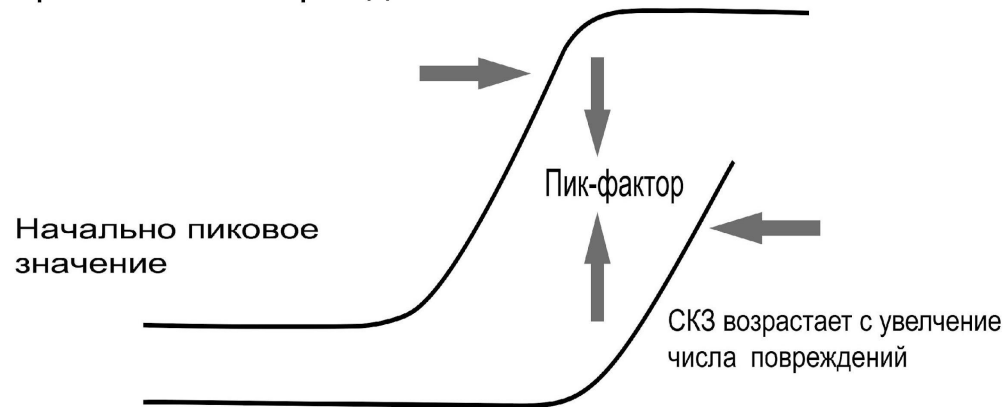
$$K = X_{\text{пик}} / X_{\text{СКЗ}}$$

- **Пик-фактор** (амплитудный коэффициент), числовое значение которого тем больше, чем больше выражен импульсный или случайный характер колебаний

$$K = \sqrt{2}$$

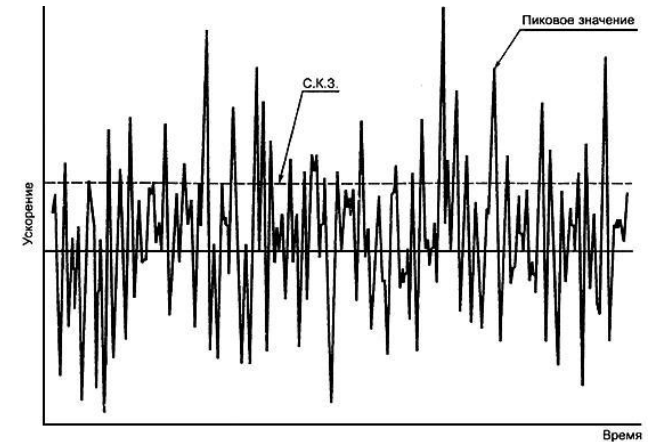
Для синусоидальной волны

Пиковое значение возрастает с развитием повреждения



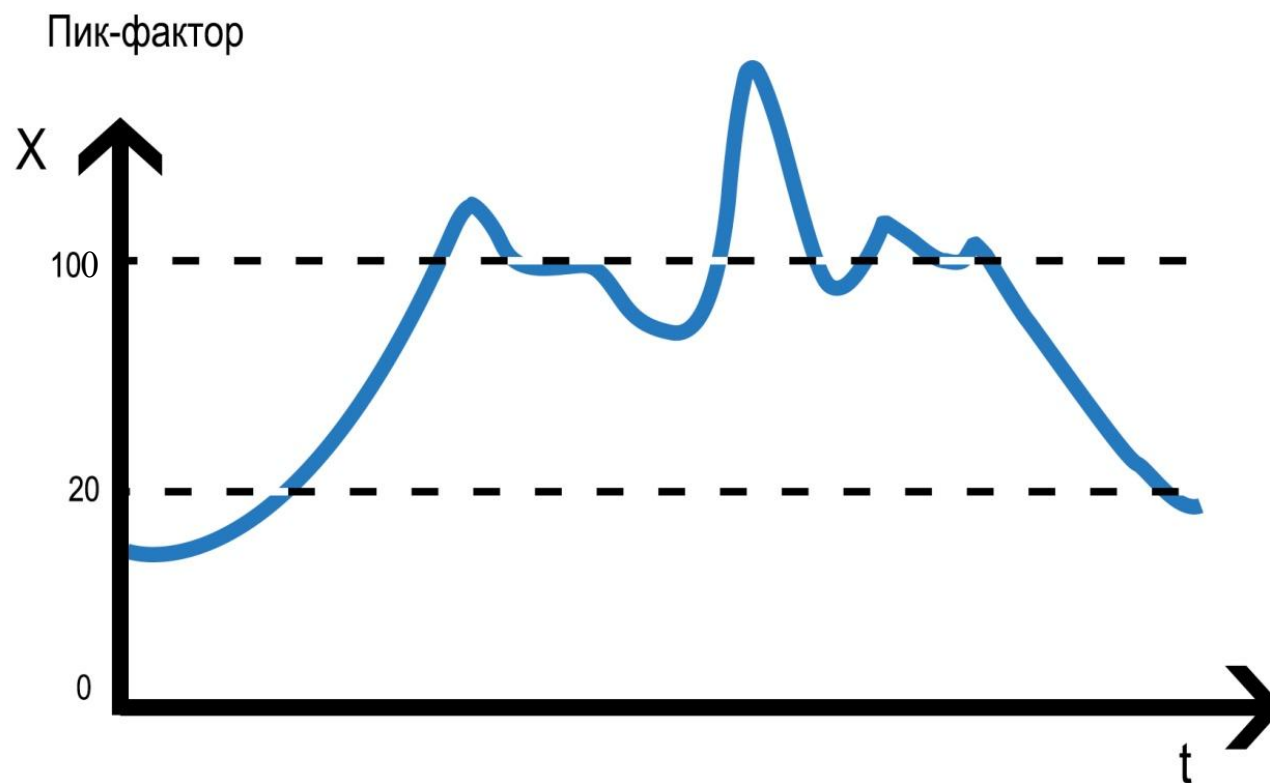
Начальное СКЗ

$$K = X_{\text{пик}} / X_{\text{СКЗ}}$$



Пик-фактор - один из параметров вибрации, который нельзя получить путем анализа спектра, однако он служит хорошим индикатором степени износа подшипников. Величина пик-фактора определяется как отношение пикового значения вибрации к ее среднему квадратическому значению (СКЗ). Ее легко можно измерить с помощью виброметров, имеющих данный режим. Использование пик-фактора для оценки состояния подшипников заключается в периодическом измерении его величины и в отслеживании ее изменений во времени

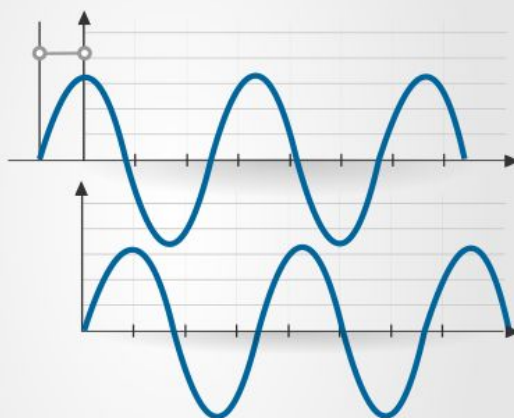
Изменение величины пик-фактора в процессе развития дефектов



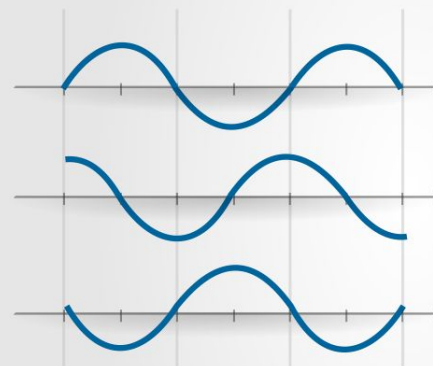
Параметры вибрации - фаза

ПОНЯТИЕ ФАЗЫ

Задержка
1/4 периода =
сдвигу по фазе
на 90 градусов



ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ



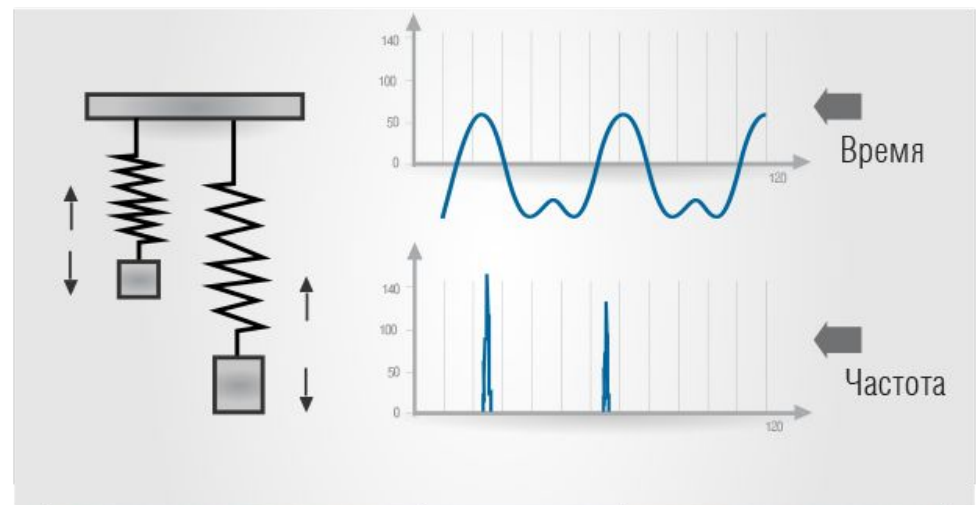
Каждый график
сдвинут по фазе
на 90 градусов

- Задержка 1/4 периода = сдвигу по фазе на 90 градусов
- Фаза - мера относительного сдвига во времени двух синусоидальных колебаний
- Перемещение, скорость и ускорение колеблющейся точки отличаются по фазе на 90

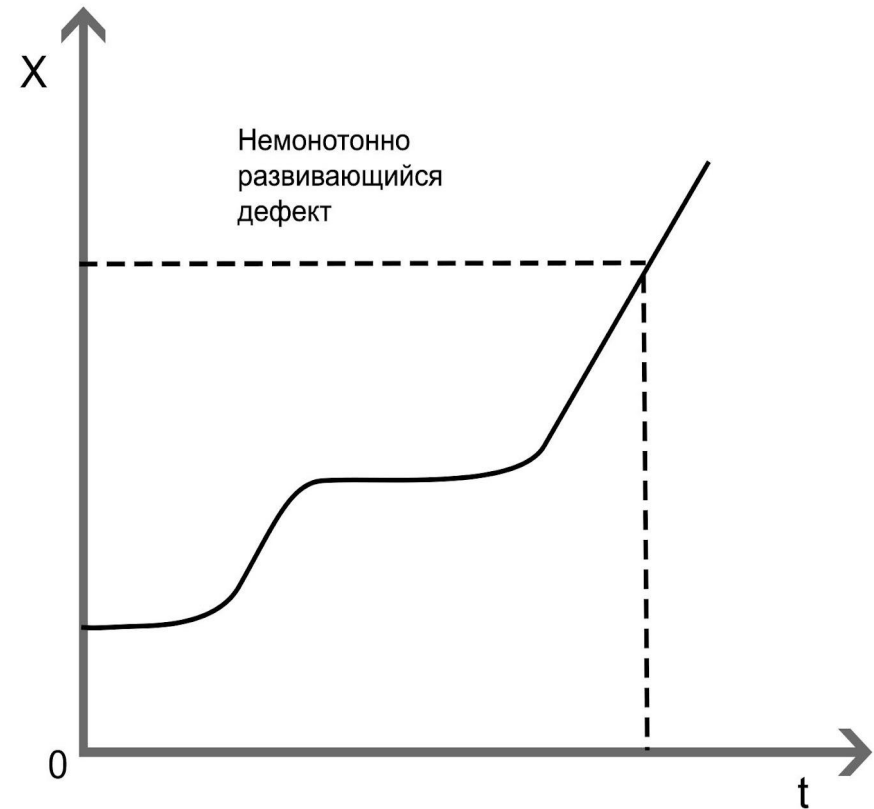
Параметры вибрации. Сложная вибрация.

- Полигармоническая вибрация
- Случайная вибрация
- Ударные импульсы

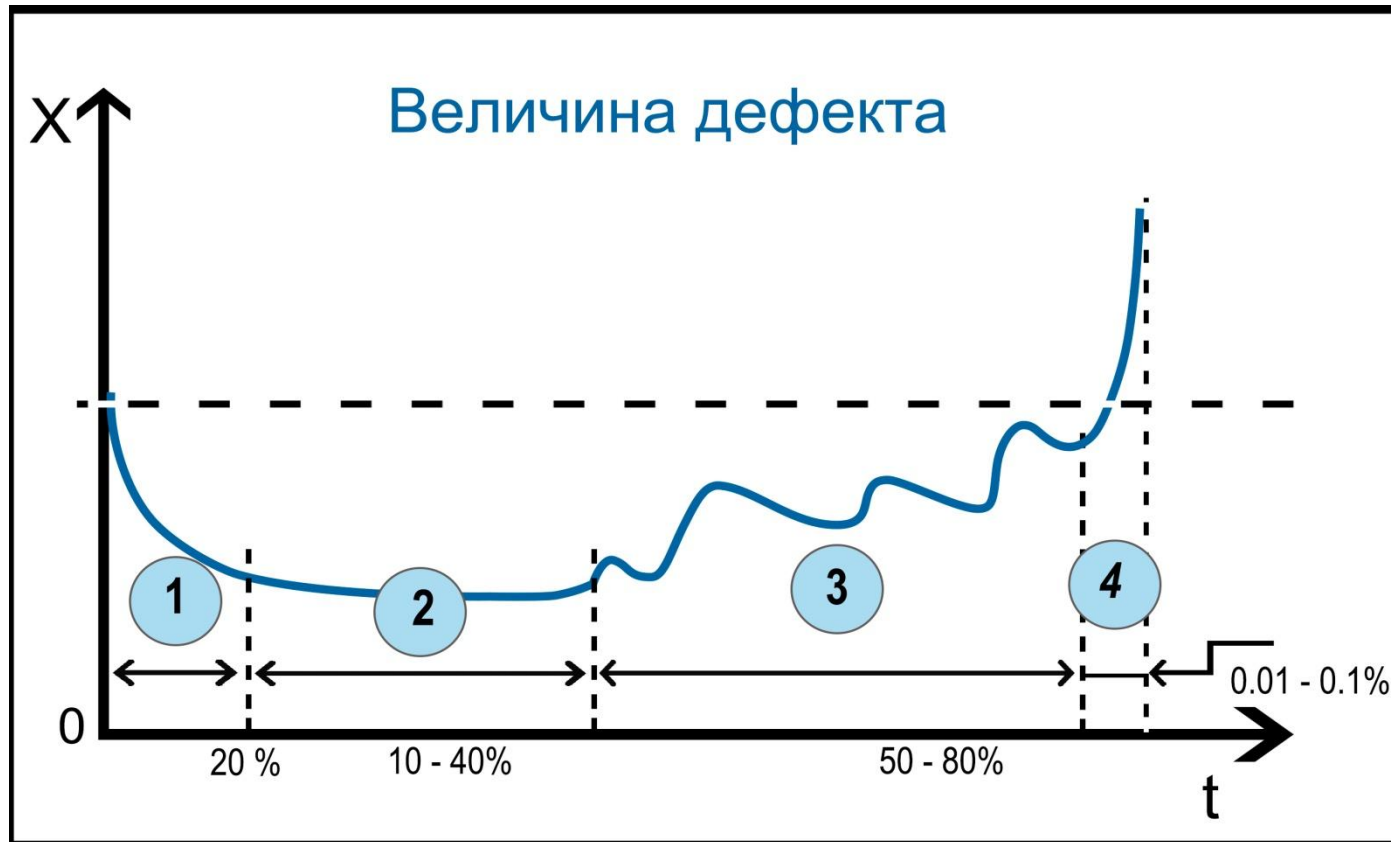
ВРЕМЕННОЕ И ЧАСТОТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ



Тренды



Развитие дефектов в процессе эксплуатации роторного оборудования



Методы вибродиагностики.

СКЗ виброскорости.

Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых последних стадиях их развития, начиная, примерно, с середины третьего этапа развития дефекта, когда общий уровень вибрации значительно вырастет. Требуется минимальных технических затрат и не требует специального обучения персонала.

Спектр вибросигнала.

Данный метод применяется на практике достаточно часто, т. к. позволяет выявлять, наряду с диагностикой подшипников, большое количество других дефектов оборудования. Этот метод позволяет начинать диагностику дефектов подшипников примерно с середины второго этапа развития дефектов, когда энергия резонансных колебаний вырастет настолько, что будет заметна в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала. Для реализации данного метода необходим хороший спектроанализатор и подготовленный персонал.

Соотношение пик / фон вибросигнала.

HFD (High Frequency Detection - метод обнаружения высокочастотного сигнала),
 SPM (Shock Pulse Measurement - метод измерения ударных импульсов),
 SE (Spike Energy - метод измерения энергии импульса),

Лучшие разновидности данного метода позволяют выявлять дефекты подшипников качения на достаточно ранних стадиях, начиная примерно с конца первого этапа развития. Приборы, реализующие данный метод диагностики достаточно простые и недорогие.

Спектр огибающей сигнала.

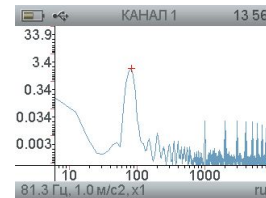
Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых ранних стадиях, начиная примерно с первой трети первого этапа.

Технология PeakVue.

По сравнению с техникой демодуляции и другими аналоговыми технологиями, которые не могут определить такие дефекты на столь ранней стадии их возникновения – а иногда не могут и вовсе их определить, технология PeakVue не только даёт наиболее раннее предупреждение о возникшей проблеме, она также количественно определяет степень развития дефекта.

Прочие методы.

Анализ акустического шума.



Примерные критерии оценки вибрационного состояния машин различных типов

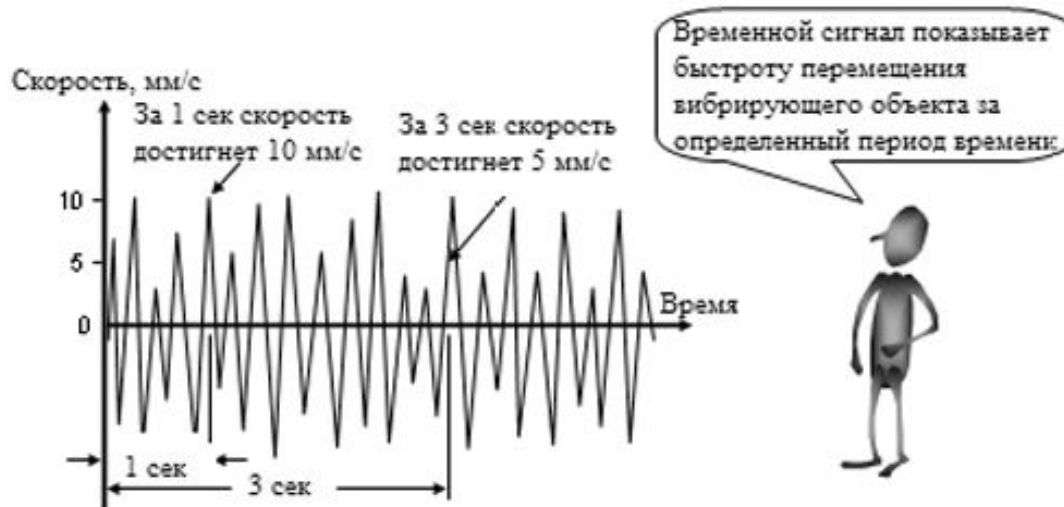
- **Класс 1** - Отдельные части двигателей и машин, соединенные с агрегатом и работающие в обычном для них режиме (серийные электрические моторы мощностью до 15 кВт являются типичными машинами этой категории).
- **Класс 2** - Машины средней величины (типовые электромоторы мощностью от 15 до 875 кВт) без специальных фундаментов, жестко установленные двигатели или машины (до 300 кВт) на специальных фундаментах.
- **Класс 3** - Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на массивных фундаментах, относительно жестких в направлении измерения вибрации.
- **Класс 4** - Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на фундаментах, относительно податливые в направлении измерения вибрации (например, турбогенераторы и газовые турбины с выходной мощностью более 10 МВт).

Границы зон для машин различных классов

Машины	Класс I Малые машины до 15 кВт	Класс II Средние машины 15-875 кВт	Класс III Большие на жестком фундаменте	Класс IV Большие на упругом фундаменте	
Вибрационная скорость V мм/с	0.28				
	0.45				
	0.71	ХОРОШИЙ			
	1.12				
	1.80				
	2.80		УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ		
	4.50				
	7.10		НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ		
	11.20				
	18.00				
	28.00	НЕПРИЕМЛЕМЫЙ			
	45.00				

Что такое временной сигнал?

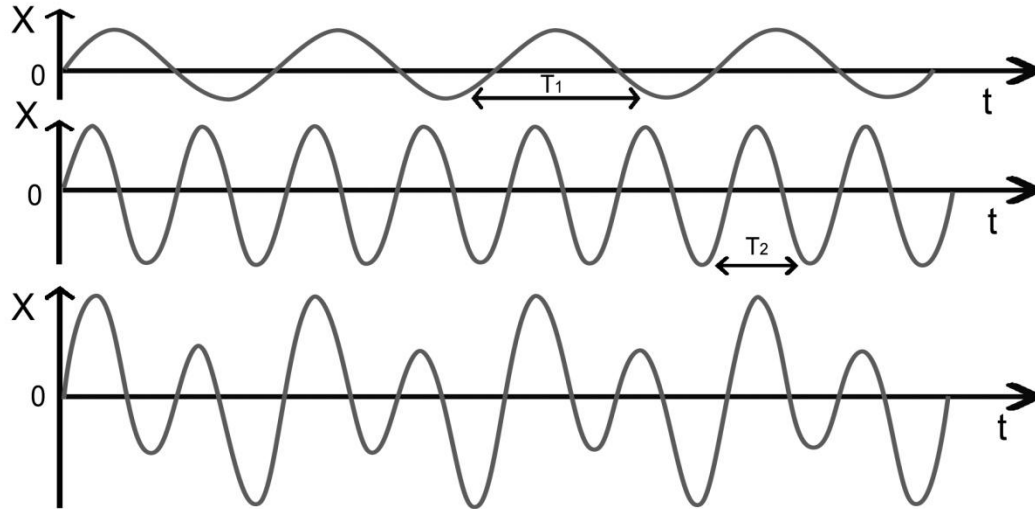
Временной сигнал – это графическое представление уровня вибрации, изменяющегося во времени. Временной сигнал скорости – это диаграмма, которая показывает, каким образом амплитуда виброскорости изменяется в течение определенного периода времени.



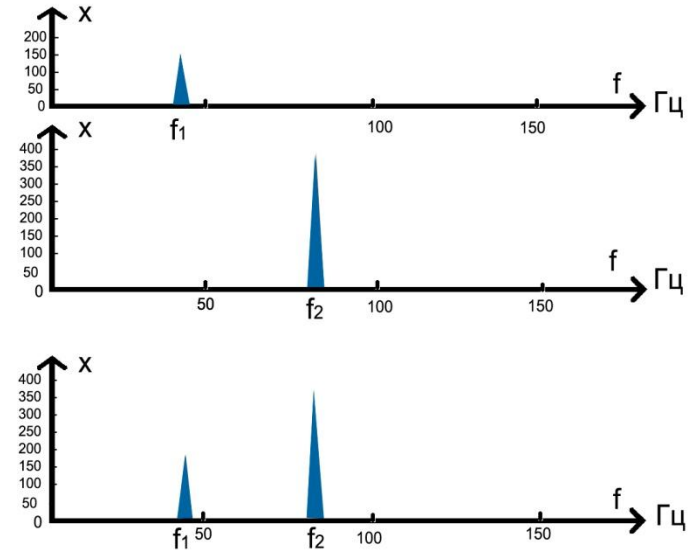
Объем информации, которую содержит временной сигнал, зависит от продолжительности и разрешения временного сигнала.

- ✓ *Продолжительность временного сигнала* – это общее время, в течение которого собирают информацию из временного сигнала.
- ✓ *Разрешение временного сигнала* – это степень детализации временного сигнала, которая определяется количеством точек данных или отсчетов, описывающих сигнал. Чем больше отсчетов, тем более детальным представляется временной сигнал.

Временные развертки сигнала вибрации



Спектры

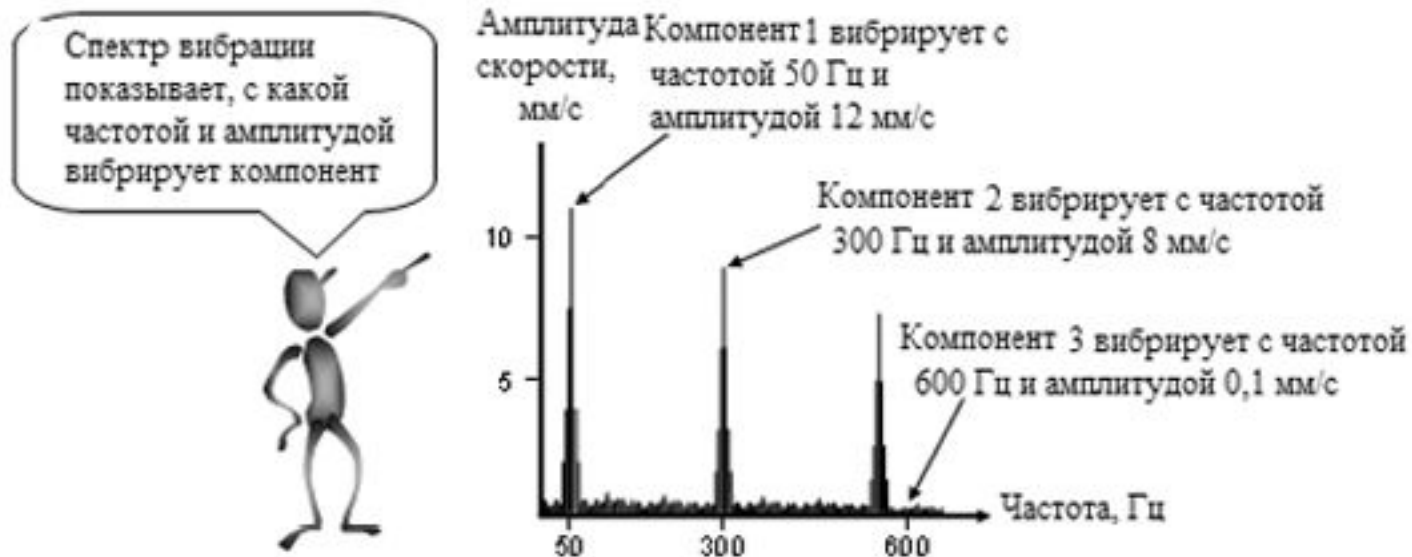


Чтобы обойти ограничения анализа во временной области, обычно на практике применяют частотный, или спектральный, анализ вибрационного сигнала. Если временная реализация есть график во временной области, то спектр - это график в частотной области. Спектральный анализ эквивалентен преобразованию сигнала из временной области в частотную. Частота и время связаны друг с другом следующей зависимостью:

$$\text{Время} = 1/\text{Частота} \quad \text{и} \quad \text{Частота} = 1/\text{Время}$$

Что такое спектр вибрации?

Спектр – это графическое представление частот, на которых компоненты машины совершают колебания с определенной амплитудой.



ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения

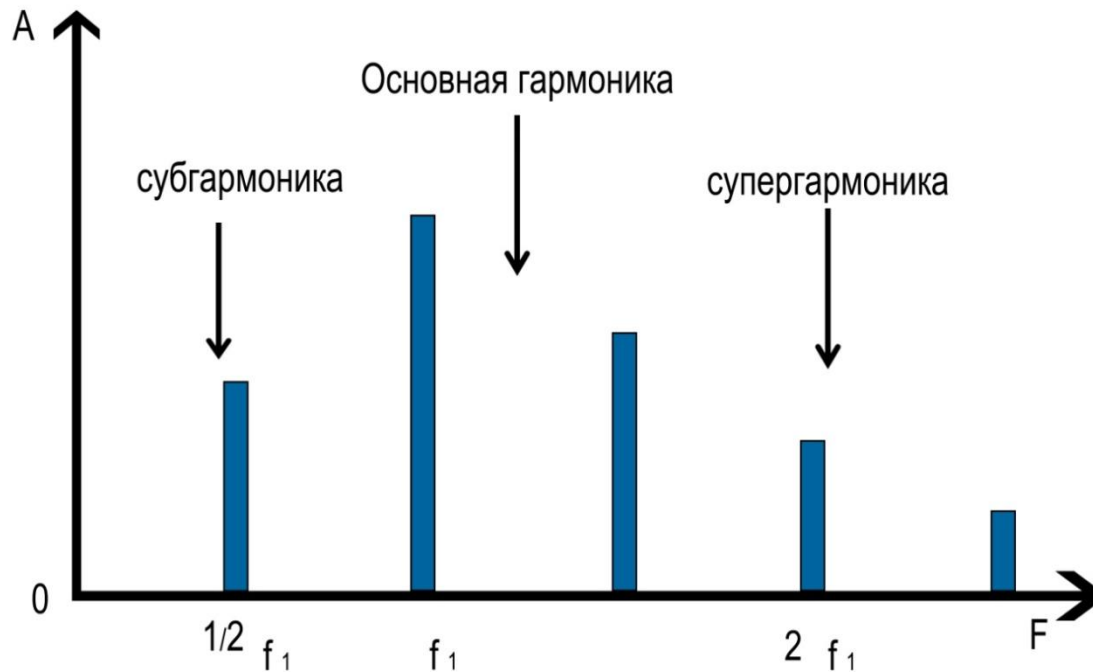
Гармонический анализ колебаний (вибрации) - представление анализируемых колебаний (вибрации) в виде суммы гармонических колебаний

Примечания:

1. Слагаемые гармонические колебания называют гармоническими составляющими.
2. Периодические колебания представляют в виде ряда Фурье, почти периодические - в виде суммы гармонических колебаний с несоизмеримыми частотами, а непериодические колебания - в виде интеграла Фурье, определяющего спектральную плотность

Спектр колебаний (вибрации) - совокупность соответствующих гармоническим составляющим значений величины, характеризующей колебания (вибрацию), в которой указанные значения располагаются в порядке возрастания частот гармонических составляющих.

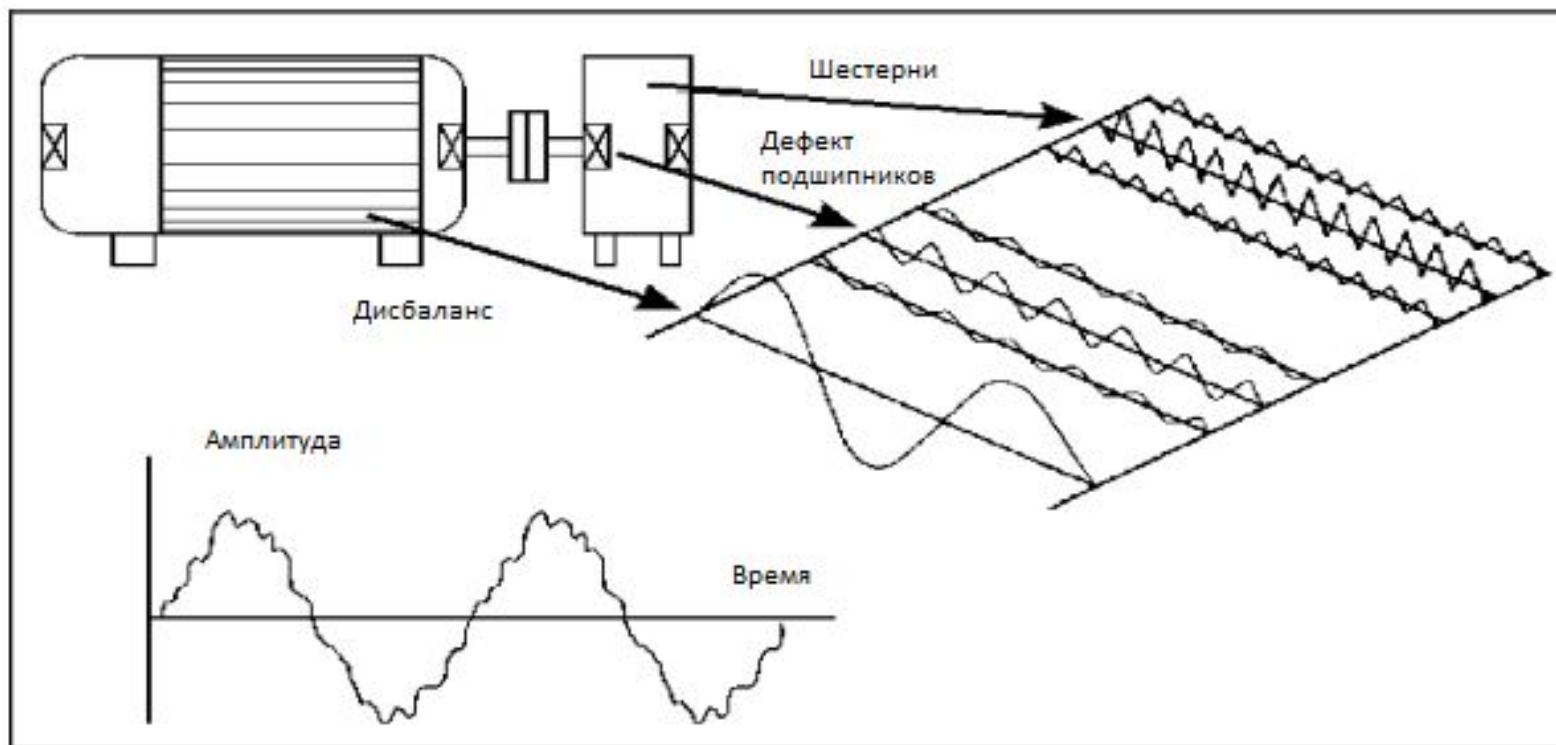
Спектр колебаний (вибрации)



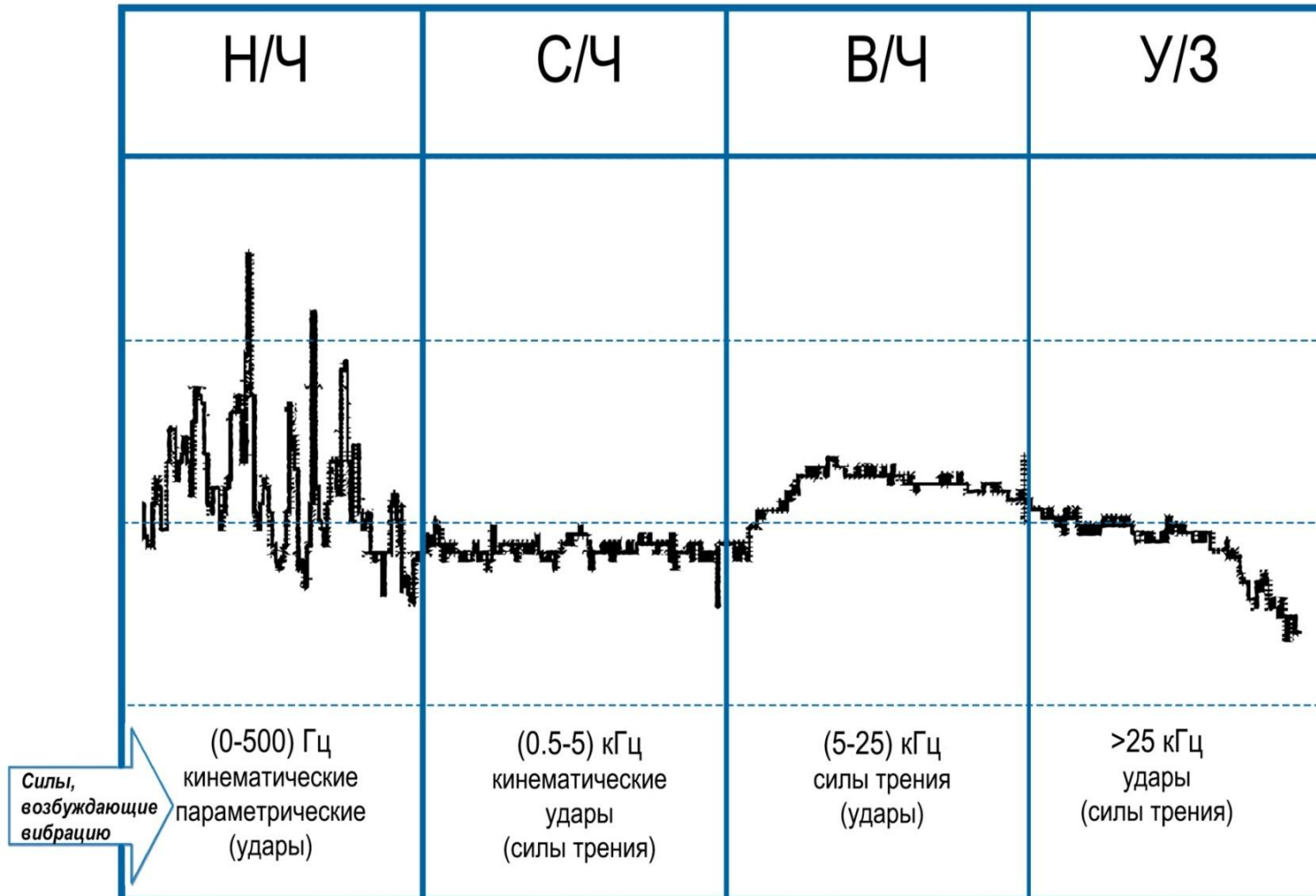
Для выявления дефектов не приводящих к кратковременному изменению сигнала, используют спектральное представление сигнала, т.е. разложение его на простые составляющие (тональные).

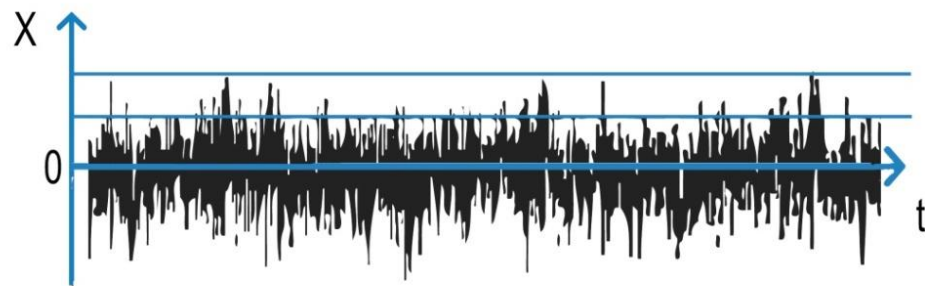
Синхронные колебания – это колебания гармонически связанные с рабочей скоростью (с фвр).

Несинхронные колебания – это колебания, гармонически не связанные с рабочей скоростью.



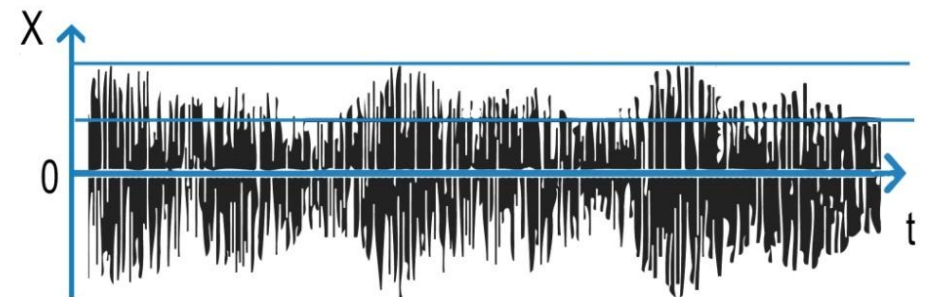
Спектры сигнала вибрации





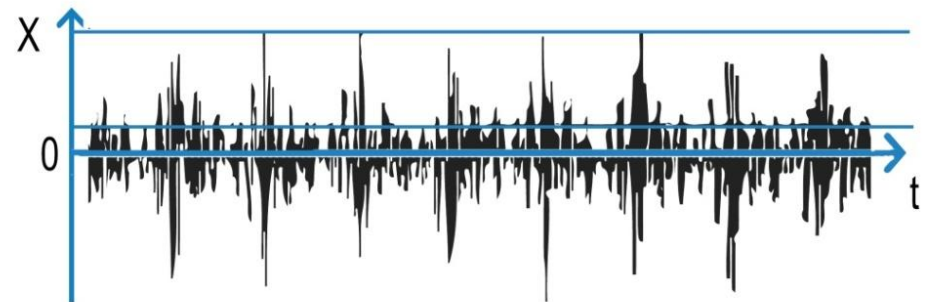
X_{max}

СКЗ



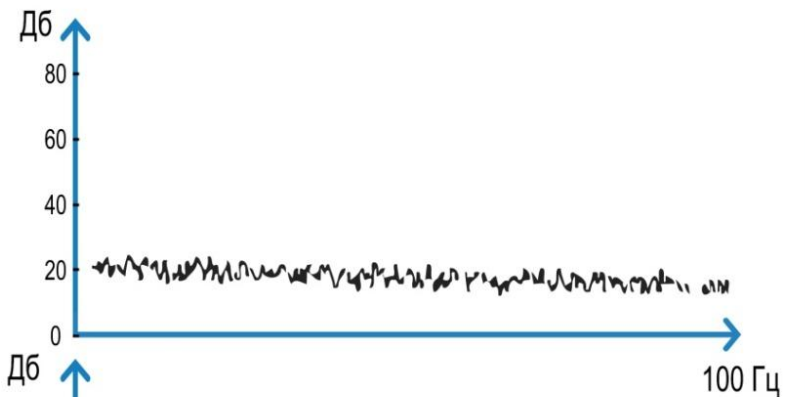
X_{max}

X_{min}



X_{max}

СКЗ



Дб

X_{max}

X_{min}

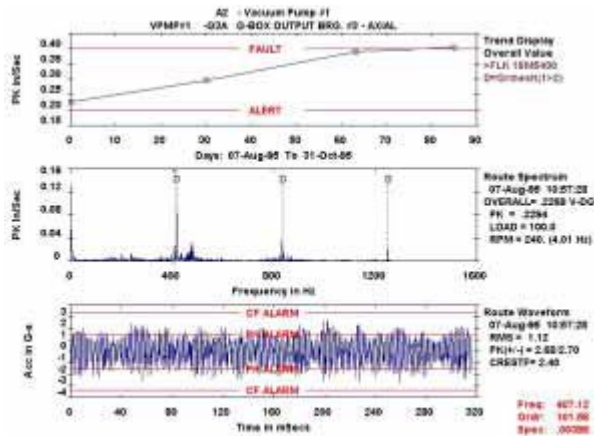
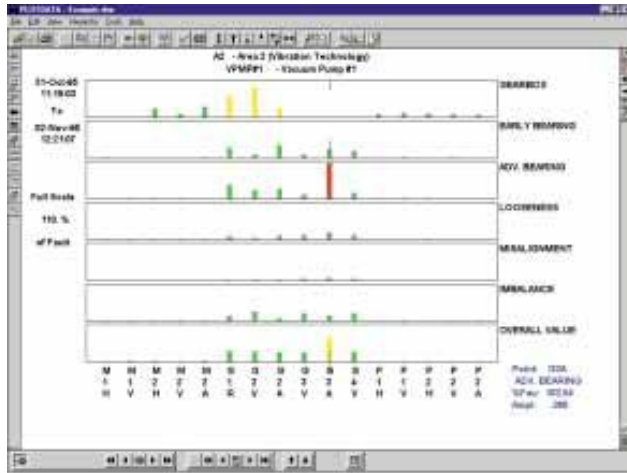
Дб

X_{max}

СКЗ

Дб

100 Гц



Мы определяем более 100 видов дефектов

В подшипниках качения (технология PeakVue)

- обкатывание ротором наружного кольца
- неравномерный радиальный натяг
- перекос наружного кольца
- износ наружного кольца
- раковины (трещины) на наружном кольце
- износ тел качения и сепаратора
- сколы на телах качения
- проскальзывание кольца
- дефекты смазки

В электрических машинах

- неуравновешенность ротора
- плохая стыковка с исполнительным механизмом
- эксцентриситет воздушного зазора
- замыкания и обрывы в обмотках статора
- обрывы стержней и короткозамыкающих колец в беличьей клетке
- дефекты щеточно-коллекторного узла и обмотки якоря в машинах постоянного тока

В насосах

- бой рабочего колеса
- дефекты лопастей рабочего колеса
- неоднородность потока на входе колеса
- кавитация

В подшипниках скольжения

- обкатывание ротором вкладышей подшипника
- перекос подшипника
- автоколебания вала в подшипниках

- износ подшипника
- удары в подшипнике
- дефекты смазки

В механических передачах

- бой ведущего вала
- бой ведомого вала
- дефекты смазки

В зубчатых передачах

- бой зубчатых колёс
- износ зубчатых колёс
- дефекты зубчатых зацеплений

В планетарных передачах

- бой ведущего колеса
- бой сателлита
- износ зубцов ведущего колеса
- износ зубцов сателлита
- износ зубцов короны
- дефекты зацепления ведущего колеса
- дефекты зацепления короны

Сравнительный анализ методов диагностики подшипников качения по высокочастотной вибрации

Метод PeakVue и огибающей высокочастотной вибрации	Метод ударных импульсов
Достоинства	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Чувствительность к дефектам смазки 2. Высокая чувствительность к дефектам износа 3. Высокая чувствительность к ряду дефектов сборки 4. Возможность определения вида дефекта 5. Возможность определения степени развития дефекта 6. Возможность долгосрочного прогноза состояния 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая чувствительность к дефектам смазки 2. Высокая чувствительность к дефектам износа 3. Высокая чувствительность к ряду дефектов сборки 4. Возможность краткосрочного прогноза состояния
Недостатки	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограниченная достоверность обнаружения слабых дефектов смазки. 2. Снижение чувствительности при появлении группы сильных дефектов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Невозможность определения вида дефекта. 2. Невозможность обнаружения ряда дефектов поверхностей трения. 3. Невозможность обнаружения группы одновременно развивающихся дефектов.

Требования, предъявляемые к приборам, анализирующим вибрацию по ГОСТам.

Определять **уровень(общий)** вибрации в полосе частот, требуемой стандартами вибрационного контроля и в требуемых стандартами единицах измерения.

Производить **спектральный анализ** вибрации

Производить анализ колебаний мощности отдельных компонент вибрации, предварительно выделенных из сигнала вибрации, - **спектральный анализ огибающей** случайного высокочастотного сигнала вибрации.

Производить анализ формы сигнала, т.е. анализировать **временной сигнал вибрации** (работать в режиме осциллографа).

Высокая линейность – 0,01%. (на практике достаточно **0,03%**, т.е. искажения появляются на уровне – 70 дБ).

Частотный диапазон – от **2 Гц до 20 кГц** (реже от 0,3 Гц до 40 кГц)

Разрешающая способность – от **100 до 800** частотных полос (в некоторых приборах – до 6 400 и выше) – **1600** полос.

Виды систем мониторинга и диагностики

1 ПЕРЕНОСНЫЕ (виброметры, сборщики-данных, виброанализаторы)

- средства измерения доставляются к точке контроля

2 СТЕНДОВЫЕ (системы на базе ПК)

- датчики устанавливаются на объект временно
- измерениями управляет оператор

3 СТАЦИОНАРНЫЕ (виброзащиты, мониторинга, диагностики и анализа)

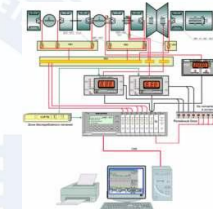
- датчики устанавливаются на объект постоянно
- измерениями управляет автомат

ВИБРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ - распознавание текущего технического состояния механизма;

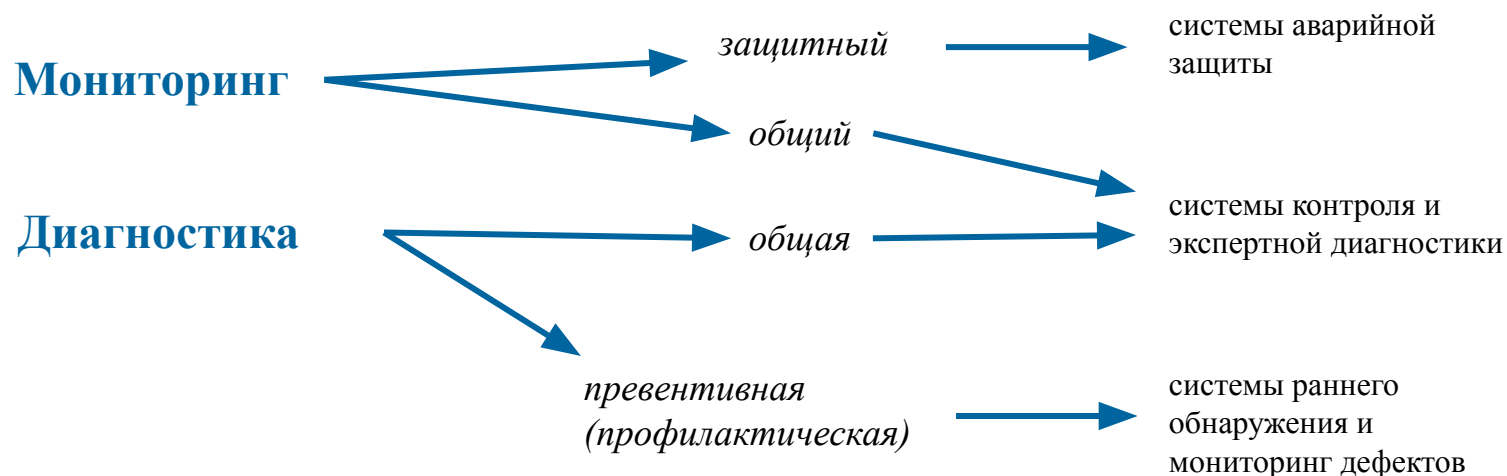
- сравнение параметров вибрации с пороговыми значениями
- прогноз изменений вибрационных параметров

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА - выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решений по их устранению.

- определение вида и величины каждого дефекта
- сравнение величины дефекта с пороговыми значениями
- прогноз развития



Системы мониторинга и диагностики



Четыре основных составляющих

- методы мониторинга и диагностики
- методы и средства измерения и анализа сигналов
- база данных и её обслуживание
- интеллект (эксперт или искусственный интеллект)

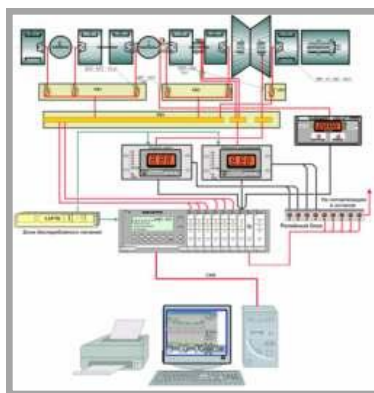
Исполнение

- переносные системы
- стендовые системы
- стационарные системы

Задачи и назначение систем мониторинга и диагностики

No	Задачи мониторинга и диагностики	Назначение систем
1.	Аварийная защита	Минимизация потерь при отказе
2.	Краткосрочный (до 1 месяца) прогноз работоспособности	Минимизация числа отказов
3.	Долгосрочный (до 3-6 месяцев) прогноз состояния	Минимизация затрат на обслуживание и на подготовку к ремонту
4.	Дефектация перед ремонтом	Минимизация затрат на ремонт
5.	Входной (выходной) контроль качества изготовления (ремонта)	Повышение качества изготовления и ремонта

Системы виброконтроля, вибродиагностики и балансировки в собственных опорах (серия «VibroPoint» и «Протон»)

**BALTECH VP-3405 (-2)****BALTECH VP-3410****BALTECH VP-3450****Протон-Баланс****Протон-СПП****Протон-1000****НОВЫЙ****CSI-2140****НОВЫЙ****BALTECH VP-3470**

ООО «Балтех»

Россия, Санкт-Петербург,
194044, ул. Чугунная, 40

Тел/Факс (812) 335-00-85

Е-mail: info@baltech.ru
Internet: www.baltech.ru