

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО ТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Особенности диагностирования судового электрооборудования.

Техническая диагностика. Цель, задачи преимущество обслуживания по фактическому техническому состоянию.

Техническая диагностика. Основные термины и определения.

Показатели диагностирования. Классификация средств технического диагностирования.

Диагностические модели. Диагностические параметры для электрооборудования.

Вибрация электрических машин. Основные величины. Особенности низкочастотной, среднечастотной и высокочастотной вибрации.

Широкополосные виброметрические измерения дают ценные предварительные результаты, хорошо применяемые при быстрой оценке исследуемого процесса, например оценке состояния машин или эффективности виброизоляции машин и т. п. Результаты виброметрических измерений обычно сравниваются друг с другом и оцениваются согласно критериев опасности и строгости механических колебаний. Пример таких критериев иллюстрирует таблица на следующем слайде (ГОСТ 10816).

Таблица примерных границ зон для машин различных классов

V_{rms} , мм/с	Класс 1	Класс 2
0.28	A	A
0.45	A	A
0.71	A	A
1.12	B	A
1.8	B	B
2.8	C	B
4.5	C	C
7.1	D	C
11.2	D	D
18	D	D
28	D	D
45	D	D

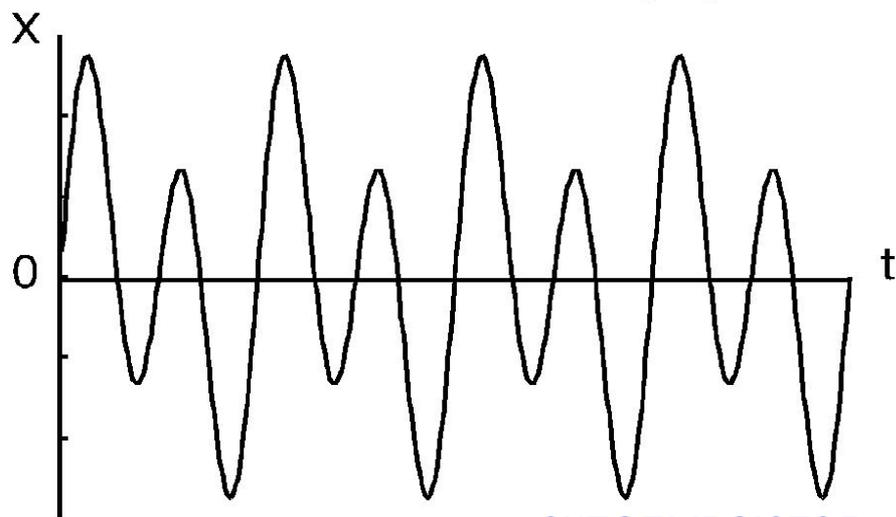
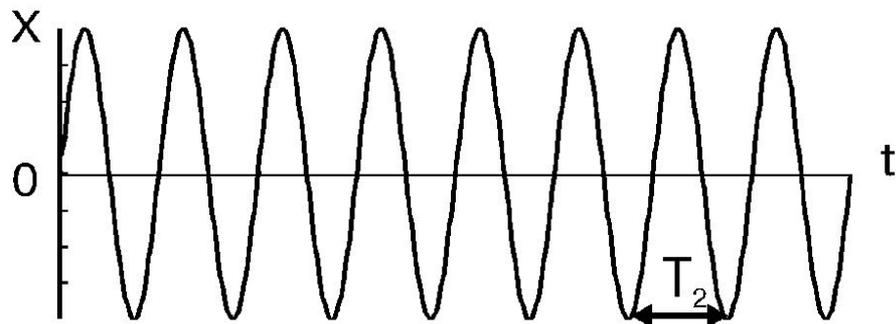
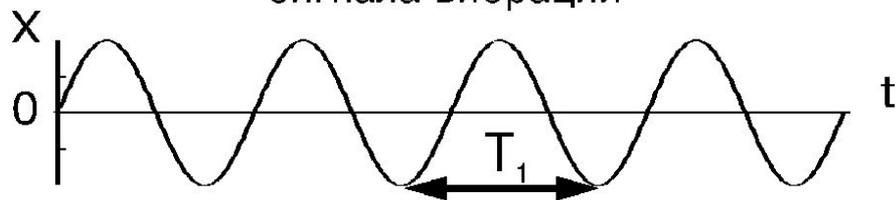
Зона А - Новые машины, только что введенные в эксплуатацию.

Зона В - Машины пригодные для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков.

Зона С - Машины, попадающие в эту зону, обычно рассматриваются как непригодные для длительной непрерывной эксплуатации. Обычно данные машины могут функционировать ограниченный период времени, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ.

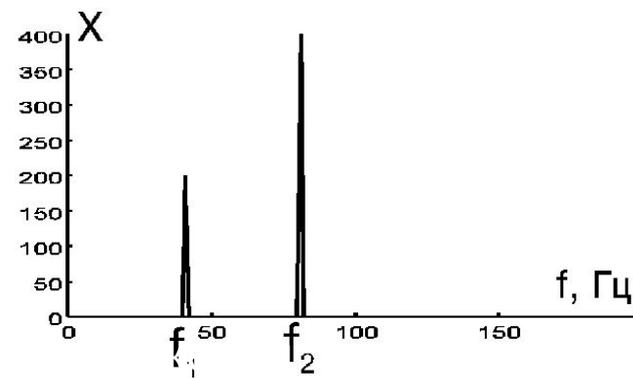
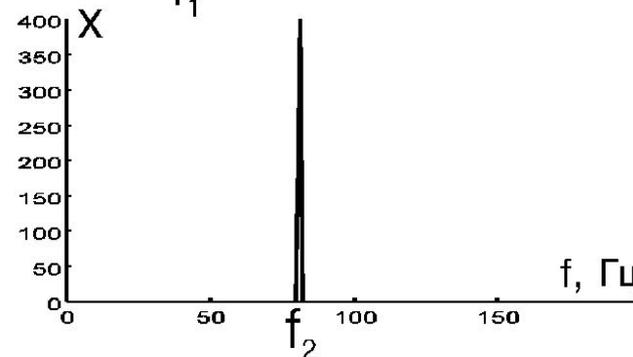
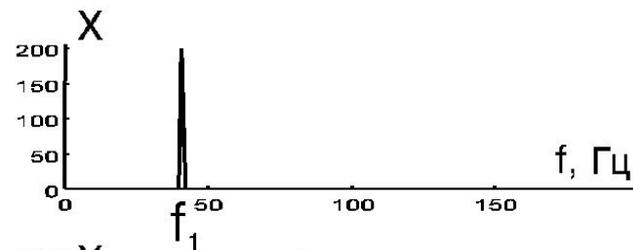
Зона D - Уровни вибрации в данной зоне обычно рассматривают как достаточно серьезные, для того чтобы вызвать повреждение машины.

Временные развертки сигнала вибрации



складываются

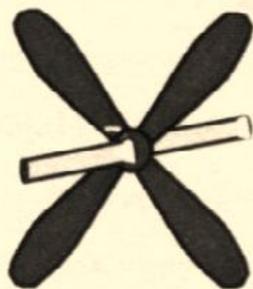
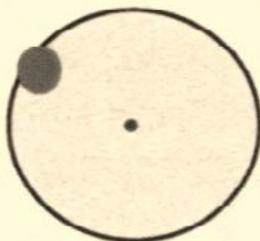
Спектры



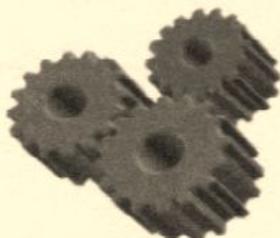
с учетом фаз

По частоте вращения ротора, можно определить

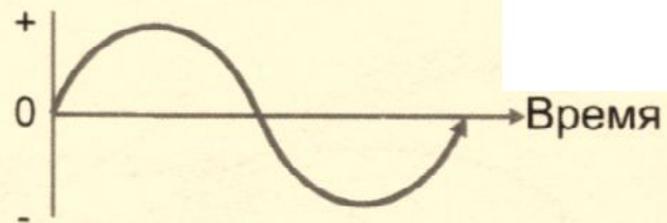
- гармоники частоты вращения
- частоты дефектов подшипников
- лопаточные частоты вентилятора
- зубцовые частоты колеса насоса
- частоты рабочего колеса насоса
- частоты соседнего оборудования



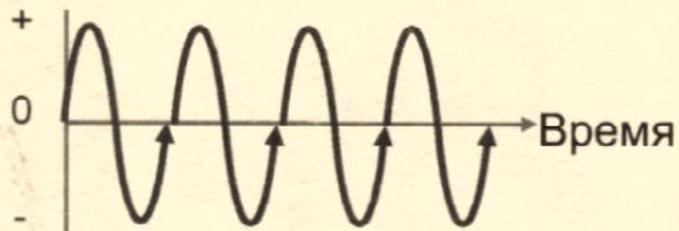
4 лопасти



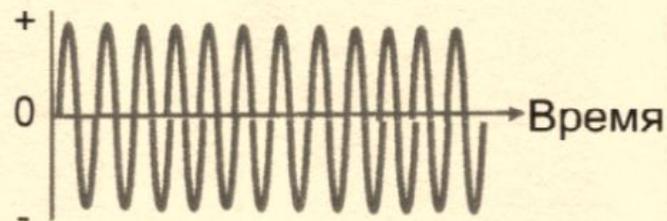
12 зубьев



1 x RPM



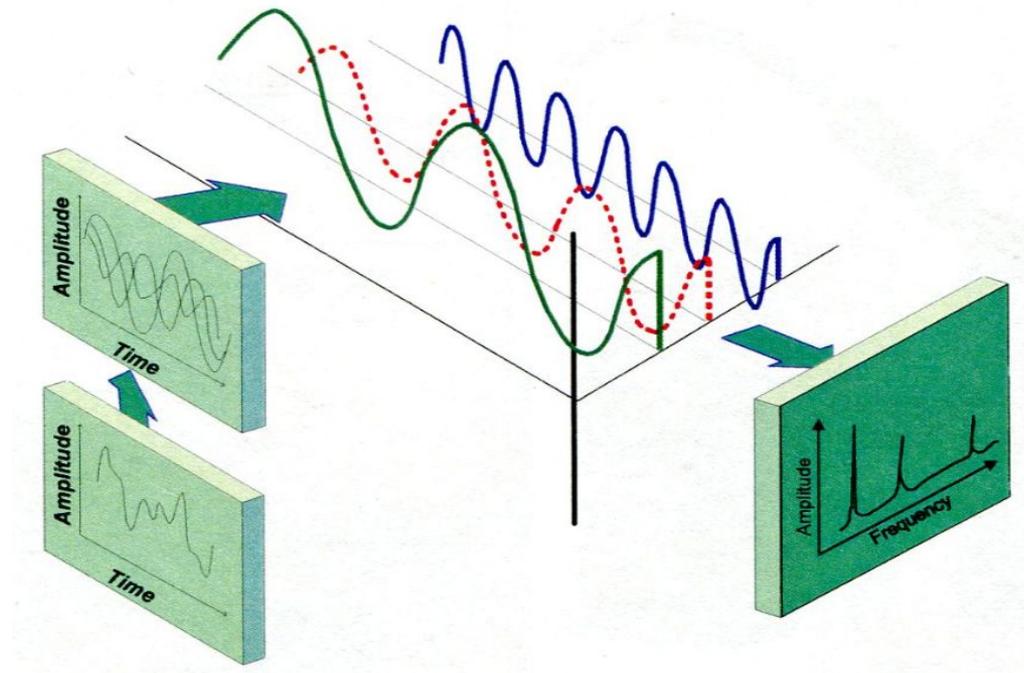
4 x RPM



12 x RPM

Для диагностики, используемой например в процессе определения причин повышенного уровня вибрации, необходим частотный анализ. Физически спектральный анализ можно рассматривать как параллельную фильтрацию сигнала с помощью большого количества фильтров разной частоты и определение мощности его отдельных компонент или среднеквадратичного значения на выходе каждого из фильтров. В частотном спектре можно обнаружить составляющие, относящиеся непосредственно к определенным возбуждающим силам машин и их отдельных узлов. Почти все спектры механических колебаний содержат также составляющие с частотами, связанными с движениями отдельных узлов и деталей машины, механизма и т. д. Самыми значительными обычно являются гармоники одной или нескольких основных частот.

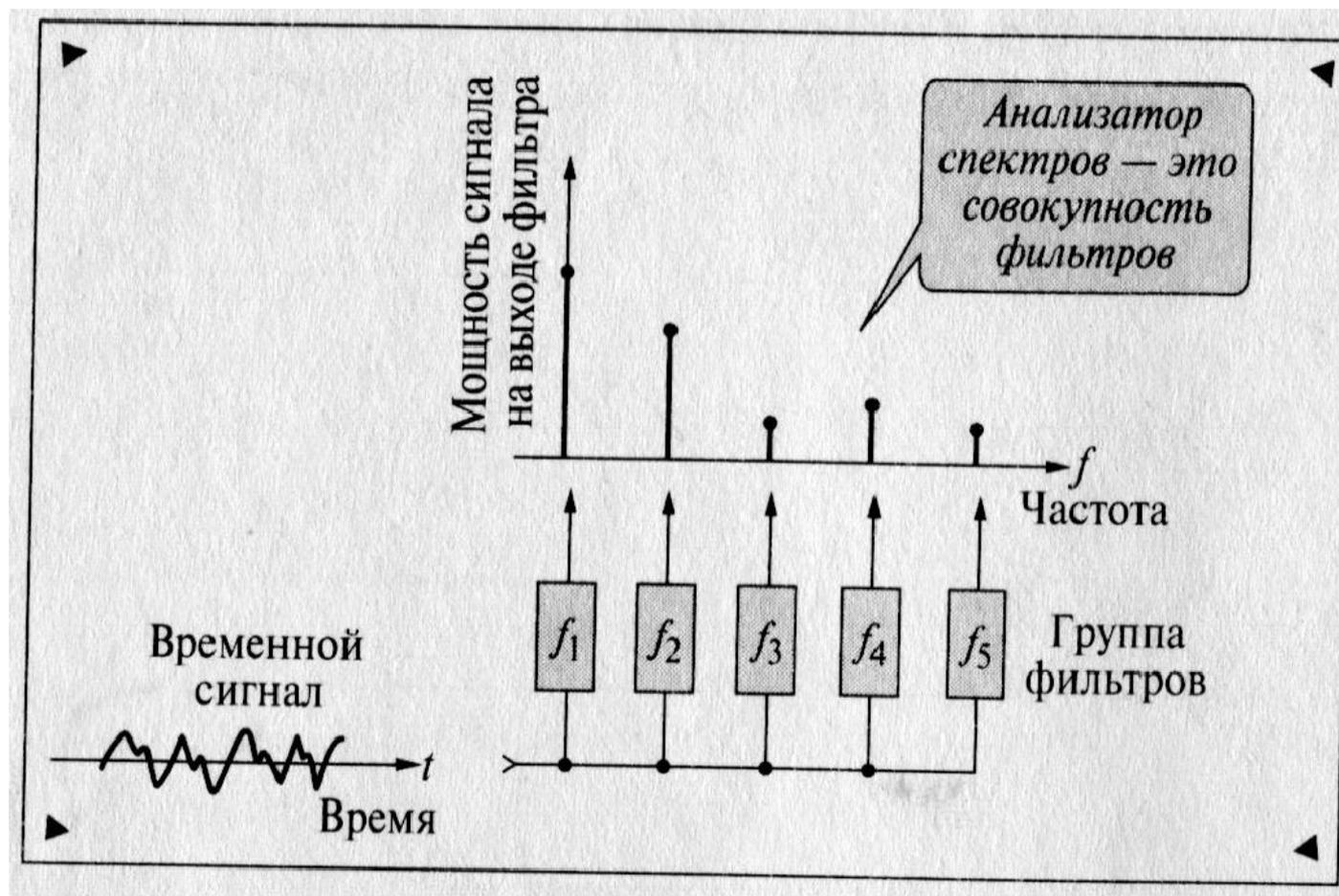
СПЕКТР - совокупность простых гармонических колебаний, на которые может быть разложено данное сложное колебательное движение.



Спектральным анализом (СА) называется процедура определения амплитуд частот или участков спектра, составляющих исследуемый сигнал.

Физически спектральный анализ можно рассматривать как параллельную фильтрацию сигнала с помощью большого количества фильтров разной частоты и определение мощности его отдельных компонент или среднеквадратичного значения на выходе каждого из фильтров.

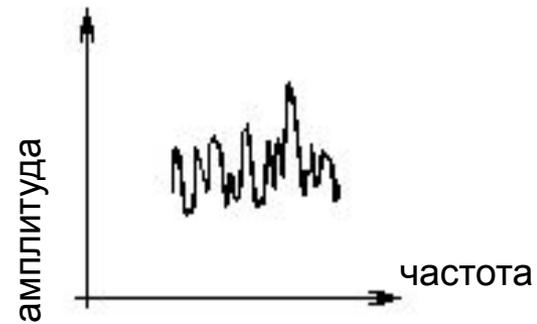
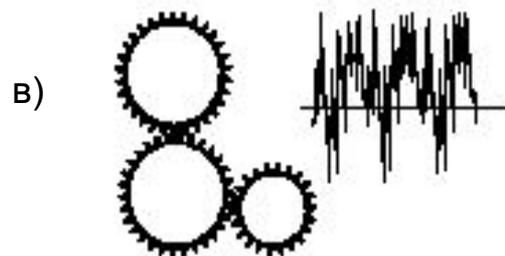
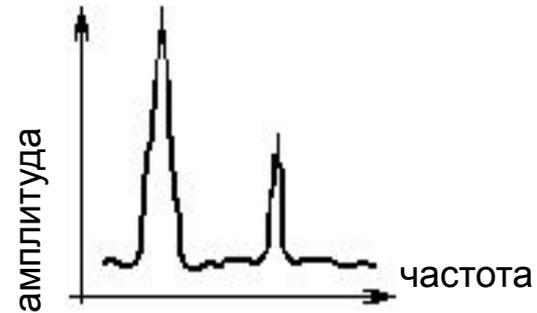
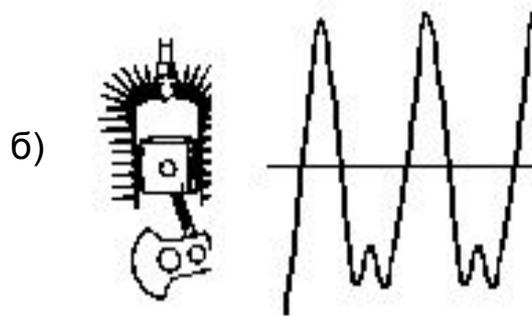
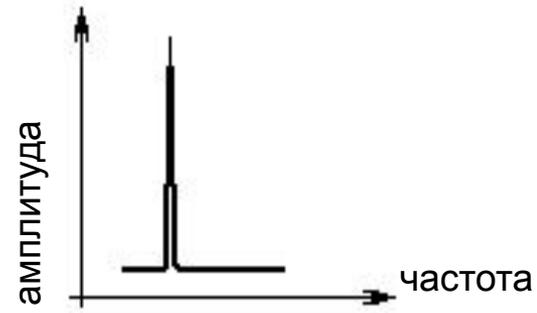
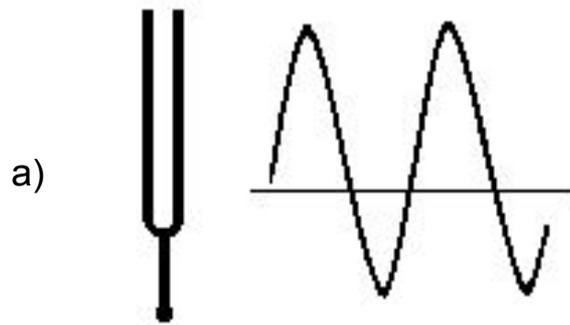
Анализатор спектра



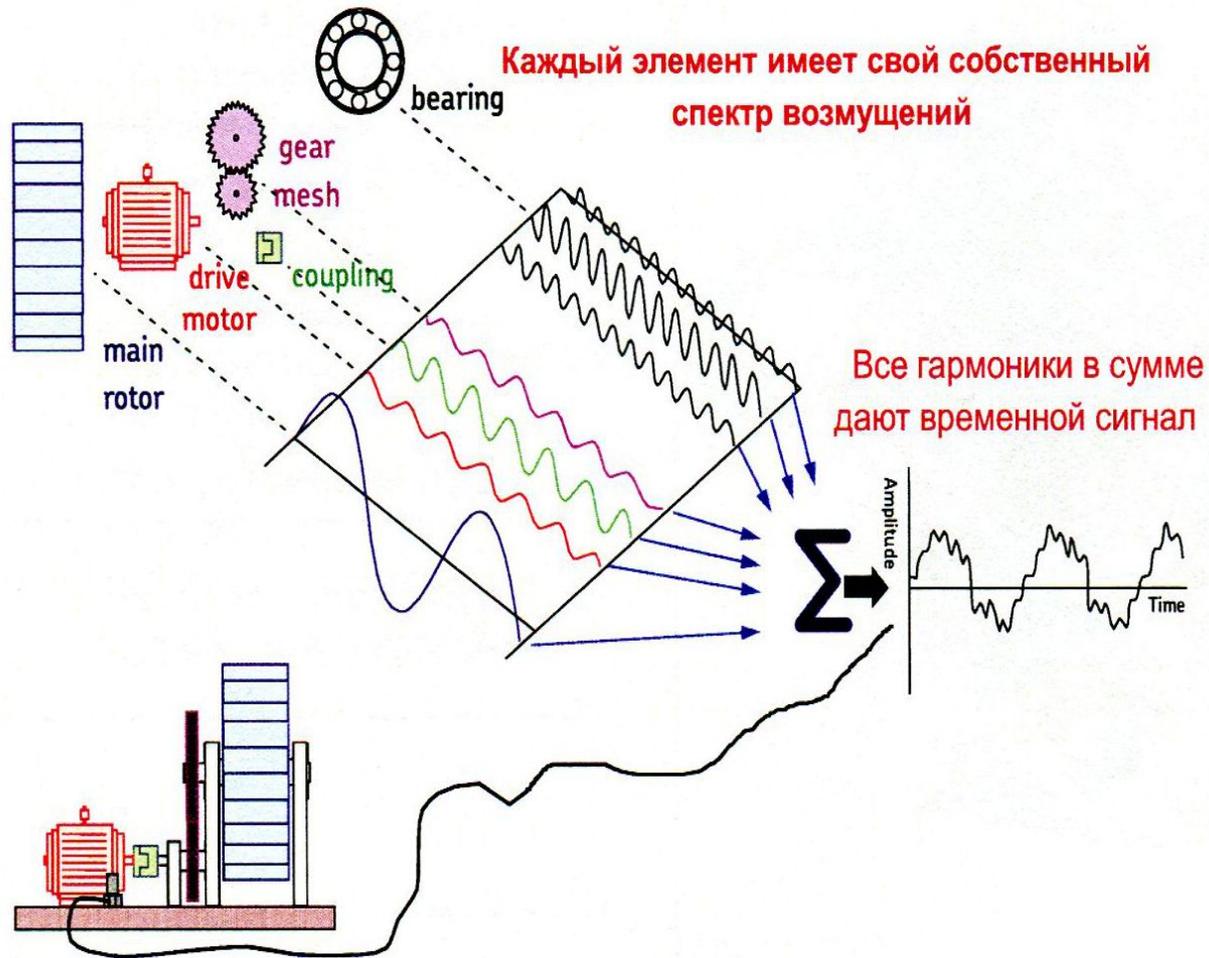
Математически спектр является результатом разложения сигнала на частотные компоненты (составляющие), как правило с помощью преобразования Фурье.

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{a_0}{2} + a_1 \cos t + a_2 \cos 2t + a_3 \cos 3t + \dots + \\ &\quad + b_1 \sin t + b_2 \sin 2t + b_3 \sin 3t + \dots = \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kt + b_k \sin kt) \end{aligned}$$

Природа механических колебаний



Источники вибрации в механизме с электроприводом



Линейный спектр колебаний - это совокупность амплитуд гармонических составляющих колебаний

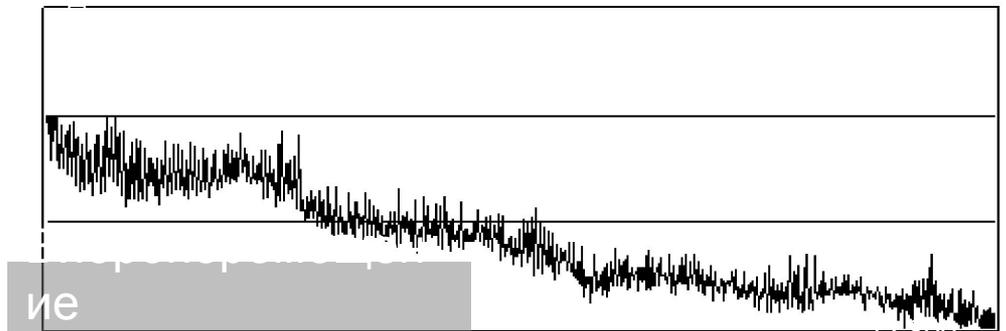
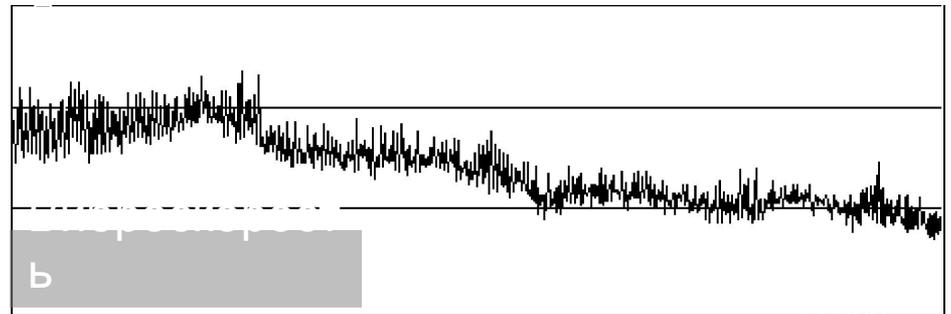
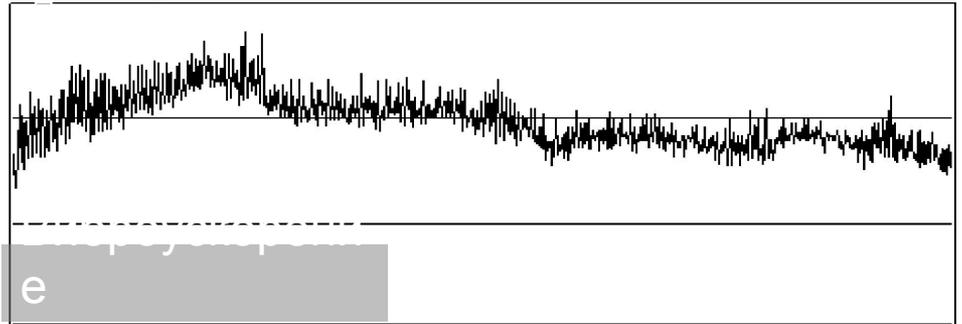
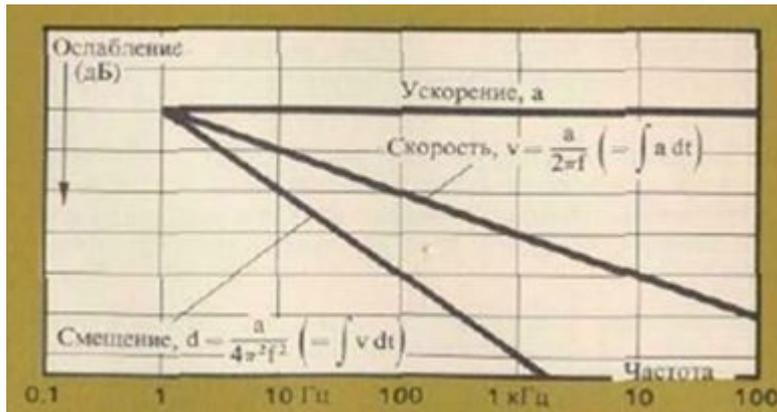
Гармонический анализ - это практическое разложение колебаний в ряд Фурье

СПЕКТРЫ УСКОРЕНИЯ, СКОРОСТИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

x - [виброперемещение](#)

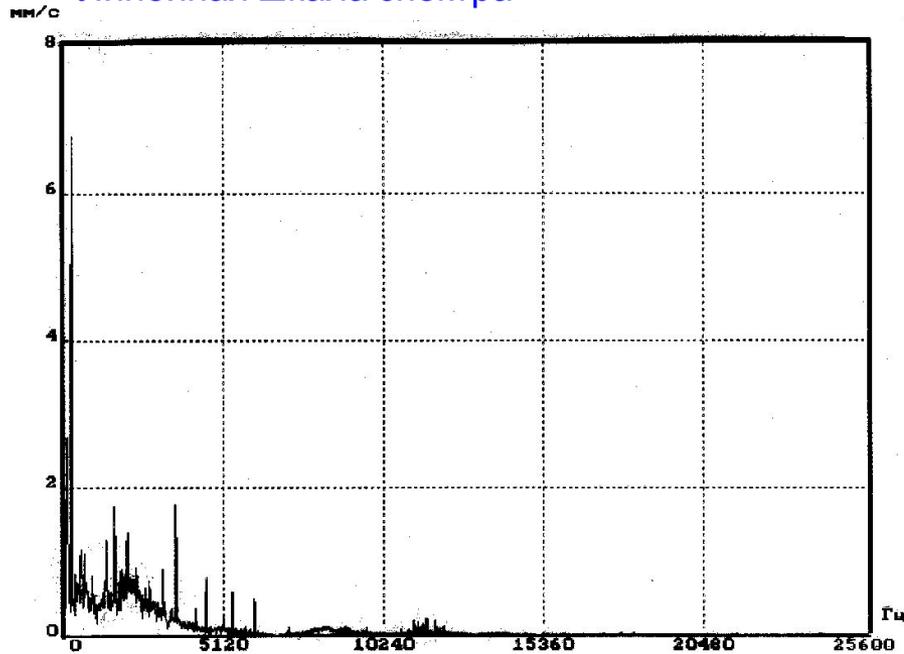
$\dot{x} = dx/dt$ - [виброскорость](#)

$\ddot{x} = d^2x/dt^2$ - [виброускорение](#)

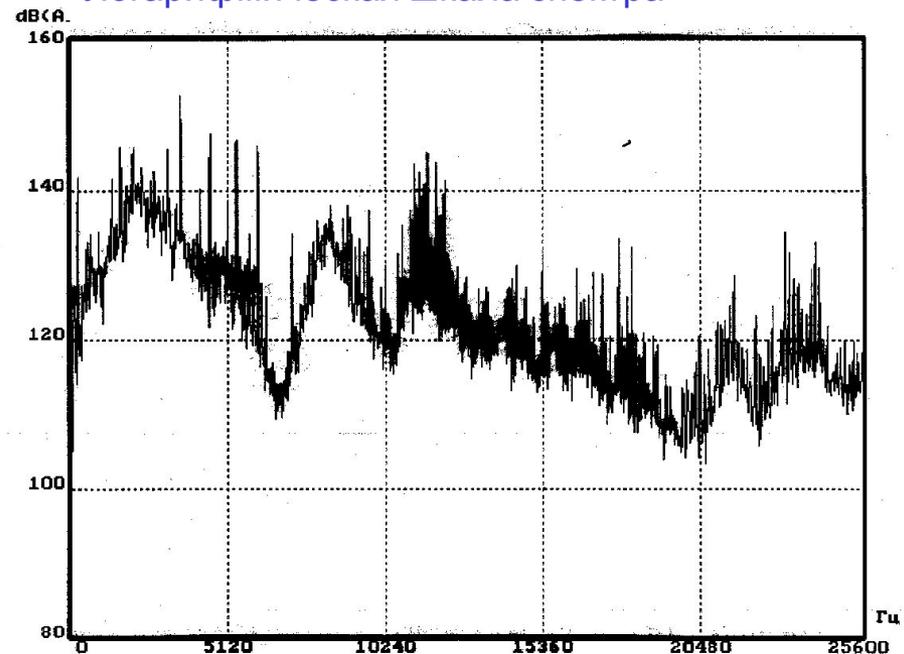


Линейный и логарифмический спектры вибрации на корпусе компрессора

Линейная шкала спектра

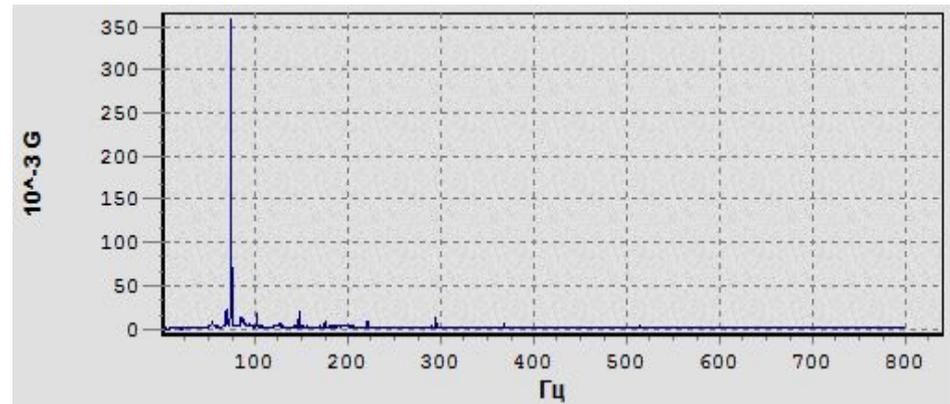
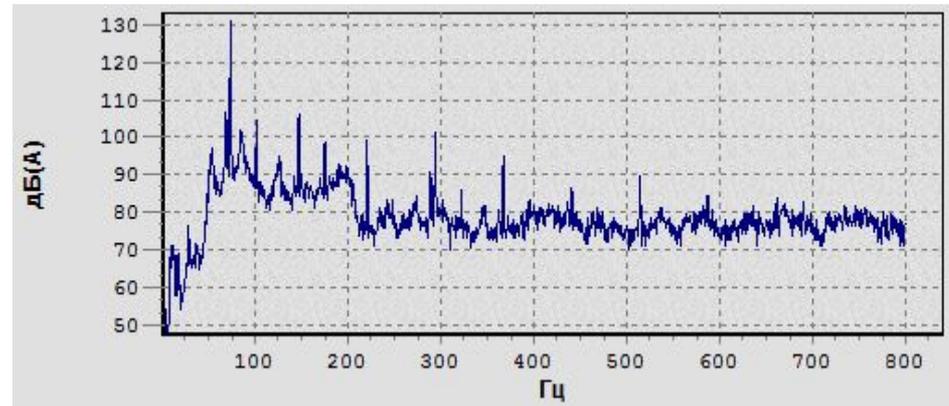


Логарифмическая шкала спектра

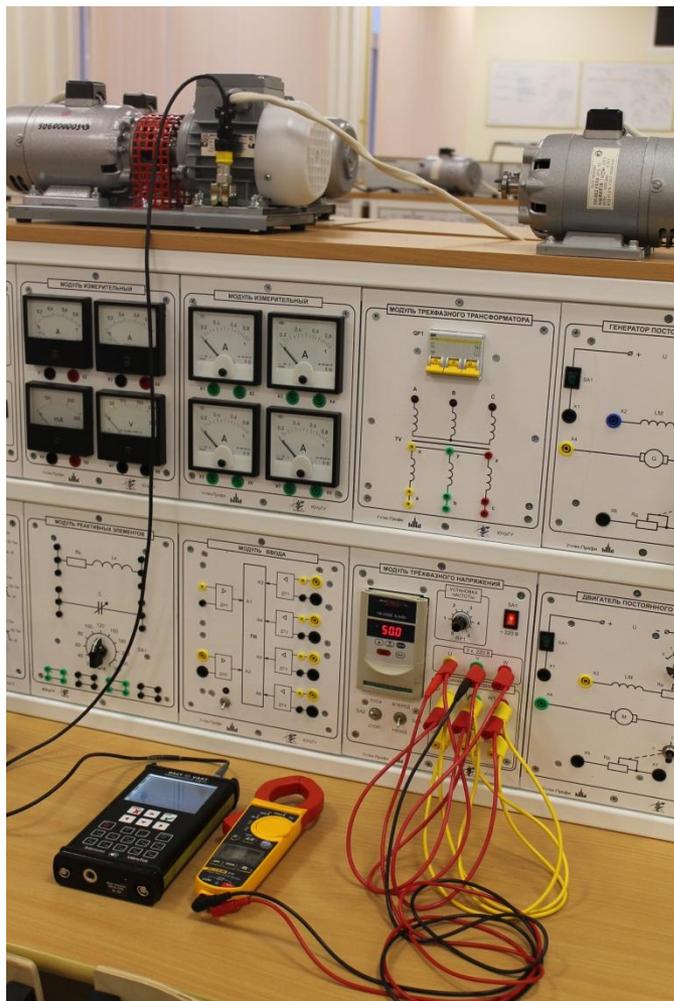


Использование логарифмических величин

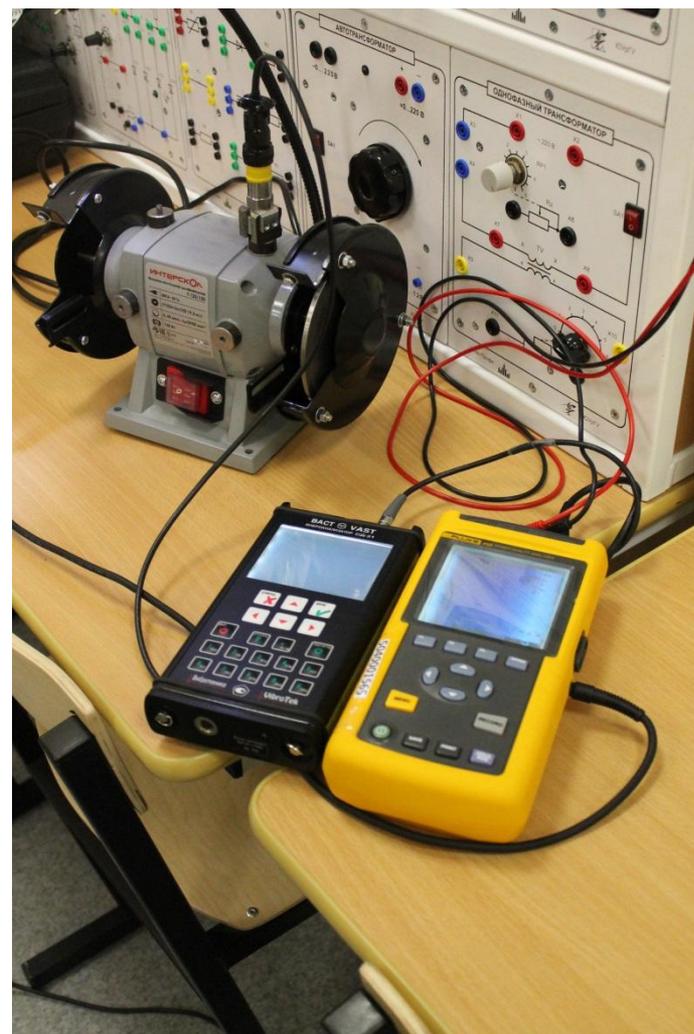
Общее правило – в дБ лучше видны слабые составляющие вибрации (тонкая структура), которые несут максимум информации для диагностики, а в линейных величинах видны только сильные вибрационные компоненты, которые важны в виброналадке



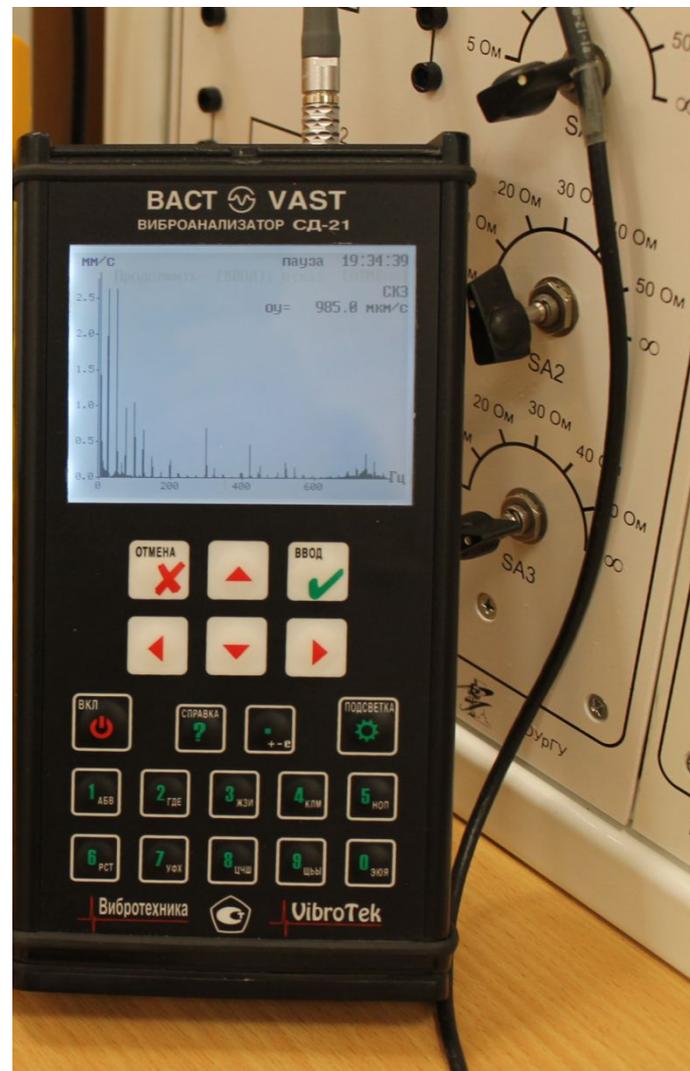
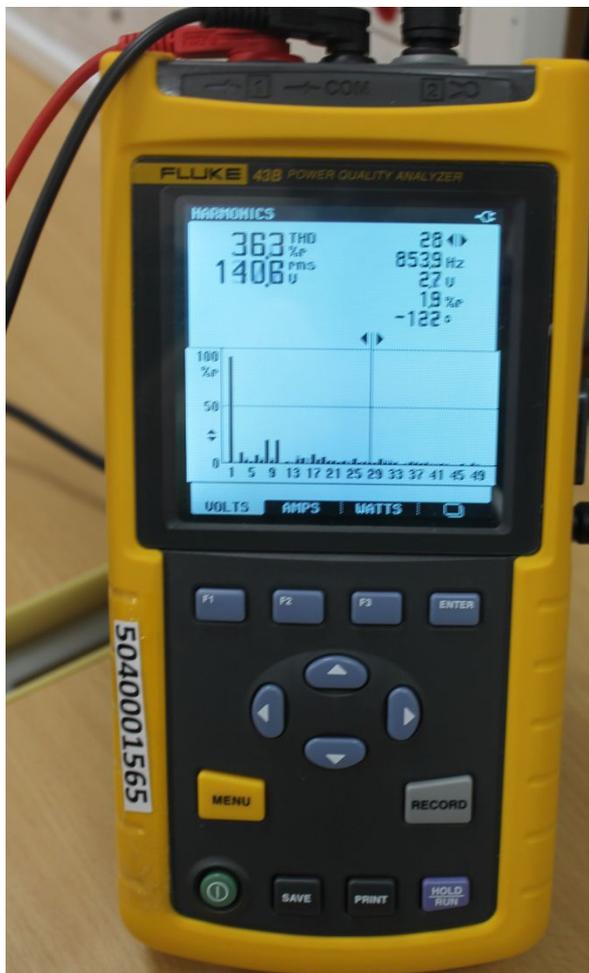
Стенд: модель электропривода асинхронный электродвигатель и частотный преобразователь

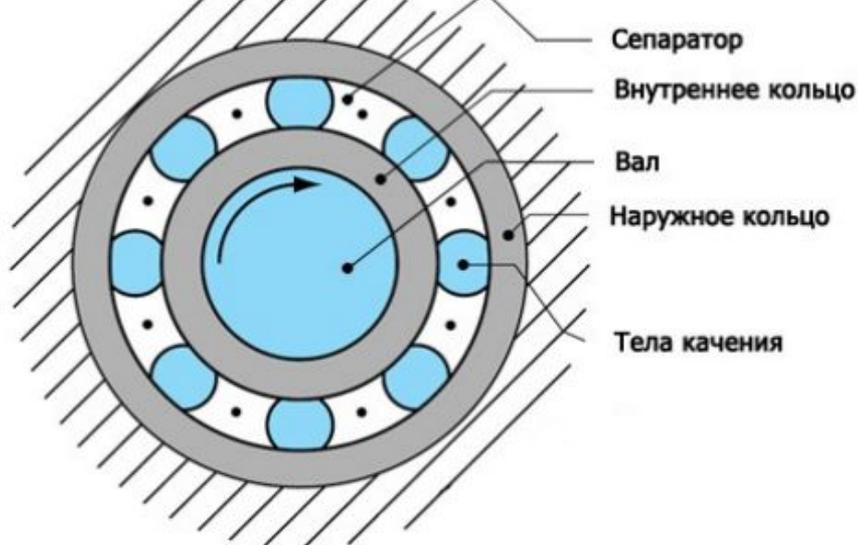


Стенд: модель электропривода асинхронный электродвигатель при питании от сети переменного тока



Спектр гармонического состава напряжения частотного привода и спектр составляющих вибрации





Изменяющиеся уровни механических колебаний, часто с ударами
 * Частота ударов:

Частота ударов f (Гц)

Дефект внешней обоймы $f(\text{Гц}) = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right)$

Дефект внутренней обоймы $f(\text{Гц}) = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta\right)$

Дефект шарика $f(\text{Гц}) = \frac{PD}{BD} f_r \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta\right)^2\right]$

Дефект сепаратора $f(\text{Гц}) = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right]$

n = число шариков или роликов
 f_r = отн. скорость вращения внутренней и внешней обойм

Вид неисправности	Частота механических колебаний (Гц = об./мин/60)	Направление	Примечания
Нарушение баланса вращающегося элемента	1 × об./мин	Радиальное	Распространенная причина повышенных механических колебаний машинного оборудования
Нарушение соосности и изгиб вала	Обычно 1 × об./мин Часто 2 × об./мин Иногда 3 и 4 × об./мин	Радиальное и осевое	Распространенная причина
Дефекты подшипников качения (шарико-, ролико-подшипников и т.п.)	Частота ударов для отдельных элементов подшипника* Высокочастотные механические колебания (2 – 60 кГц) часто связаны с радиальными резонансами подшипников	Радиальное и осевое	Изменяющиеся уровни механических колебаний, часто с ударами * Частота ударов: Частота ударов f (Гц) Дефект внешней обоймы $f(\text{Гц}) = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right)$ Дефект внутренней обоймы $f(\text{Гц}) = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta\right)$ Дефект шарика $f(\text{Гц}) = \frac{PD}{BD} f_r \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta\right)^2\right]$ Дефект сепаратора $f(\text{Гц}) = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right]$ n = число шариков или роликов f_r = отн. скорость вращения внутренней и внешней обойм

1	<u>Вибродиагностика подшипниковых узлов по спектру огибающей</u>		
2			
3	Тип подшипника	313	
4	Диаметр внутренний, $Dв$	65	
5	Диаметр наружный, $Dн$	140	
6	Диаметр сепаратора, $Dс$	102,5	$Dс=(Dн+Dв)/2$
7	Диаметр тел качения, $Dтк$	23,81	
8	Количество тел качения, $Zтк$	8	
9	Угол контакта, β	0	
10	Частота вращения ротора, n , об./мин.	3000	
11			
12	Частота вращения ротора, $fвр$, Гц	50	$fвр=n/60$
13	Частота вращения сепаратора, $fс$, Гц	19,1926829268	$fс=(fвр/2)(1-(Dтк/Dс)\cos\beta)$
14	Част. пережат тел кач. по нар. кольцу, $fн$, Гц	153,5414634146	$fн=Zтк(fвр/2)(1-(Dтк/Dс)\cos\beta)=Zткfс$
15	Част. пережат тел качения по вн. кольцу, $fв$, Гц	246,4585365854	$fв=Zтк(fвр/2)(1+(Dтк/Dс)\cos\beta)=)Zтк(fвр-fс)$
16	Част. вращ. тел кач. относит. поверхн. колец, $fтк$, Гц	101,8155304699	$fтк=(fвр/2)(Dс/Dтк)(1-(Dтк/Dс)^2\cos^2\beta)$
17			
18	Вид дефекта	Основные признаки	Дополнительные признаки
19	1 Обкатывание <u>наружн. кольца (неуравн. рот.)</u>	$fвр(kfвр, k=3)$	нет роста ВЧ
20	2 Неоднородный радиальный <u>натяг</u>	$2kfвр$	нет роста ВЧ
21	3 Перекос внутреннего кольца подшипника	$2fвр, 2fв$	
22	4 Перекос наружного кольца подшипника	$2fн$	—
23	5 Износ наружного кольца	$fн$	рост ВЧ
24	6 Раковины (трещины) на наружном кольце	$kfн$	рост ВЧ
25	7 Износ внутреннего кольца	$kfвр$	рост ВЧ
26	8 Раковины (трещины) на внутреннем кольце	$kfв$	$kfвр, k1fв+ -k2fвр$, рост ВЧ
27	9 Износ тел качения и сепаратора	$kfс$	$k(fвр-fс)$, рост ВЧ
28	10 Раковины, сколы на телах качения	$2kfтк$	$2k1fтк+ -k2fс$, рост ВЧ
29	11 Проскальзывание наружного кольца	$kfвр, k > 10$, рост ВЧ	нет других составляющих
30	12 Сложный, составной дефект	$kfн+k1fс$ (или $fвр$ или $fв$), $kfн+fвр/k2$	рост ВЧ
31	13 Дефекты узлов крепления	не обнаруживаются	
32	14 Дефекты смазки	рост ВЧ	

2. Спектры вибраций вытяжного вентилятора с ременным приводом

Рассмотрим простой практический пример, иллюстрирующий возможности виброанализа. По причине чрезмерно высокой вибрации произошел отказ вентиляторного агрегата с ременным приводом. Замеры показали присутствие наиболее интенсивной вибрации на приводном двигателе; закономерным образом, двигатель стал первым «кандидатом» на исследование. Анализ вибраций, однако, показал, что исключительно сильная вибрация двигателя (15,2 мм/с) имела место, в первую очередь, на частоте, передаваемой двигателю от ременного привода. После балансировки шкива привода ремня вентилятора вибрация снизилась до приемлемого уровня (2,3 мм/с на вентиляторе и 3,2 мм/с на приводном двигателе).

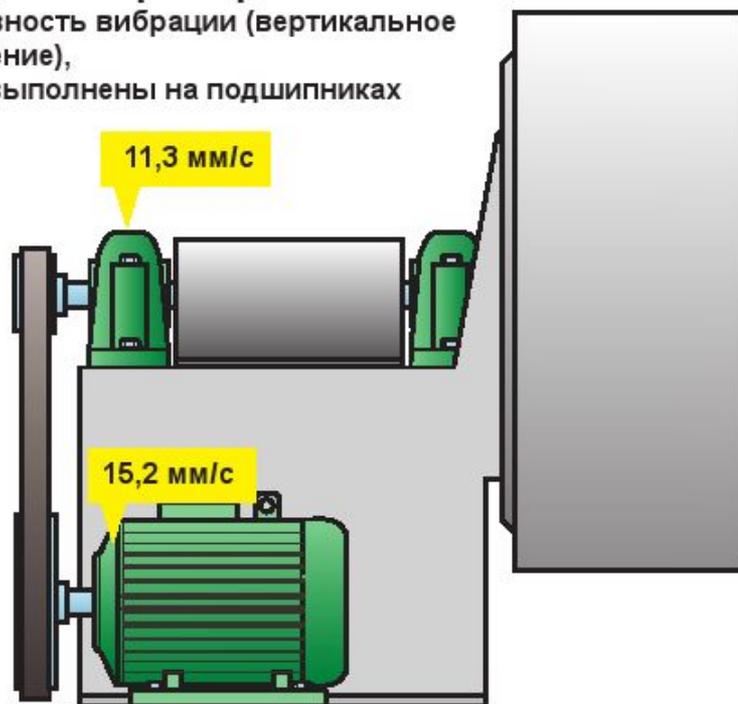
В описанном выше примере показан типовой порядок действий – простая операция измерения общего уровня вибрации позволяет определить состояние агрегата как «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное» или «неприемлемое». При наличии чрезмерно высокой вибрации основная причина ее появления – в данном случае, разбалансировка шкива привода ремня – выявляется посредством определения частоты пиков на вибрационном БПФ-спектре.

Спектры вибраций вытяжного вентилятора с ременным приводом

Вытяжной вентилятор окрасочного цеха ($P = 37$ кВт)

1. Измерение параметров

Интенсивность вибрации (вертикальное направление), замеры выполнены на подшипниках

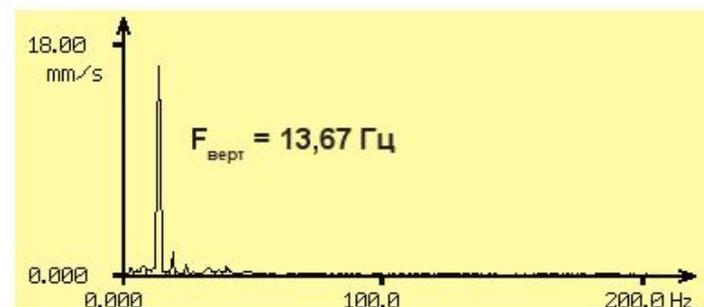


Двигатель: 1475 об/мин. = 24,58 Гц

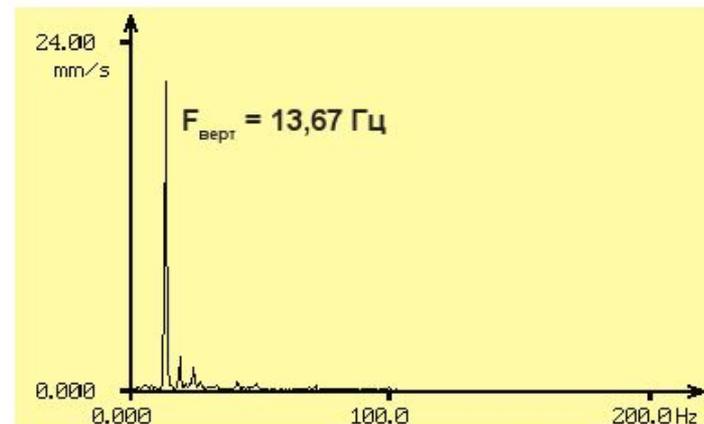
Вентилятор: 820 об/мин. = 13,67 Гц

2. Анализ сигналов

БПФ-спектр сигнала вибрации

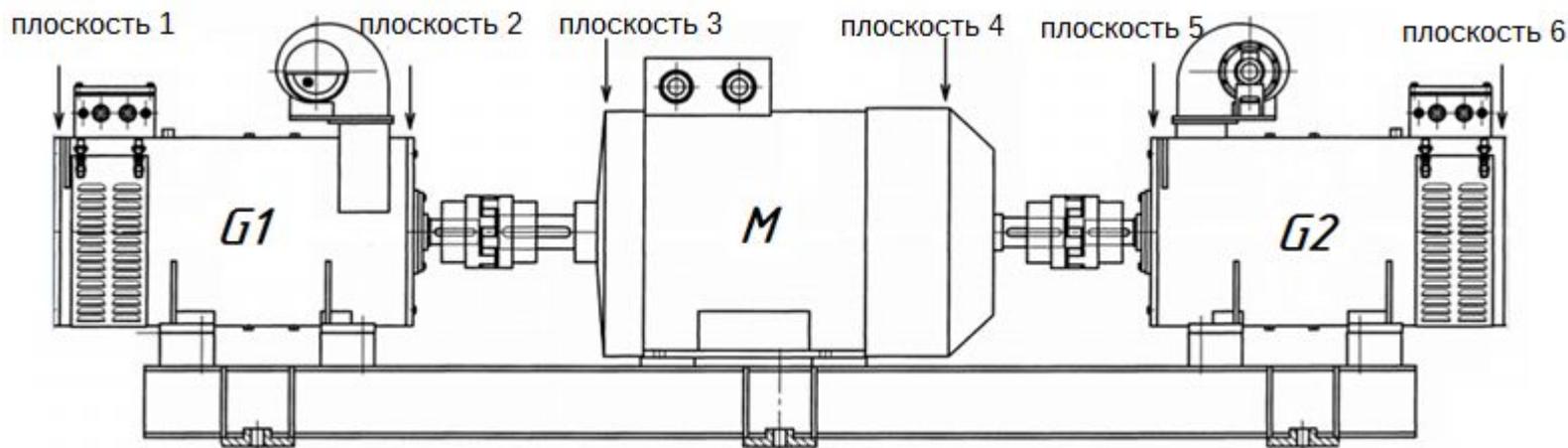


Подшипник вентилятора, радиальная/вертикальная вибрация



Подшипник двигателя, радиальная/вертикальная вибрация

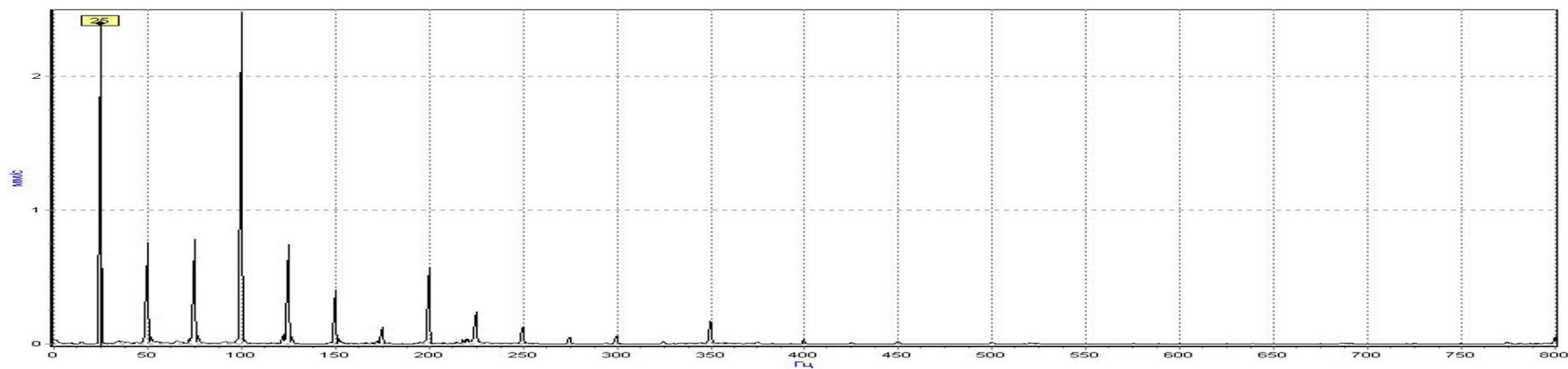
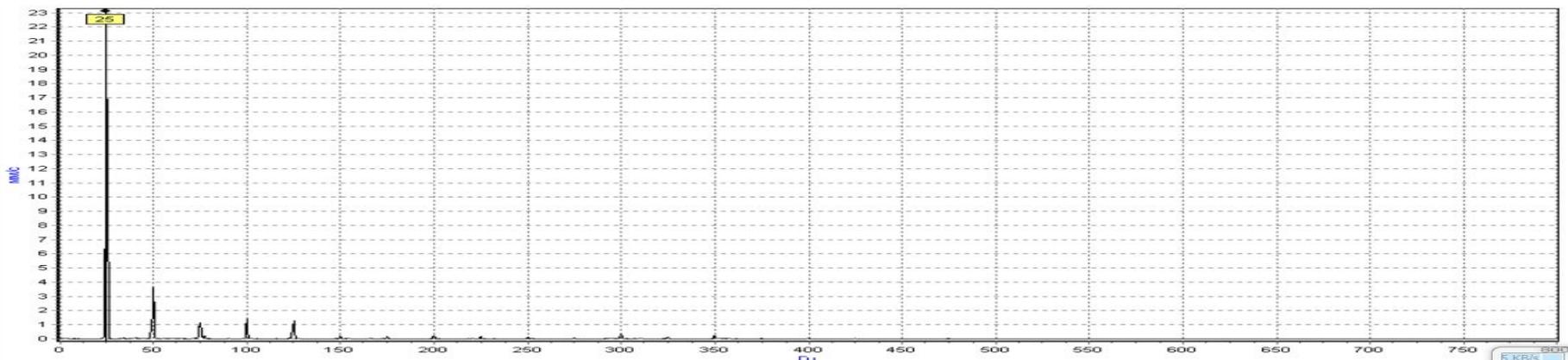
Эскиз преобразователя, состоящего из асинхронного двигателя АИ280S4У2 мощностью 110 кВт и двух генераторов постоянного тока 4ПФГ-250S УХЛ4 мощностью 45 кВт -2шт. с точками замера вибрации, соответствующими ГОСТ 10816.



Уровень среднеквадратичного значения виброскорости в полосе 10-1000 Гц, мм/с

Направление измерения	В плоскости 1	В плоскости 2	В плоскости 3	В плоскости 4	В плоскости 5	В плоскости 6
Вертикальное	6,5	5,7	8,4	6,7	6,3	3,8
Горизонтальное	17,7	10,2	24,3	21,4	10,8	11,6
Осевое	5,4	6,1	4,2	2,6	3,9	4,1

Спектры вибрации



Примеры узкополосных спектров механизмов

НИС Профессор Молчанов

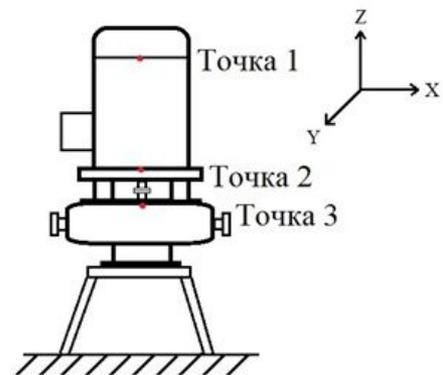
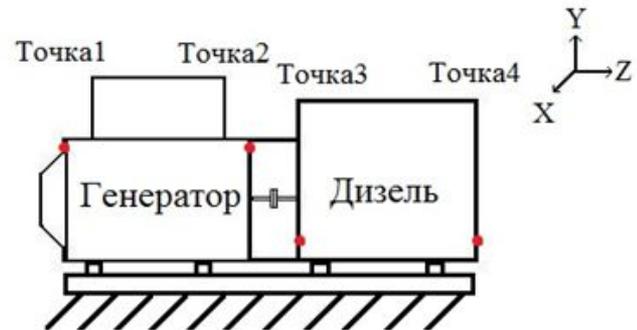
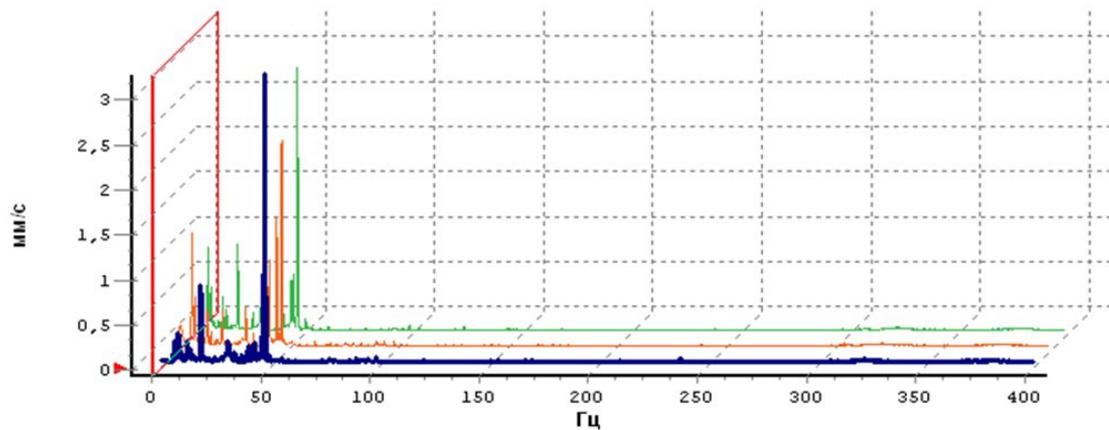
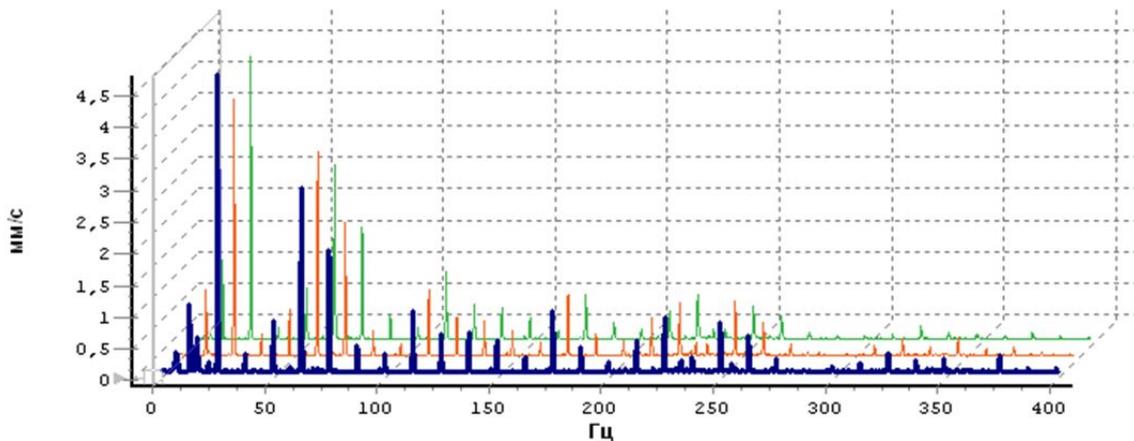
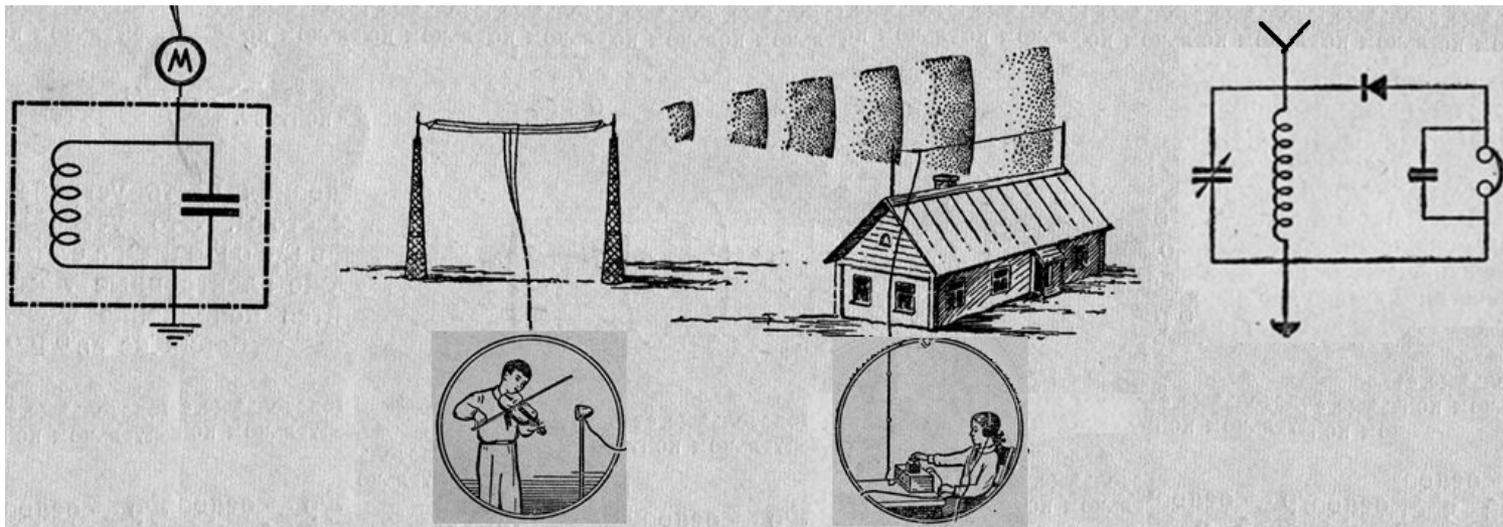
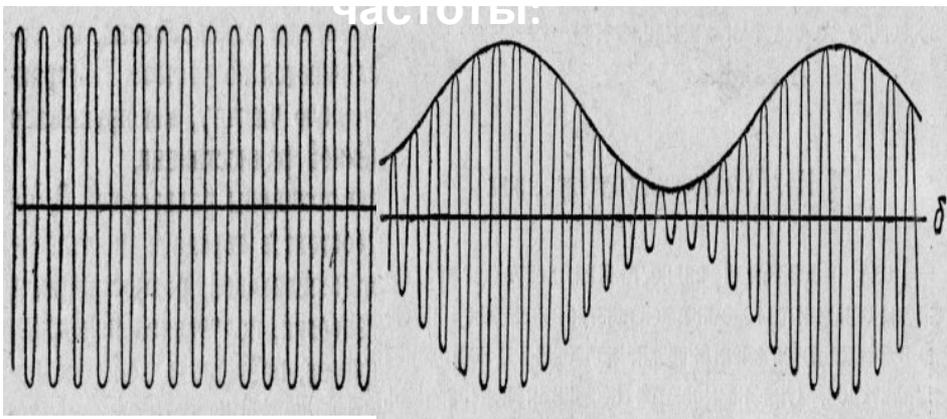


Рисунок 67 – блок-схема насоса заборной воды.

Общая схема радиопередачи

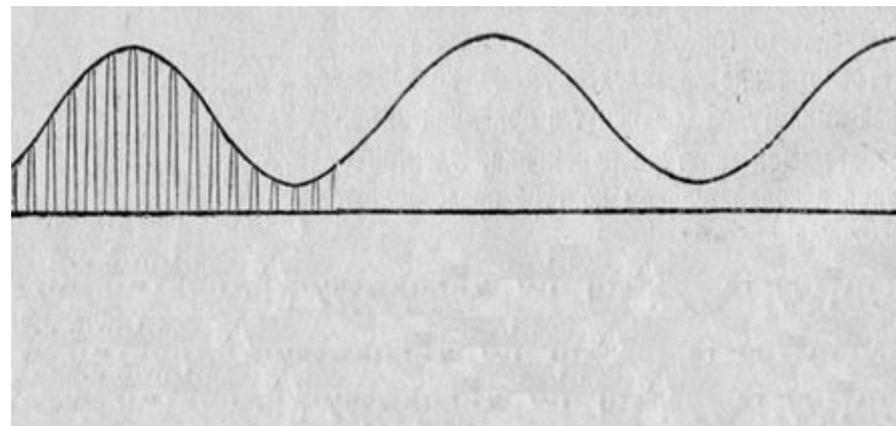


Частоты:



а – график тока высокой частоты передающей радиостанции;

б – ток высокой частоты в колебательном контуре приёмника, амплитуда колебаний тока изменяется со звуковой частотой;

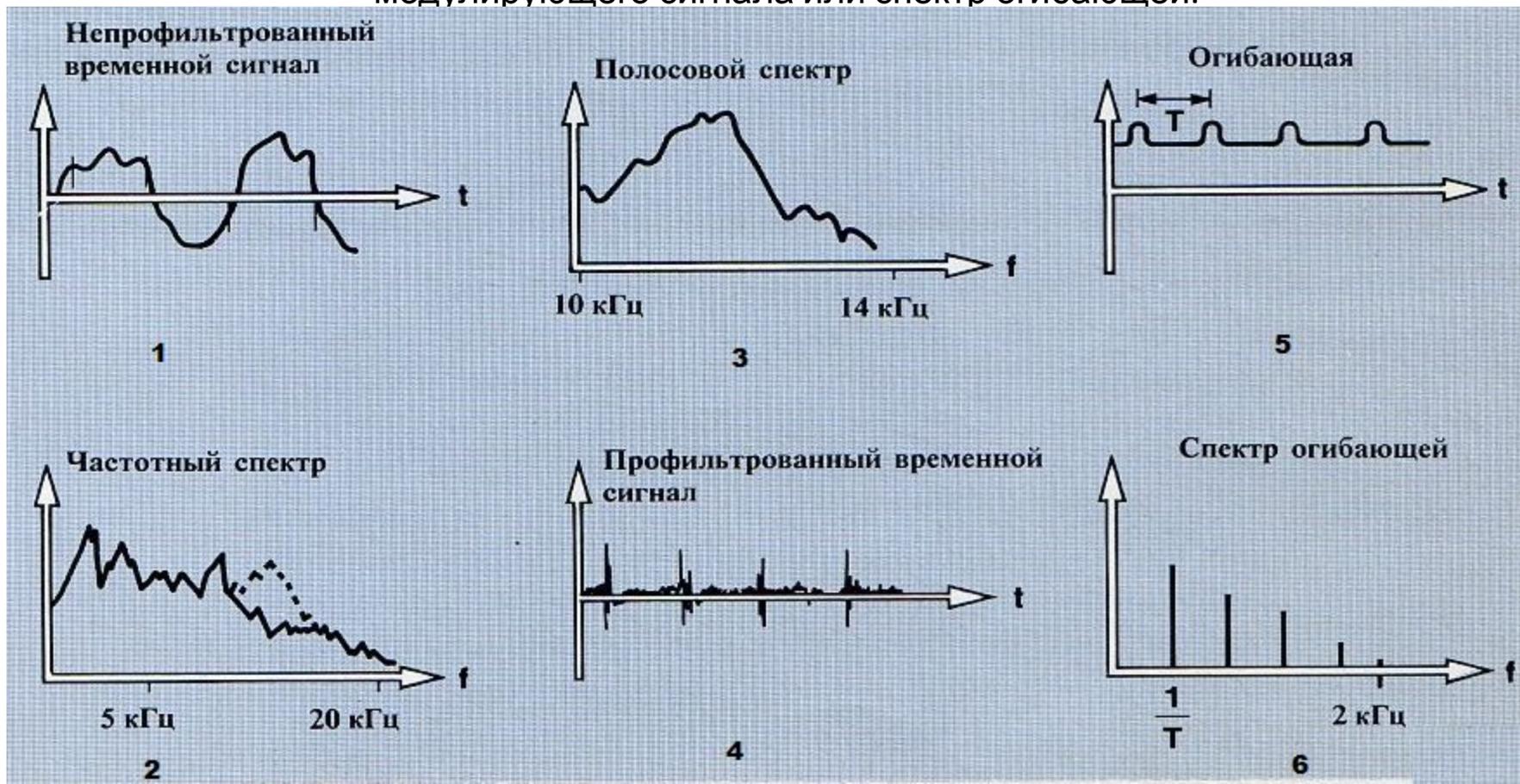


в – ток в цепи детектора и телефона;

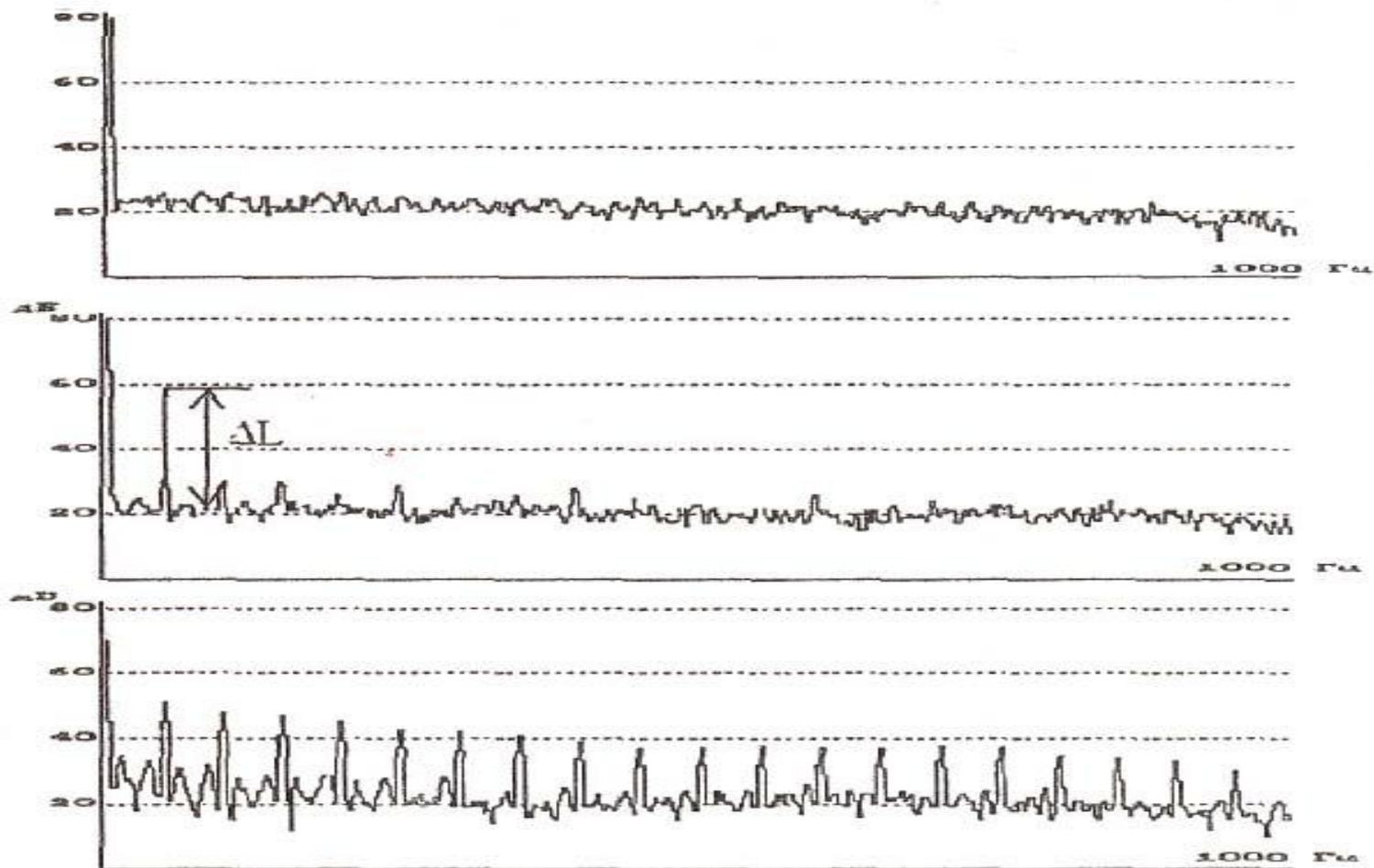
г – график колебаний мембраны телефона

Спектральный анализ огибающей вибрационного сигнала

Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов. Для этого отфильтрованный сигнал детектируется, т.е. выделяется модулирующий сигнал (или ещё его называют «огибающая сигнала»), который подаётся на узкополосный спектроанализатор и получается спектр интересующего нас модулирующего сигнала или спектр огибающей.

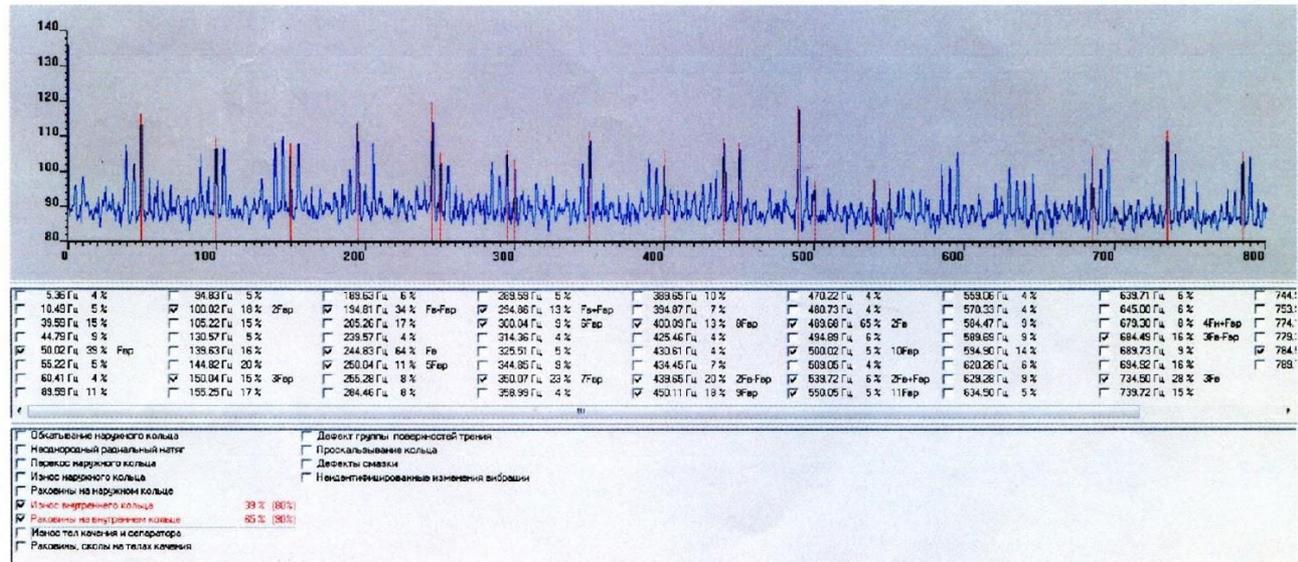


Временные сигналы высокочастотной вибрации подшипника качения и спектры ее огибающей: а - исправный подшипник; б - подшипник с износом поверхности трения; в - подшипник с раковиной на поверхности качения

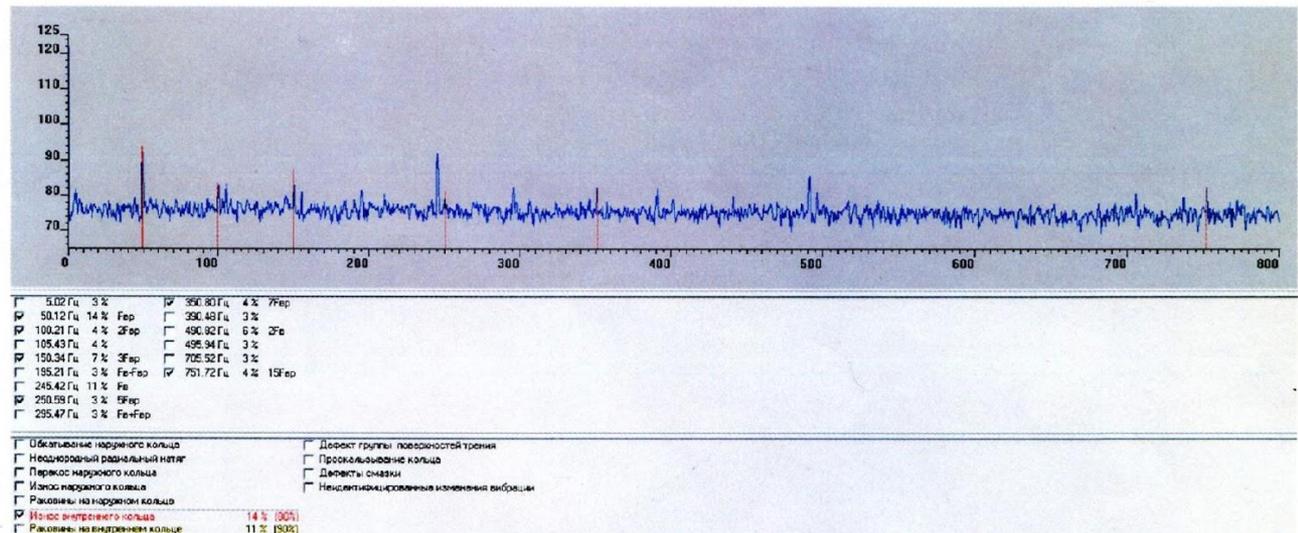


Раковины на внутреннем кольце 7% (90%)
 Износ тел качения и сепаратора 3% (70%)
 Раковины, сколы на телах качения 5% (70%)

07.07.2016 Краткий отчёт программы DREAM по замерам преобразователя АПТ-50-400Р после продолжительной работы механизма.

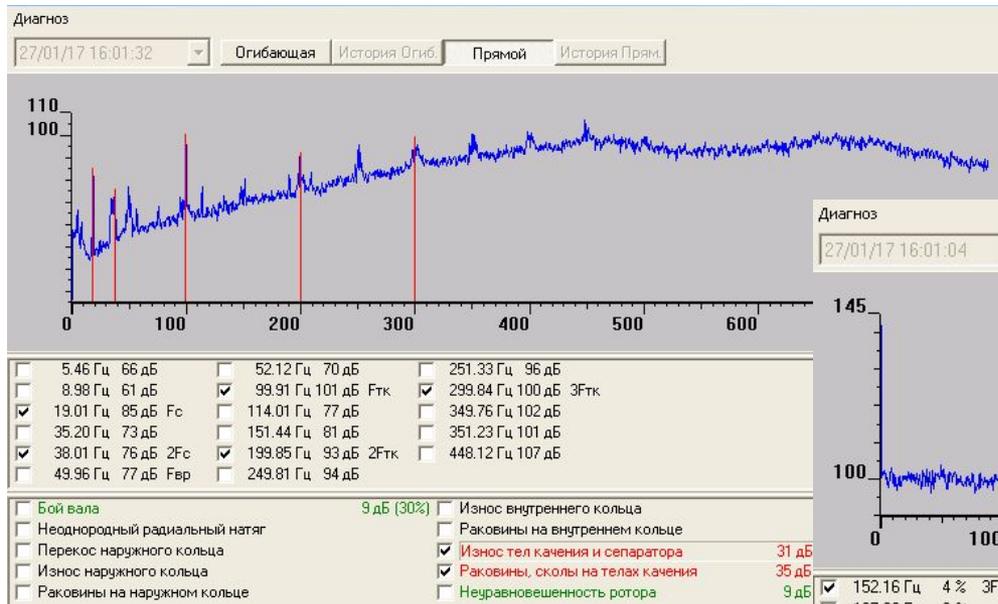


28.07.2016 Краткий отчёт программы DREAM по замерам преобразователя АПТ-50-400Р после замены подшипника.

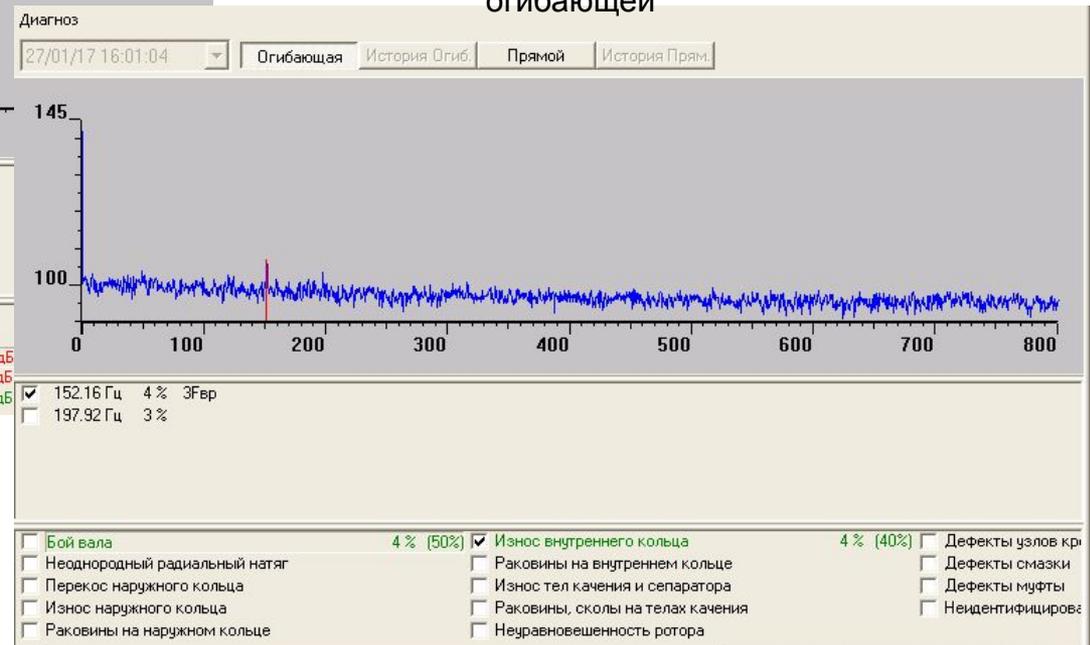


ПРИМЕР, КОГДА СО НЕ ПОКАЗЫВАЕТ, А ПРЯМОЙ ПОКАЗЫВАЕТ ДЕФЕКТЫ ЭМ

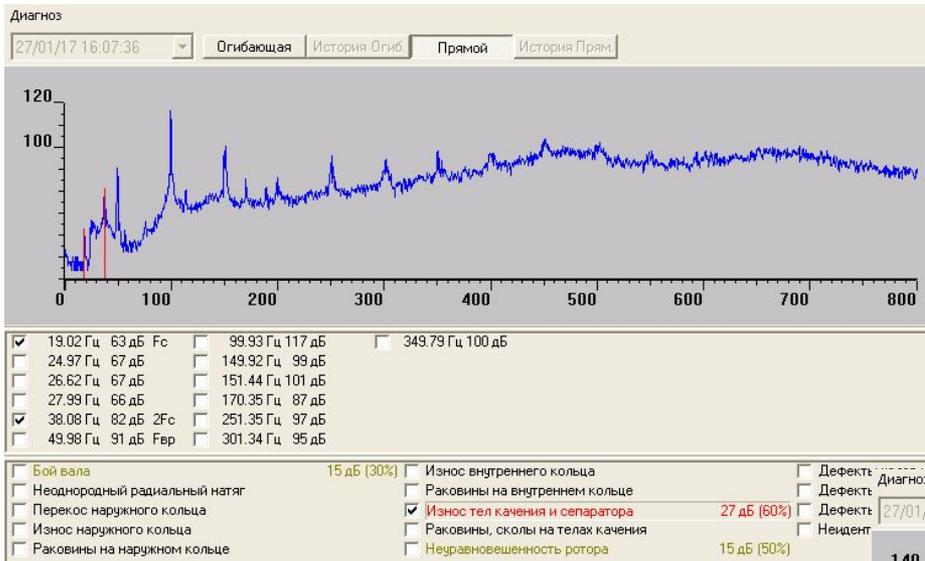
D2 Прямой спектр



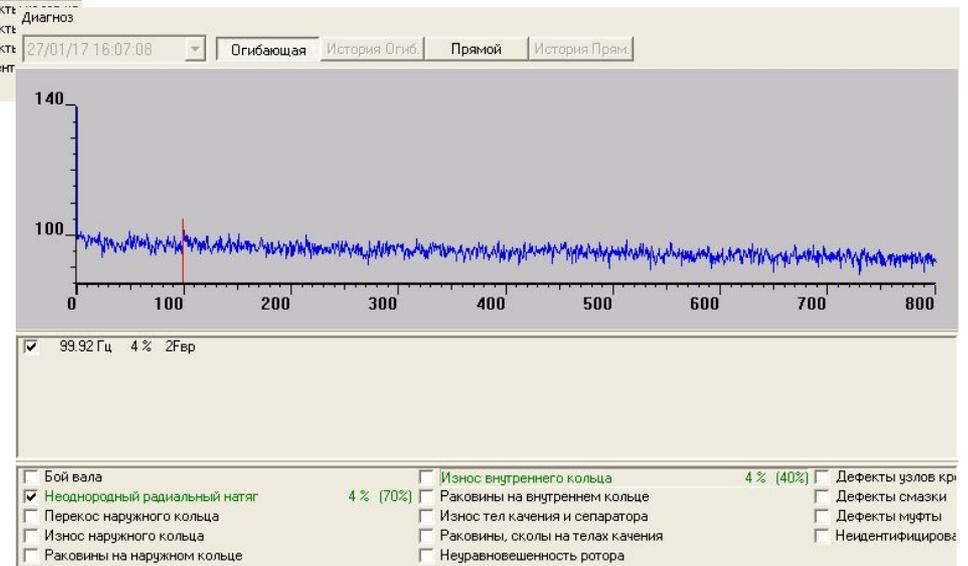
D2 Спектр огибающей



D1 Прямой спектр



D2 Спектр огибающей



Алгоритм диагностики

- Расчёт частот характерных дефектов
- Измерение спектра
- Сравнение спектра и списка характерных частот